

**Универзитет у Београду
Машински факултет**

Мр Андрија М. Вујичић, дипл.инж.маш.

**Еколошки ефекти фаза животног циклуса
лучке-контејнерске механизације**

докторска дисертација

Београд, 2016.

**University of Belgrade
Faculty of mechanical engineering**

Andrija M. Vujičić

**Environmental Impacts of Life Cycle Stages
of Cargo-Handling Equipment**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

Комисија за преглед и одбрану:

Ментор: Проф. др Ненад Зрнић,
Машински факултет у Београду

Чланови Комисије: Проф. др Милосав Огњановић,
Машински факултет у Београду
Проф. др Срђан Бошњак,
Машински факултет у Београду
Доц. др Влада Гашић,
Машински факултет у Београду
Проф. др Бранислав Драговић,
Универзитет Црне Горе, Факултет за поморство

Датум одбране: __. __. 2016.

Мом Оцу

ПРЕДГОВОР

Ова докторска дисертације је резултат вишегодишњег рада и интересовања за методологију процене животног циклуса и истраживања могућности њене примене на машине лучко-контејнерске механизације. У њој су обједињена искуства Катедре за механизацију из области машина прекидног транспорта и Екодизајна.

Дисертација не би угледала светлост дана без подршке и смерница ментора професора др Ненада Ђ. Зрнића, коме се овом приликом бескрајно захваљујем. Посебно се захваљујем се проф. др Милицаву Огњановићу на сугестијама и предлозима који су допринели унапређењу и садржајности дисертације. Захваљујем се проф. др Браниславу Драговићу на несебичној подели богатог искуства из поморске индустрије и члановима Комисије проф. др Срђану Бошњаку и доц. др Влади Гашићу. Такође се захваљујем проф. Бранку Стојановићу, на исправкама које су језички унапредиле дисертацију.

Дубоку захвалност дугујем проф. др Зорану Петковићу на суптилним, готово животним саветима и правременом указивању на недовољно истражену област одрживог развоја.

Захваљујем се Бојани, Мили и Лазару што свему дају смисао.

Београд, 18. март 2016.

Андрија М. Вујичић

Еколошки ефекти фаза животног циклуса лучке-контејнерске механизације

Резиме

У дисертацији су анализирани еколошки ефекти фаза животног циклуса логистичког пара машина лучке-контејнерске механизације применом методе „процене животног циклуса“ (LCA). За испитивање изабране су две најзаступљеније машине на лучком-контејнерском терминалу: РТГ дизалица и терминалски трактор.

Методом LCA извршена је упоредна анализа еколошке ефикасности савремених модела хибридне и електричне РТГ дизалица са конвенционалном дизел РТГдизалицом. Коришћењем наведене методе извршена је и упоредна анализа еколошке ефикасности хидрауличног-хибридног, електричног-хибридног и електричног терминалског трактора с конвенционалним дизел терминалским трактором. У циљу квалитетног сагледавања еколошких ефеката примене савремених технологија код РТГ дизалица и терминалских трактора, извршена је подела животног циклуса на три основне фазе и једну пратећу фазу. Према методологији LCA испитани су еколошки ефекти фаза: „од колевке до врата“, „употребе и одржавања“ и „одлагања и рециклаже“. Анализирани су и еколошки ефекти пратеће фазе „од извора од резервоара“. Ради потпуности студије извршена је и „what if“ анализа којом је испитан алтернативни сценарио снабдевања електричном енергијом Е-РТГ дизалице и електричног Терминалског трактора из система Електропривреде Србије (ЕПС). Ради провере добијених резултата спроведена је анализа осетљивости за референти ток функционалне јединице машина логистичког пара. Добијени резултати класификовани су и карактеризовани преко најзаступљенијих метода за процену утицаја животног циклуса (LCIA). Изабране су две проблемно оријентисане методе (CML 2001 и TRACI 2.1) и једна штетно оријентисана методе (Ecoindicator 99).

Са еколошког становишта утврђена је технолошка превазиђеност конвенционалних РТГ дизалица и апсолутна оправданост електрификације РТГ дизалица, без обзира на избор сценарија снабдевања електричном енергијом. Код терминалских трактора еколошки најефикаснији је електрични терминалски трактор, али су за исти идентификована ограничења која проистичу из технологије литијумских батерија. Утврђени су неповољни еколошки ефекти литијумских батерија у три фазе животног циклуса. За електрични терминалски трактор констатовано је довођење у питање еколошке ефикасности у случајевима снабдевања електричном енергијом из система ЕПС-а или када је електрична енергија у доминатној мери произведена у термоелектранама на које користе угаљ или лигнит.

Кључне речи: Еколошки утицај, процена животног циклуса, РТГ дизалица, Терминалски трактор.

Научна област: Машинство

Ужа научна област: Механизација, Транспортно инжењерство, конструкције и логистика

УДК: 621.869.88+656.615.073.28:504.5(043.3)

Environmental Impacts of Life Cycle Stages of Cargo-Handling Equipment

Abstract

The dissertation discusses environmental impacts of life cycle stages of cargo-handling equipments by using life cycle assessment (LCA) method. For the assessment two most common pieces of handling equipment found at port-container are chosen: RTG crane (Rubber-Tyred-Gantry crane) and Terminal tractor.

By using comparative LCA an environmental efficiency of state-of-the-art models of hybrid and electric RTG cranes over conventional RTG crane is investigated. Using the same method comparative analysis of environmental efficiency of hydraulic-hybrid, electric-hybrid and electric terminal tractor versus conventional diesel tractor is conducted. In order to obtain valuable foresight of environmental effects of application of novel technologies for RTG cranes and terminal tractors, especially in regards of electrification the life cycle is divided into three basic stages and subsequent stage. According to the LCA technology the environmental impacts of following stages are investigated: “cradle-to-gate”, “use and maintenance” and “end-of-life”. The impacts of subsequent stage “well-to-tank” are also investigated. For the completeness of the study „what-if” analysis is conducted with alternative scenario of electricity supply of E-RTG and E-tractor with power grid mix from EPS (Electric Power Industry of Serbia). In order to provide ensures for the results the sensitivity analysis of reference flow of functional unit is done. The obtained results are classified and characterised according to most widespread methods of life cycle impact assessment. Two problem oriented methods are chosen (CML 2001 and TRACI 2.1) and one damage oriented method (Ecoindicator 99).

From the environmental standpoint, the technological obsolesce of conventional RTG cranes and absolute justification of electrification of RTG cranes is established. Regarding terminal tractors it is confirmed that the electric model is the most

environmentally efficient, but limitations are identified that associate with technology of lithium batteries. The negative impacts of lithium batteries are noted for three life cycles of tractors. For the electric tractor environmental efficiency is burdened in alternative case of electricity supply from EPS or from the source where electric energy is produced in power plans using coal or lignite.

Key words: Environmental impact, Life cycle assesement, RTG crane, Terminal tractor.

Scientific discipline: Mechanical engineering

Scientific subdiscipline: Material Handling, Constructions and Logistics

UDC: 621.869.88+656.615.073.28:504.5(043.3)

САДРЖАЈ

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1. РАЗВОЈ, УЛОГА И ЗНАЧАЈ КОНТЕЈНЕРИЗАЦИЈЕ	1
1.1.1. Развој контејнеризације	3
1.1.2. Улога и значај контејнеризације	4
1.2. БУДУЋНОСТ КОНТЕЈНЕРИЗАЦИЈЕ.....	10
1.2.1. Будућност контејнеризације и мегатрендови	10
1.2.2. Прогнозе раста контејнеризације.....	15
1.2.3. Изазови контејнеризације и импликације на терминале	18
2. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	21
2.1. УТИЦАЈ ЛУЧКО-КОНТЕЈНЕРСКИХ ТЕРМИНАЛА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ	21
2.2. УРЕЂЕЊЕ КОНТЕЈНЕРСКОГ ТЕРМИНАЛА.....	27
2.3. ПРИКАЗ ТЕХНОЛОГИЈА РТГ ДИЗАЛИЦА И ТЕРМИНАЛСКОГ ТРАКТОРА	33
2.3.1. РТГ дизалица	33
2.3.2. Терминалски трактор	37
2.4. ПРИСТУПИ ЗА УТРВЂИВАЊЕ ЕКОЛОШКОГ УТИЦАЈА ЛУЧКО-КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ	41
3. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА	47
3.1. ПРЕГЛЕД ИСТРАЖИВАЊА О УТИЦАЈУ ЛУЧКО-КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ	48
3.2. ПРЕГЛЕД ИСТРАЖИВАЊА ПРИСТУПА ЗА СМАЊЕЊЕ ЕКОЛОШКОГ УТИЦАЈА ЛУЧКО- КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ	50
3.3. ПРЕГЛЕД ИСТРАЖИВАЊА МЕТОДА ЗА ПРОЦЕНУ ЕКОЛОШКОГ УТИЦАЈА ЛУЧКО- КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ	55
3.4. ПРЕГЛЕД ИСТРАЖИВАЊА ПРИМЕНЕ МЕТОДЕ LCA НА ЛУЧКУ МЕХАНИЗАЦИЈУ И СРОДНЕ ОБЛАСТИ	59

4. ДЕФИНИСАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ИСТРАЖИВАЊА.....	65
4.1. МЕТОДА ПРОЦЕНЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА	65
4.1.1. Развој методе LCA	66
4.1.2. Life Cycle Thinking	68
4.1.3. Сврха, општи циљеви и поље примене LCA	69
4.1.4. Ограничења и критике методе процене животног циклуса.....	71
4.2. ПОСТУПАК СПРОВОЂЕЊА ПРОЦЕНЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА	72
4.2.1. Циљ и област дефинисаности	73
4.2.2. Инвентар животног циклуса	77
4.2.3. Процена утицаја животног циклуса.....	79
4.2.4. Интерпретација	81
4.2.5. Методолошки приступ LCA студије у GaBi апликацији	82
4.3. УТИЦАЈНЕ КАТЕГОРИЈЕ И МЕТОДЕ ПРОЦЕНЕ УТИЦАЈА	83
4.3.1. Категорије утицаја на животну средину	83
4.3.1.1. Глобално загревање	84
4.3.1.2. Ацидификација	86
4.3.1.3. Еутрофикација	87
4.3.1.4. Смог.....	87
4.3.1.5. Осиромашење озонског омотача.....	89
4.3.2. Методе процене утицаја животног циклуса.....	89
4.3.2.1. Методе CML и TRACI	90
4.3.2.2. Метода Eco-indicator.....	92
4.4. МЕТОДА „WHAT IF“ И АНАЛИЗА ОСЕТЉИВОСТИ.....	93
4.4.1. МЕТОДА „What if“	93
4.4.2. Анализа осетљивости.....	94
5. ПРОЦЕНА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА	95
5.1. Циљ и област дефинисаности.....	95
5.2. ПРЕТПОСТАВКЕ LCA СТУДИЈЕ	97
5.2.1. Избор модела логистичког пара.....	97
5.2.2. Модел РТГ дизалице	98
5.2.3. Модел терминалског трактора.....	100

5.2.4. Границе система.....	103
5.2.5. Временски и географски оквир.....	105
5.2.6. Производња машина логистичког пара	107
5.2.7. Претпоставке за фазу „од извора до резервоара“	110
5.2.8. Функционална јединица логистичког пара.....	113
5.2.8.1. Функционална јединица РТГ дизалице	113
5.2.8.2. Функционална јединица Терминалског трактора.....	92
5.2.9. Претпоставке краја животног циклуса	120
5.3. ИНВЕНТАР ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА	122
5.4. ПРОЦЕНА УТИЦАЈА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА.....	124
5.5. ИНТЕРПРЕТАЦИЈА.....	126
5.6. „WHAT IF“ СЦЕНАРИО И АНАЛИЗА ОСЕТЉИВОСТИ	127
5.6.1. „What if“ сценарио.....	127
5.6.2. Анализа осетљивости.....	130
6. ПРЕЗЕНТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА	131
6.1. РЕЗУЛТАТИ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА „ОД КОЛЕВКЕ ДО ГРОБА“	132
6.1.1. Резултати „од колевке до гроба“ за РТГ дизалице.....	132
6.1.2. Резултати „од колевке до гроба“ за Терминалске тракторе.....	137
6.2. РЕЗУЛТАТИ ФАЗЕ „ОД КОЛЕВКЕ ДО ВРАТА“	142
6.2.1. Резултати „од колевке до врата“ за РТГ дизалице.....	142
6.2.2. Резултати „од колевке до врата“ за Терминалске тракторе.....	144
6.3. РЕЗУЛТАТИ ФАЗЕ „ОД ИЗВОРА ДО РЕЗЕРВОАРА“	146
6.3.1. Резултати „од извора до резервоара“ за РТГ дизалице.....	146
6.3.2. Резултати „од извора до резервоара“ за Терминалске тракторе.....	148
6.4. РЕЗУЛТАТИ ФАЗЕ „УПОТРЕБЕ И ОДРЖАВАЊА“	150
6.4.1. Резултати „употребе и одржавања“ за РТГ дизалице.....	150
6.4.2. Резултати „употребе и одржавања“ за Терминалске тракторе.....	151
6.5. РЕЗУЛТАТИ КРАЈА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА	153
6.6. РЕЗУЛТАТИ "WHAT IF" АНАЛИЗЕ	154
6.6.1. Резултати "what if" анализе за РТГ дизалице	154
6.6.2. Резултати "what if" анализе за Терминалске тракторе	156

6.7. РЕЗУЛТАТИ АНАЛИЗЕ ОСЕТЉИВОСТИ.....	157
6.7.1. Резултати анализе осетљивости за РТГ дизалице	158
6.7.2. Резултати анализе осетљивости за Терминалске тракторе	159
6.8. МОГУЋНОСТИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ ФАЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ПРИМЕНОМ МЕТОДОЛОГИЈЕ DFХ.....	161
6.8.1. Могућности оптимизације фазе „од колевке до врата“	163
6.8.2. Могућности оптимизације фазе „од извора до резервоара“	165
6.8.3. Могућности оптимизације фазе „употребе и одржавања“	167
6.8.4. Могућности оптимизације фазе „одлагања и рециклаже“	169
7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА.....	170
7.1. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА	170
7.2. ПРЕДЛОГ ПРАВЦА ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА	179
ЛИТЕРАТУРА.....	181

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1. Развој, улога и значај контејнеризације

Ако се као начело може прихватити да су најважнији технолошки изуми утицали на промене постојећих и појаве нових друштвено-економских уређења, као и да се те промене појављују у одређеним историјским размацима заједно са технолошким открићима [Freeman & Louçã, 2001], [Perez, 2001] могуће је приметити да су проналазак контејнера и контејнеризација која је уследила, представљали основу за другу и најинтензивнију фазу глобализације [Levinson, 2006], [Bernhofen et al., 2013]. Из тог разлога може се закључити да је глобализација или последица технолошког открића или је допринос контејнеризације истој суштински и недељив.

Поштујући изнету премису, процес контејнеризације, који се развијао у другој половини 20. века, и достигао потпуну зрелост почетком 21. века, заиста се етаблира као један од најважнијих догађаја модерног доба [Levinson, 2006]. Настављајући изведено закључивање, могуће је указати на извесну аналогију између контејнера и парне машине. Парна машина Џемса Вата представљала је технолошку основу за драматичну промену света, али и нова друштвена уређења [More, 2000]. На сличан начин контејнеризација или изум контејнера су технолошка основа глобализације и укидања међудржавних граница као ограничења робне размене. Ако се може учинити да је контејнеризација била инструмент глобализације под контролом западних економија, онда је исту тврдњу могуће демантовати феноменом економског развоја држава обједињених у називу „BRICS“¹. Снажно је уверење да економски просперитет држава BRICS -а, не би био могућ без изума контејнера [Rodrigue & Notteboom, 2009]. Као и многа друга открића, контејнеризација подједнако у технолошким и хуманистичким деловима

¹ Акроним за државе: Бразил, Русија, Индија, Кина и од 2010. године и Јужноафричка Република - „BRICS“ (Brazil, Russia, India, China, South Africa).

науке отвара нова поглавља за истраживања и еволутивна усавршавања. Подстакнуте огромним финансијским ресурсима транспортне и контејнерске индустрије, технологије повезане са овом секторима развијале су се значајном брзином. Готово да не постоји део модерног живота који није заокружен контејнеризацијом (Слика 1.1.).



Слика 1.1. Сприрални ефекат контејнеризације

Данас, контејнерски транспорт и логистика представљају централно место у светском систему размене, омогућавајући превоз свих врста роба с минималним трошковима и максималном поузданошћу. Широм света преко 90% нерасутог терета (non-bulk cargo), транспортује се контејнерима [Ebeling, 2009]. Највећи удео у испоруци робе преко контејнера суверено чини роба испоручена из Народне Републике Кине [World Bank, 2014].

1.1.1. Развој контејнеризације

У покушају пружања сажетог описа развоја контејнеризације као ефикасан приступ намећу се разматрање истраживања [Notteboom & Rodrigue, 2009], [Guerrero & Rodrigue, 2014]. Наиме, у истима је заступљена теорију да развој контејнеризације има карактеристике Кондратијевих² таласа који су карактеристични за технолошку дифузију унутар друштвено-економских система. Сагласно тако успостављеној аналогiji, а поштујући правила теорије Кондратијевих таласа, развој контејнеризације представљен је кроз пет периода, односно таласа (Табела 1.1.).

Табела 1.1. Таласи контејнеризације

Таласи период	Први талас	Други талас	Трећи талас	Четврти талас	Пети талас
Појам	1956–1975	*1970–1985	*1980–1995	*1995–2005	2005–
Карактеристике периода	Пионирски развој и појава првих контејнерских лука и специјализоване контејнерске механизације.	Даље јачање западне економије. Повећање трговинске размене с земљама у развоју.	Ширење концепта на нова тржишта (Јужна Америка, Блиски Исток, јужна и југоисточна Азија).	Контејнер је стандардни начин транспорта глобалне економије.	Врхунац и пуна зрелост концепта и појава тржишне утакмице међу лукама.
Репрезентативне луке	Антверпен, Њу Јорк, Лос Анђелес, Окланд, Нагоја	Роттердам, Токио, Хонгконг, Гаошјонг, Џеда, Кингстон	Сингапур, Коломбо, Бусан, Дубаи, Алхесирас	Шангај, Шенџен, Ђоја Тауро, Нингбо Тањуг	Тангерн, Бока Чика, Јингкоу, Принц Руперт
Ефекти таласа	Развој трговинске размене.	Контејнеризације је опште прихваћена.	Поставка глобалних ланаца размене роба.	Ширење глобалног ланца размене роба.	Националне економије подређене глобалним корпорацијама.

*У оквиру таласа постоје потфазе: 1970–1980 и 1975–1985 за други талас који се поклапа са почетком трећег. Између трећег и четвртог постоји међупериод 1995–2000 који обухвата оба таласа.

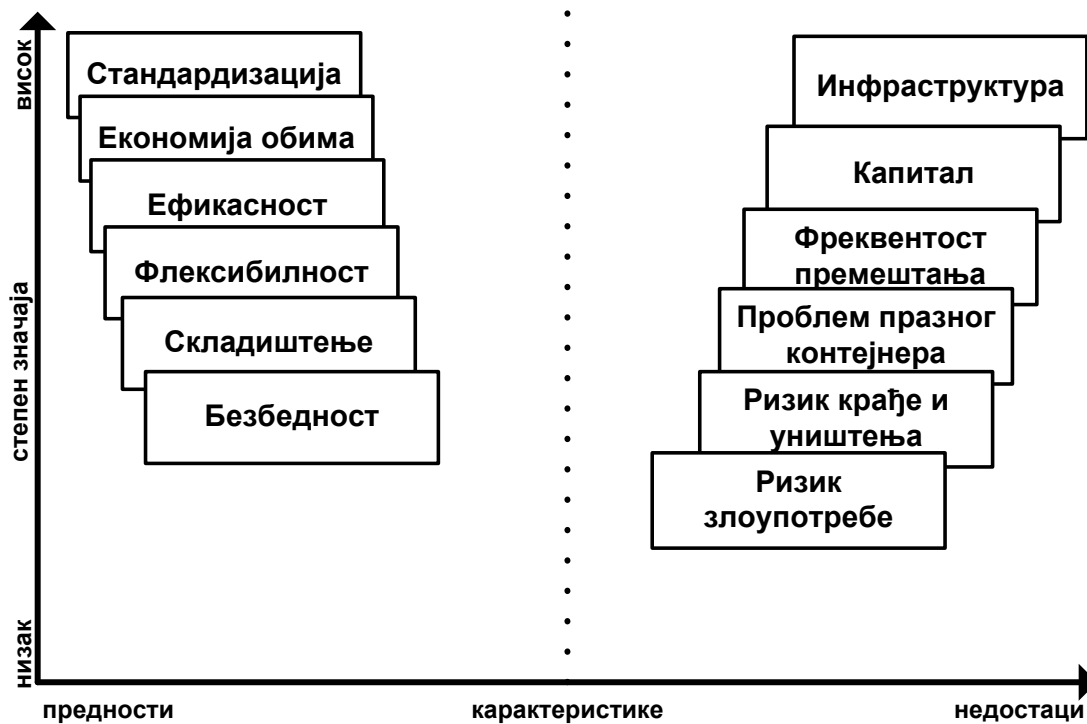
² Совјетски економиста Николај Кондратијев (Никола́й Дми́триевич Кондра́тьев: 1892–1938) први је уочио цикличне трендове у светској економији условљене технолошким проналасцима.

1.1.2. Улога и значај контејнеризације

Образложење за успешно прихватање контејнера и феномена контејнеризације, могуће је тражити у економским и технолошким карактеристикама овог изума. Одржавајући континуитет започетог дискурса, важно је указати и на околности и окружење пре појаве контејнера. Почетком педесетих година 20. века, није се могло говорити о глобалној размени роба. Економије држава су биле у значајној мери затворене, а пласирање роба на удаљена тржишта неисплативо. Удео транспортних трошкова, односно трошкова дистрибуције робе до крајњег купца био је значајан и често је достигао и вредности веће од 25% цене робе [Rodrigues et al., 2005]. Нарочито је био неисплатив прекоокеански транспорт. Највећи удео у трошковима транспорта нису чинили трошкови бродског превоза, већ утовара и истовара робе [Levinson, 2006]. Најсликовитије објашњење претходног може се дати релацијом трошкова из тог периода. Наиме, 1960. године трошкови пловидбе од 4.000 миља били су мањи од трошкова унутрашњег превоза робе између или унутар две луке на раздаљини од 10 миља [Еуге, 1964] .

Након другог светског рата, ни напредак у бродоградњи, ни снажан развој мотора са унутрашњим сагоревањем који је омогућио појаву бродова велике носивости и брзине пловидбе није допринео унапређењу међународне размене роба. Повећање брзине пловидбе анулирано је дуготрајним процесом истовара бродова који се још увек значајно зависио од лучке радне снаге, те је задржавање у лукама било дуготрајно. Због хетерогености товара чак и развој лучких дизалица није донео значајан напредак. Никако се не сме заборавити на несигурност у манипулисању товаром која је доводила до честог просипања или оштећења робе.

Управо основне карактеристике контејнера омогућиле су превазилажење већине ограничења тадашњег начина транспорта робе. Од убрзавања процеса истовара и утовара робе, веће сигурности товара, стандардизације и аутоматизације до смањења утицаја људског фактора .



Слика 1.2. Основне карактеристике контејнеризације

Основне карактеристике контејнеризације (тј. контејнерског превоза) су следеће:

Предности

- **Стандардизација.** Стандардизација контејнера омогућила је успостављање интермодалног система транспорта. Стандардни ISO контејнер поседује јединствен идентификациони број који олакшава праћење кретања робе, чиме је логистика постала вишеструко ефикаснија.
- **Економија обима - Исплативост.** Ниски трошкови транспорта, великим делом су последица стандардизације. С друге стране, економија обима у контејнеризацији додатно је унапређена са повећањем капацитета контејнерских бродова и терминала, те повећањем ефикасности.
- **Ефикасност.** Брзина утовара и истовара контејнерских бродова у лукама је смањена са некадашње три недеље на мање од 24 сата. Ако

се претходном дода и повећање брзине јасно је да се ефикасност контејнеризације с развојем концепта унапређивала.

- **Флексибилност (Прилагодљивост).** Контејнери се могу користити за превоз различитих врста роба. Од сировина у течном и растреситом стању (контејнери-цистерне), до температурно осетљивих роба (контејнери-хладњаче). С обзиром на материјал од којих су произведени, на крају животног циклуса лако им се може променити намена, или их је могуће рециклирати.
- **Складиштење робе.** По својој суштинској карактеристици, контејнер је основна јединица складиштења. Пружа ефикасну заштиту за садржај који је у њему ускладиштен, а сам се може слагати у висину и у ширину, на терминалима, бродовима и осталим системима превоза.
- **Безбедност товара.** Садржај контејнера није познат превозиоцу, нити се контејнер (осим у посебним случајевима) отвара, пре него што стигне до крајњег корисника. На тај начин смањује се ризик губитка товара или крађе.

Недостаци или ограничења контејнеризације

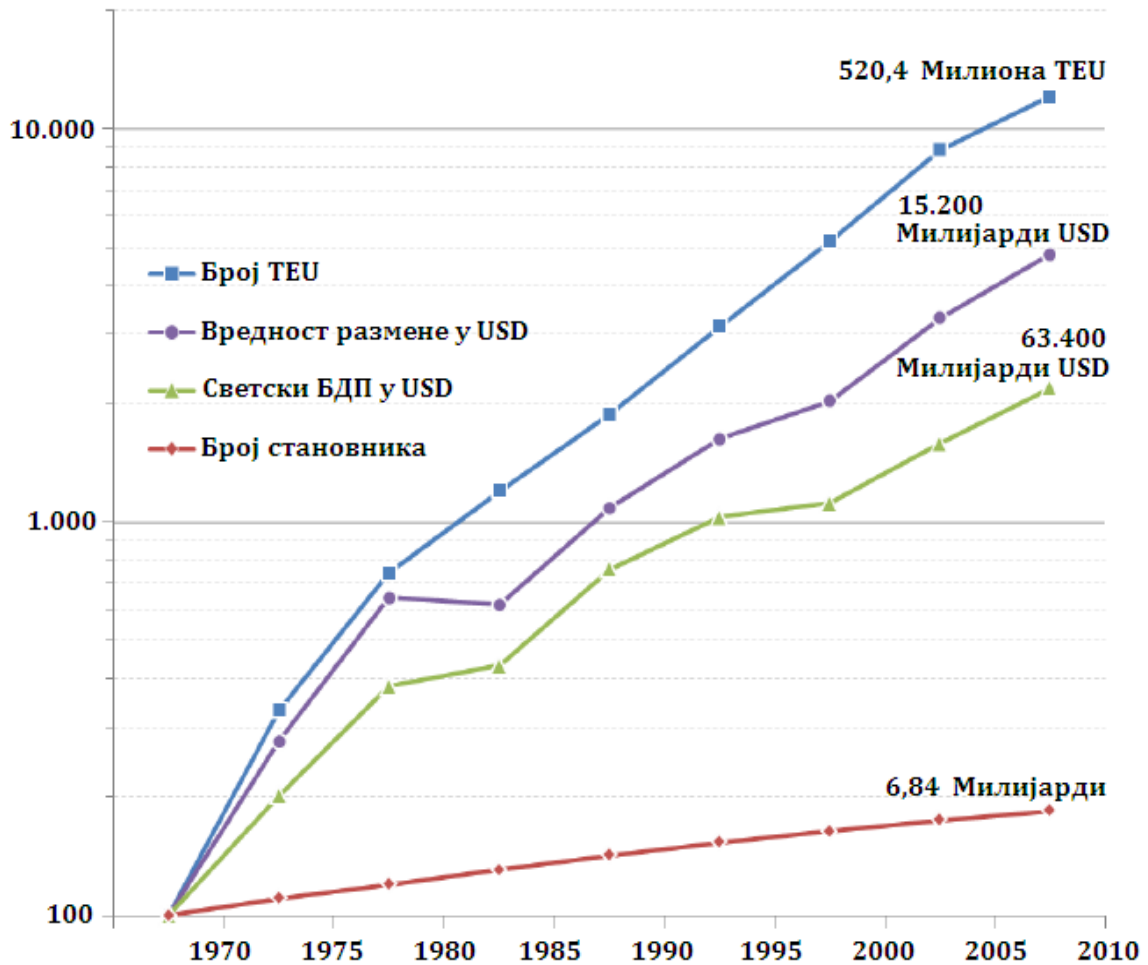
- **Захтеви за инфраструктуру.** Првенствено се односи на површину земљишта за потребе лучких-контејнерских терминала. Са растом величине контејнерских бродова, као ограничење појављује се ограничење у виду дубина акваторијума које одређује могућност прихвата бродова превеликог газа.
- **Захтеви за капитал.** Послови контејнерског транспорта и логистике спадају у финансијски изузетно захтевне операције. Значајније учешће на светском тржишту контејнерског превоза данас је ограничено само за велике међународне корпорације, које могу да капиталом подрже технолошки и инфраструктурно захтевне пројекте. То подразумева набавку машина лучке-контејнерске механизације, закупе великих површина земљишта или изградњу терминала и одржавање

ликвидности за измиривање обавеза према превозницима подизвођачима из система интермодалног транспорта.

- **Фреквенност премештања.** Приликом складиштења контејнера у терминалима, исти се слажу у висину и до десет висина контејнера [Cooper et al., 2003]. То подразумева временско, енергетски и економски захтевно манипулисање контејнерима уз помоћ специјализоване контејнерске механизације.
- **Проблем празних контејнера.** Непропорционаланост у глобалној производњи и размени роба утиче да се приликом превоза контејнера, значајан број контејнера превозе празни, јер повратног превоза нема довољно [Theofanis & Voile, 2009] На пример, већина робе се превози из Кине за САД, а у супротно смеру контејнери су најчешће празни.
- **Ризик крађе или уништења.** Приликом пловидбе, услед временских непогода, чести су случајеви пада и губитака контејнера у мору. Процена је да се на тај начин годишње изгуби око 10.000 контејнера [WSC, 2014].
- **Злоупотреба контејнера.** Као и у свим областима, ни контејнеризација није заштићена од вероватноће злоупотреба. С обзиром на то да превозник не отвара контејнер, могуће су злоупотребе приликом утовара и паковања од стране пошиљаоца.

Наведене карактеристике контејнеризације представљале су одличну основу за развој, јер се економија обима³ у контејнеризацији показала посебно израженом [Guerrero & Rodrigue, 2014]. Раст капацитета бродова, условио раст капацитета лука што је коначно изазвало сразмерно смањење удела трошкова у цени робе. Приходи логистичког сектора на светском нивоу износе око 5.400 милијарди евра или ~ 13,8% укупног БДП [Jorna et al., 2012]. Према извештајима [World Bank, 2014] у 2013. години достигнуто је 630 милиона, док је према [UNCTAD, 2015] достигнут број 651 милион TEU, а за 2014. годину исти износи је 684 милиона TEU [UNCTAD, 2015].

³Економија обима (economy of scale), подразумева смањење трошкова спровођења делатности са повећањем броја производа, услуга или размере делатности. Цена по јединици робе/услуге се смањује јер се фиксни расходи деле на веће излазне величине.

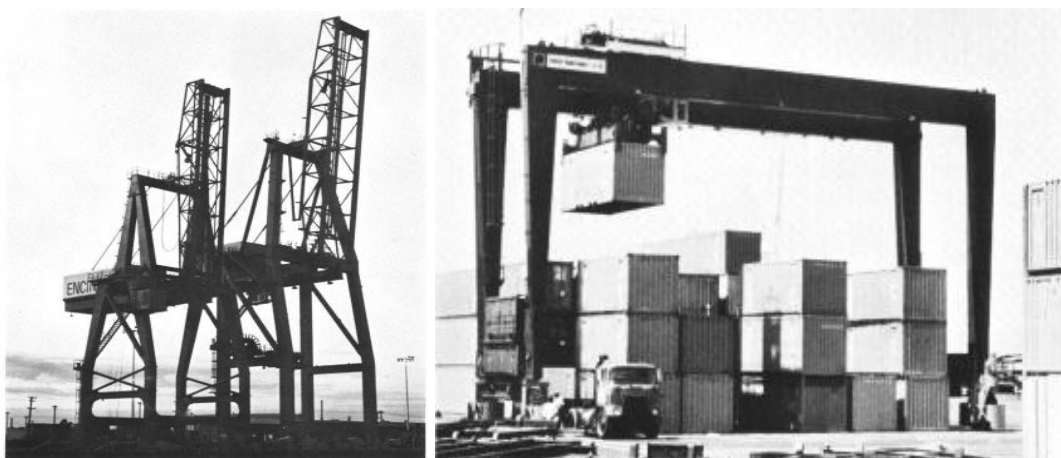


Слика 1.3. Друштвено-економска кретања и раст контејнеризације
[Guerrero & Rodrigue, 2014]

Откриће контејнера променило је и уређење лука и технологију манипулисања теретом у лукама у драматичној мери [Tsinker, 2004]. Период успостављања контејнерског транспорта од 1965-1975, представља период највећих изазова за лучке градове и управе лука. Изазов контејнеризације етаблирао је нове лучке терминале као глобалне центре контејнерског логистичког система, док луке које нису успеле да се прилагоде, постепено, али извесно су нестајале са међународних карти великих бродских превозника. Економски слабије развијене и до појаве контејнера сиромашне земље, издижу се по величини БДП у ери контејнеризације [Notteboom & Rodrigue, 2005], [Notteboom & Rodrigue, 2008].

О обиму промена који је контејнеризација донела, говори чињеница да се међу првих десет највећих лука за прихват контејнера све налазе на азијском континенту [UNCTAD, 2015]. Међу првих двадесет контејнерских терминала, прва америчка лука Лос Анђелес је на 19. месту [WSC, 2015]. Интересантна је и чињеница да велики број високо пласираних лучких-контејнерских терминала није постојао пре 25 година [Rodrigue & Notteboom, 2009]. Системи интермодалног транспорта, омогућавају развој и лучких градова који се не налазе на морским обалама, јер контејнеризација заузима значајно место у речном, железничком и друмском саобраћају. Потврда наведеног јесте, да највећа лука на унутрашњем пловном путу на реци Рајни у Дуисбургу у Немачкој има преко 3,5 милиона TEU годишње [SUT, 2016].

Контејнеризација доноси и значајне промене у технолошко-техничком смислу. Организовање прихвата контејнера на лучким терминалима условљава појаву нових система механизације прилагођених манипулисању с контејнерима. Ради опслуживања процеса на терминалима конструишу се машина специјализоване за искрцавање и укрцавање пловила, манипулисање и превоз контејнера унутар терминала. Као и сама контејнеризација и развој специјализоване механизације кретао се кроз фазе. Прва обалска контејнерска дизалица произвођача „Расесо“ представљена је 1959. године, а исти произвођач своју порталну контејнерску дизалицу представио је 1977. године [Folsom, 2001].



Слика 1.4. Прва обалска контејнерска и портална дизалица [Folsom, 2001]

1.2. Будућност контејнеризације

У покушају предвиђања кретања контејнеризације у будућности, изабране су апроксимације на основу групе релевантних истраживања. Прво предвиђање засновано је на основу утицаја мегатрендова⁴ на развој контејнеризације. Повезивање „мегатрендова“ и кретања у транспорту и интерлогистици новијег је датума, а доступно је у истраживањима [Kartnig et al., 2012], [Вујичић, 2015]. Други приступ заснован је на предвиђањима заснованим на основу статистичких показатеља односа економског раста, транспорта и демографских кретања које заступају [Van Ham & Rijsenbrij, 2012] и прогнозама [Drewry, 2012] и будућих кретања, датих на основу теорије Кондратијевих таласа и аналогije истих са кретањима у контејнеризацији, према истраживањима [Notteboom & Rodrigue, 2009], [Guerrero & Rodrigue, 2014], .

1.2.1. Будућност контејнеризације и мегатрендови

Сублимирајући развој контејнеризације и пресудан утицај исте на процес глобализације, извесно је да долазећа померања у контејнеризацији неопходно тражити међу друштвеним, економским и технолошким изазовима у будућности, који се често у литератури термилошки заокружују у појам мегатрендова. Контејнеризација је представљала технолошку револуцију која је обликовала кретања, међутим, обзиром да је достигнута пуна зрелост концепта контејнера [Guerrero & Rodrigue, 2014], у будућности ће се она прилагођавати долазећим мегатрендовима.

Пажљиво анализирајући најважније мегатрендове класификоване према водећим консултантским организацијама [Glockner & Neef, 2013], [Singh, 2014], [KPMG, 2014], могуће је извести закључке о кретањима која ће утицати на транспортни сектор и развој контејнеризације до 2030. године.

⁴ Мегатрендови представљају очекивана кретања великог утицаја услед којих долази до промене друштвеног, привредног, економског и културног окружења на светском нивоу. Појам мегатренда први пут презентовао је амерички научник Џон Незбит.

Према извештајима ових организација најважнији мегатрендови који могу утицати на контејнеризацију су:

1. Урбанизација

Према [KPMG, 2014] до 2030 године две трећине светске популације живеће у урбаним срединама. Урбанизација омогућава економски раст, али и врши велики притисак на животну средину услед енергетске и инфраструктурне захтевности. Како урбанизација подразумева већу потрошњу и размену роба сви системи интермодалног транспорта контејнера, а посебно лучки терминали повећаваће број својих операција. Даља урбанизација и посебно све чешћа појава „мега“ градова довешће до раста броја TEU на глобалном нивоу. Према консултантима Frost & Sullivan [Singh, 2014], очекује се да до 2030. године 35 градова добије статус „мега“ града од чега 13 у Кини.

2. Енергетски изазови

Очекивани раст популације и стварање нових потрошачких центара услед раста нових економија представљају енергетске изазове првог реда. Ако се додају изазови климатских промена и неопходности за смањење емисија CO₂ ради се о двоструким изазовима. Транспортни сектор, коме припада контејнерски транспорт и логистика посебно су погођени ограничењима енергетских ресурса.

3. Паметне технологије

Концепт „паметне технологије“ (*smart technology*), представља континуитет „зелених“ технологија, тј. еколошки прихватљивих производа чији је утицај на животну средину повољнији од конвенционалних технолошких еквивалената [Вујичић, 2015]. Концепт „паметног“ данас се везује за све појмове од „паметних“ градова до возила и рачунара. У делу контејнеризације исти се односи на даље смањење утицаја контејнерских система на животну средину, али и оптимизацију процеса кроз ефикаснију интеракцију са информатичким системима.

4. Концепт „нулте емисије“

Концепт “нулте емисије” изведен је из мегатренда „иновацијама до нултих последица“ (нпр: нултог отпада, нулта смртност у саобраћају, нулта стопа криминалитета и сл.). Исти представља утопијски циљ највеће ефикасности свих система у саобраћају [Lam & Notteboom, 2014], [Nikitakos, 2012].

5. Будућност мобилности

Иако се концепти будуће мобилности (мултимодални транспортни системи, електрична возила, развој инфраструктуре за допуну електричних возила, алтернативна горива и сл.) најмање односе на системе транспорта контејнера, извесно је да ће развој нових технологија за друмска возила дати могућности за унапређење ефикасности свих система транспорта у контејнерској логистици [Вујичић и сарадници, 2012].

6. Инфраструктурни развој

Еколошки трендови, концепт „нулте емисије“, „паметни“ градови (smart cities), нови системи мобилности и очекивано повећање броја електричних возила подразумевају дугорочно планирање и улагање у инфраструктуру. Лучки-контејнерски терминали као важан елемент градова на обали неизоставни су део инфраструктурног планирања и развоја.

7. Климатске промене

Ограничења животне средине у најтежем облику мерљива су кроз климатске промене. Активности на смањењу утицаја људских активности на животну средину и климатске промене подразумевају и допринос свих сектора повезаних са контејнеризацијом. Како су климатске промене први изазов човечанства у 21. Веку [Iqbal & Ghauri, 2011], [Maslin, 2014] контејнеризација као важан елемент свакодневног живота модерног човека укључена је у све процесе повезане са изазовима климатских промена.

8. Раст нових економија

Раст економија „BRICS-a“ у значајној мери је променио трендове и створио нове могућности за јачање контејнерског саобраћаја и појаву нових лучких-термина на територијама ових држава. Према предметној аналогiji могуће је очекивати и снажан утицај на контејнеризацију од раста економија чији је БДП већи 1.000 милијарди долара, попут Индонезије (3.071 млрд USD), Турске (2.441 млрд USD), Мексика (2.327 млрд USD) и Пољске (1.041 млрд USD) и оних близу те границе Тајланд (772 млрд USD), Нигерија (730 млрд USD) и Египат (653 млрд USD). Део ових држава обједињен је у новом акрониму за економије у развоју MINT⁵ [Reprisk, 2014].

9. Друштвене промене и раст куповне моћи

Повећање куповне моћи у економијама у развоју резултира повећаном потрошњом, што подразумева даљи развој система снабдевања, односно логистике, у чему је контејнеризације од суштинског значаја.

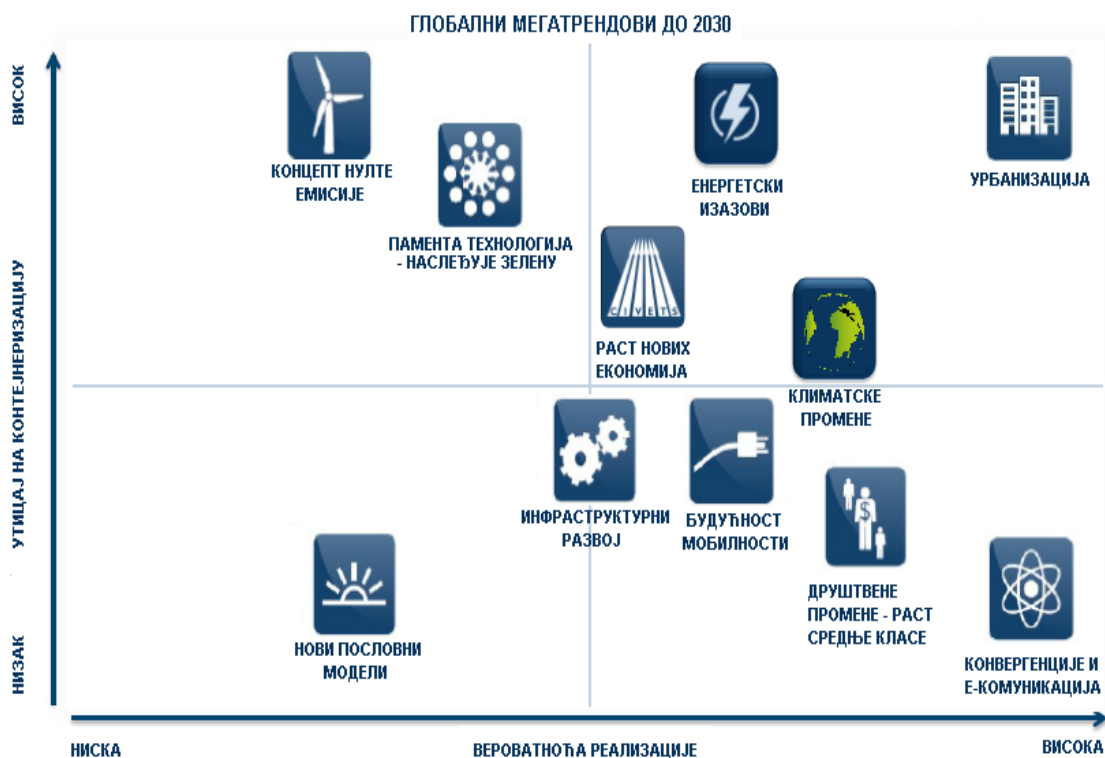
10. Конвергенције и е-комуникација

Електронски системи комуникације имплицитно утичу на конвергенцију различитих привредних сектора. Транспортни системи међу којима је свакако и контејнерска логистика повезују се са новим технологијама еколошке производње електричне енергије или аутоматизоване-аутономне механизације. Модели е-комуникације и е-трговине, често су сматрани као начин одржања концепта потрошачког друштва, кога у модерном систему размене роба управо контејнеризација чини могућим. Никако се не сме занемарити и промовисање академског става о четвртој индустријској револуцији (Industrial revolution 4.0) и њеним импликацијима на остале технолошке и привредне секторе [Furmans et al., 2015].

⁵ Акроним: MINT (Mexico, Indonesia, Nigeria, Turkey).

11. Нови пословни модели

Нови пословни модели, такође су усмерени одржању привредног раста и транзицији из треће у четврту индустријску револуцију. Према Frost & Sullivan [Singh, 2014] нови пословни модели, представљају додатну вредност јер омогућавају доступност технологија велике материјалне вредности, већем броју корисника, кроз концепте удруживања носиоца мањих капитала, ради остварења заједничких интереса. На активности повезане са дискурсом дисертације то се огледа у новим начинима закупљивања простора у лучким терминалима, на контејнерским бродовима, како би они били приступачнији већем броју корисника. Из оваквих активности ствара се специјализовано тржиште контејнерских капацитета, што омогућава одржање интереса за контејнерским транспортом и у наредне две декаде.



Слика 1.5. Глобални мегатрендови до 2030. године [Вујичић, 2015]

1.2.2. Прогнозе раста контејнеризације

Развој контејнеризације у значајној мери је утицао на економски просперитет и економска кретања на глобалном нивоу. Према [Van Nam & Rijsenbrij, 2012] претпоставка је да будуће економске промене могу утицати на одржање концепта контејнерског саобраћаја. У публикацијама организације [Drewry, 2012] пројекције броја TEU заснивају на историјским кретањима у контејнеризацији и односу истих са стопом раста БДП обзиром да се број TEU повећавао по стопи вишој за 5,6% од БДП-а.

Конзервативан став заснован на претпоставкама да је законитост Кондратијевих таласа евидентна у контејнеризацији [Guerrero & Rodrigue, 2014] указује на могућност негативних трендова. Аутори сматрају да је неминовна стагнација или чак смањење заинтересованости за индустријске секторе окупљене око контејнеризације. Потврду тврдње виде у већ регистрованом паду забележеном у периоду светске економске започете кризе с краја 2008. године.

У раду [Вујичић, 2015] указује се на истраживање оптимизације постојећих капацитета контејнерског транспорта ради остварења еколошке ефикасност. Аутор такође сматра да у делу раста броја TEU у будућности технолошко-техничка струка може минимално допринети, јер изазов целог транспортног сектора лежи искључиво у друштвено-политичком домену и заступа концепт конзервативног раста, али преиспитује експлицитну аналогију са Кондратијевим таласима код прогнозирања смањења броја TEU.

Сагласно набројаним приступима, могуће је дати прогнозе броја TEU до 2050. године. [Van Nam & Rijsenbrij, 2012], будући број TEU израчунавају једначином (1.1.):

$$CH_n = CH_0 \times P_i \times PPP_i \times \frac{Tg_i}{Eg_i} \quad (1.1.)$$

Где је:

CH_n – очекивани број контејнерских операција изражен у TEU еквиваленту

CH_0 – тренутни број контејнерских операција изражен у TEU еквиваленту

P_i – Индекс раста броја становника (Индекс популације) где се за $P_i > 1$ очекује раст

PPP_i – Индекс паритета куповне моћи

$\frac{Tg_i}{Eg_i}$ – Рацио (однос) раста стопе транспорта и економије где се за $\frac{Tg_i}{Eg_i} > 1$, очекује бржи раст транспорта од економије

[Van Nam & Rijsenbrij, 2012] дају прогнозе за неминовним одржањем контејнеризације до 2050. године на основу следећих очекивања:

- Раст броја становника на 10,5 милијарди до 2050. године (подстакнут је растом популације у државама у развоју);
- Раст куповне моћи, са мањом стопом него у 20. веку (у периоду од 1950. до 2000. он је износио од 200% до 500%). Претпоставља се конзервативан раст од 75% до 2050. године;
- Стопа раста саобраћаја била је двоструко већа од економског раста. Имајући у виду објективне разлоге за успорење саобраћаја (енергетска и инфраструктурна ограничења), [Van Nam & Rijsenbrij,2012] претпостављају раст транспорта од 150% до 2050.

Стављањем претпостављених кретања у једначину (1.1.) добија се вредност броја TEU до 2050. године:

$$CH_{(2050)}=650 \times 10^6 TEU_{(2014)} \times 1,5 \times 1,75 \times 1,5$$

$$CH_{(2050)}=2.560 \times 10^6 TEU$$

Претпоставка о расту од 400% у броју TEU до 2050. године је висока, с обзиром на минималне стопе раста у Европи и САД. Могућности раста поред економија „BRICS-a“, [Van Nam & Rijsenbrij,2012] очекује од Вијетнама, Индонезије и држава афричког континета, где је очекивано повећање броја становника од 300% [UNPD, 2012]. Као изазове за реализацију претпоставке о расту броја TEU, идентификују се ограничења инфраструктуре лука и непостојећих система за интермодални транспорт у Африци, те извесност енергетских и еколошких ограничења.

[Drewry, 2012] израчунава раст броја TEU кроз релацију са БДП према једначини (1.2.):

$$\frac{\Delta TEU}{TEU} = k \times \frac{\Delta GDP}{GDP} \quad (1.2.)$$

Где је ΔTEU промена броја контејнера, TEU тренутна вредност броја TEU, k фактор раста (за $k > 1$), ΔGDP промена БДП-а, GDP тренутна вредност БДП-а.

Ако се у једначину (1.2) уврсте вредности стопе расте према последњем извештају и прогнозама [Drewry, 2015] могуће је добити вредности од 2,3 преко 2,6 до чак 3,2 милијарде TEU до 2050.

Обзиром на основе за обрачун стопа раста одређене од стране [Van Ham & Rijsenbrij, 2012], те [Drewry, 2012], могуће је извести нову једначину (1.3) која би уврстила стопе:

$$CH = CH_0 \times \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (1 + \Delta k_n)} \quad (1.3.)$$

Где је:

CH – очекивани број контејнерских операција изражен у TEU еквиваленту

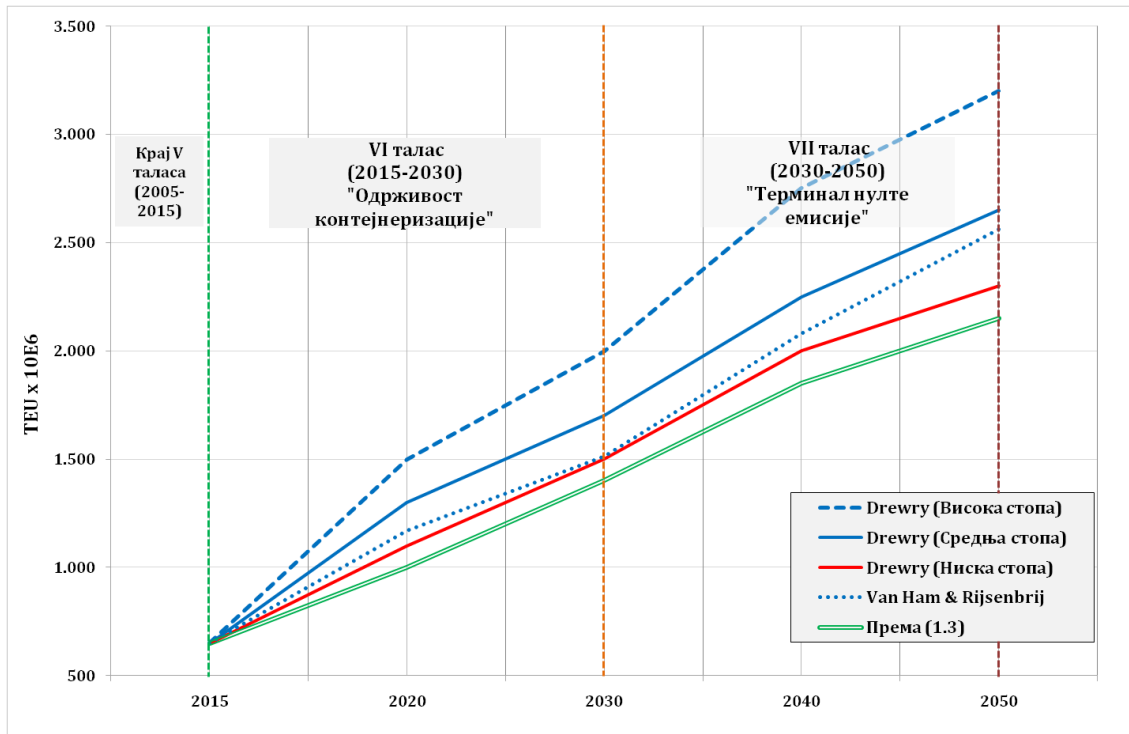
CH_0 – тренутни број контејнерских операција изражен у TEU еквиваленту

Δk – процентуална стопа раста изабране категорије у периоду пре CH_0 (Δk_1 – раст TEU, Δk_2 – раст популације, Δk_3 – раст економије и сл.)

На основу изабраних приступа у израчунавању будућег броја TEU формирана је табела 1.2, као и пројекција развоја шестог и седмог таласа контејнеризације.

Табела 1.2. Број TEU до 2050. години према од прогнозама раста

Сценарио раста (у 10^6 TEU)	2015	2020	2030	2040	2050
Drewry (Висока стопа)	650	1.500	2.000	2.750	3.200
Drewry (Средња стопа)	650	1.300	1.700	2.250	2.650
Drewry (Ниска стопа)	650	1.100	1.500	2.000	2.300
Van Ham & Rijsenbrij	650	1.170	1.515	2.080	2.560
Према (1.3.)	650	1.000	1.400	1.850	2.150



Слика 1.6. Пројекција броја TEU у шестом и седмом таласу

1.2.3. Изазови контејнеризације и импликације на терминале

Изазови за даљу развој контејнеризацији огледаће се у проналажењу решења за раст укупног броја TEU и одржање економске исплативости уз смањење негативних еколошких ефеката контејнерског сектора. Обједињени економски и еколошки изазови у значајној мери преносе се на активности лучких терминала. Развој и повећање величине контејнерских бродова који достижу ширину палубе еквивалентне ширини 22 контејнера намећу оптимизацију контејнерских терминала и повећање дохвата (и до 50 метара) обалских контејнерских дизалица. На самом терминалу због ограничене површине висина складиштења постаје нови изазов. Повећање висине складиштења и дохвата представљају не само енергетске и еколошке изазове, већ и технолошке изазове. Наиме, повећање висине складиштења и повећање препуста обалских мегадизалица ради опслуживања све већих пловила подразумева другачија оптерећења конструкције дизалица, а пропорције раста неопходно је преиспитати [Зрнић, 2005].

Развој контејнеризације и импликације на контејнерске терминале сажето се представљају као одговор сектора на следеће изазове:

- **Друштвено-економски изазови**
 - Одржање потражње за услуге контејнерских терминала
 - Повећање броја учесника у тржишној утакмици и смањење цене транспорта и складиштења контејнера
 - Границе економије обима
 - Геополитичка нестабилност условљава промену лучких дестинација
- **Технолошки изазови**
 - Повећање степена искоришћености терминала (са постојећег просека од 68% до 90%) кроз повећање висине складиштења и оптимизацију доступних ресурса
 - Повећање капацитета терминала за прихват већих пловила (Post New Panamax > 18.000 TEU) кроз проширење акваторијума, повећање обалског простора за сидрење;
 - Развој већих и ефикаснијих машина лучке-контејнерске механизације, од обалских мегадизалица, преко механизације за складиштење до аутоматски навођених шасија или терминалских трактора нулте емисији
 - Даљи развој интермодалних система
 - Коришћење напредних информационих технологија ради бољег планирања складиштења контејнера, кроз имплементацију концепта „Internet of things“ у лучке операције.
- **Еколошки изазови**
 - Смањење укупног обима емисије гасова стаклене баште, буке и загађења воде и земљишта
 - Усклађивање лучких операција са строжим еколошким регулативама

- Ограничење ширење лучких терминала на нове површине, што повратно производи технолошки изазов ефикаснијег искоришћење постојећег земљишта и заузете обале
- Усклађивање стратегија развоја лука са концептима „Зелене луке“ и „Луке нулте“ емисије.

У покушају одређења према будућем развоја контејнерског саобраћаја на основу постојећих трендова, чињеница и изазова, а имајући у виду раније поменути паралелу везану за „таласе у контејнеризације“ намеће се аналогија да шести талас контејнеризације у значајној мери одсликава 10 најважнијих мегатрендова, од којих сваки прожима питање утицаја на животну средину. Према тој премиси шести талас „контејнеризације“ је период смањења утицаја исте на животну средину. Ако се за почетак овог периода може усвојити крај петог таласа ~ 2010/2015. тада је јасно временско поклапање еколошког мегатренда декаде 2010-2020 и почетка шестог таласа еколошки одрживе контејнеризације.

Даљим повезивањем у претходном ставу наведене аналогије изводи се закључак да седми „талас контејнеризације“ може представљати континуитет са одрживошћу контејнерског саобраћаја додатно унапређеног концептом „нулте емисије“. Како је исти неостварив са позиције бродског транспорта контејнера, а већ су приметни поједини планови за луке, закључак је да „контејнерски терминал нулте емисије“ заузима централно место након 2030. године (слика 1.6).

2. ПРОБЛЕМ И ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Утицај лучко-контејнерских терминала на животну средину

Велике луке и контејнерски терминали представљају значајне изворе загађења животне средине. Емитовање супстанци у ваздух и водену средину и загађење од буке на лукама угрожавају здравље људи и опстанак флоре и фауне у непосредном окружењу [Bailey & Solomon, 2004], [Bailey et al., 2004a], [Bailey et al., 2004b]. Наведено је од посебног еколошког значаја јер се контејнерски терминали често налазе у непосредној близини густо насељених градова. У комбинацији са ваздухом који је већ засићен од издубних гасова карактеристичних за велике метрополе, луке заиста представљају опасност по здравље становника и животну средину [Cannon, 2008]. Данас, многе луке у великим приобалним градовима сматрају се надалеко највећим загађивачима воде, ваздуха и земљишта и неопходност преузимања мера за смањење негативних утицаја постаје питање од општег интереса [Cannon, 2009].

Смањење еколошког отиска лука и контејнерских терминала намеће се као обавеза лучких власти у истом моменту када је услед светске економске кризе спровођење контејнерских операција већ оптерећено изазовом одржавања система на граници економске исплативости [Cannon, 2009], [Зрнић и Вујичић, 2012]. Управе лучких-контејнерских терминала налазе се у позицији два међусобно супротстављена изазова. У периоду највишег интензитета економске кризе очекује се раст броја TEU и истовремено смањење еколошког отиска терминала сагласно еколошким захтевима, а често и позитивним прописима којима су ограничене дозвољене емисије загађења.

Важно је нагласити да почетком 21. века луке и контејнерски терминали, нису били предмет строгих еколошких регулатива, чак ни у државама Западне Европе и САД. Заједно са иницијативама међународних организација

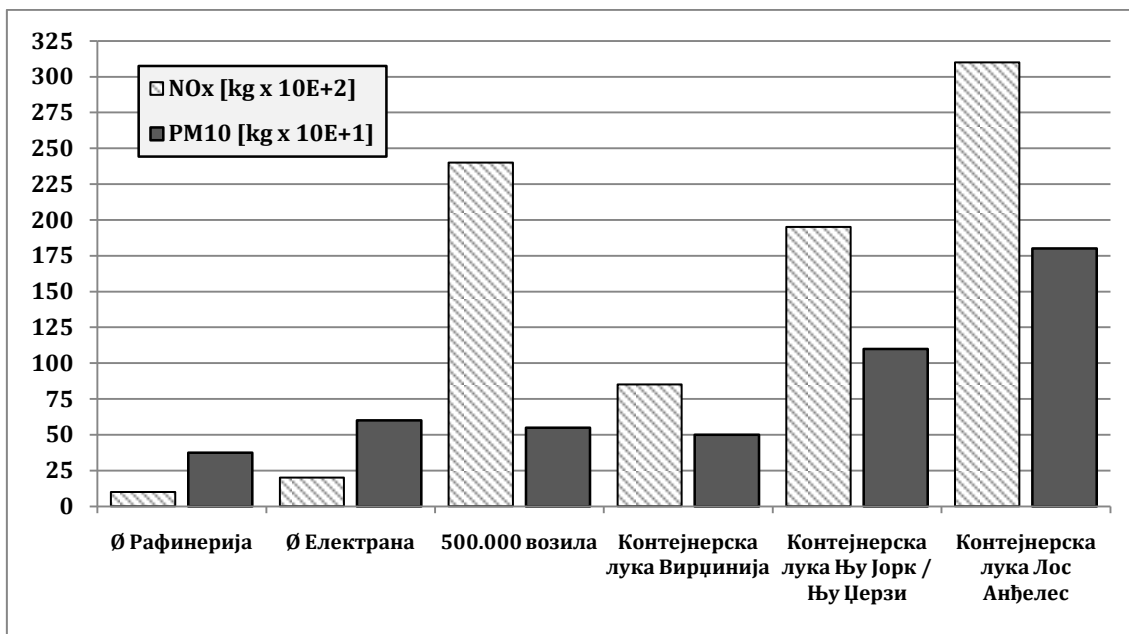
за заштиту животне средине⁶, те иницијативама стручне јавности, проблеми загађења животне средине у околини лука и контејнерских терминала, све чешће налазе своје место у агендама стручних скупова, али и предлагача закона, нарочито у државама Европске уније и САД. То се потврђује кроз активности лучких управа које су у релативно кратком периоду од покретања еколошке агенде, презентовале стратегије и програме за смањење утицаја лучких активности на животну средину [Bailey et al., 2004a], [Cannon, 2009].

У међувремену, развој азијских економија, а посебно привредног феномена Кине доводи до појаве нових лука и контејнерских терминала, који се данас налазе међу водећим у свету по броју TEU [Rodrigue & Notteboom, 2009]. Обзиром да се у том периоду еколошке регулативе тек појављују у Европи и САД, у Азији еколошка питања још увек нису била у домену интересовања лучких управа.

Прве конкретне иницијативе за смањење утицаја на животну средину контејнерских терминала у Кини, појављују се закашњењем од готово једне деценије у односу на Европу и САД [Ma et al., 2014], [Fung, 2014]. Од резервисаног интересовања за питања утицаја лука и контејнерских терминала на животну средину до потпуне посвећености свих заинтересованих страна протекло је више од једне деценије.

Данас се може сматрати да уз економске нестабилности, еколошки проблеми лука представљају изазове највишег приоритета, а томе је научна јавност посебно посвећена [Ng et al., 2016], [Lam & Notteboom, 2014], [Lirn et al., 2013] [Nikitakos, 2012], [Cannon, 2008, 2009], [EPA, 2007]. Оправданост интересовања сликовито се потврђује релацијама са слике 2.1. која приказује ниво емисије NO_x и чађи контејнерских лука и осталих извора загађења у периоду од једне године [Bailey et al., 2004b]. Према релацији са слике емисије наведених гасова из луке Лос Анђелес веће су од емисије пола милиона путничких возила.

⁶ Организације/иницијативе попут: United Nations Environmental Program (UNEP), United States Environmental Protection Agency (US EPA)



Слика 2.1. Поређење емисија у лукама са другим изворима
[Bailey et al., 2004b]

Емисије гасова стаклене баште (у даљем тексту: ГСБ) у лучким-контејнерским терминалима последица су различитих извора загађења. Ови извори могу се поделити или груписати на различите начине. Према [Cannon, 2008] исправно је груписање у три категорије загађења:

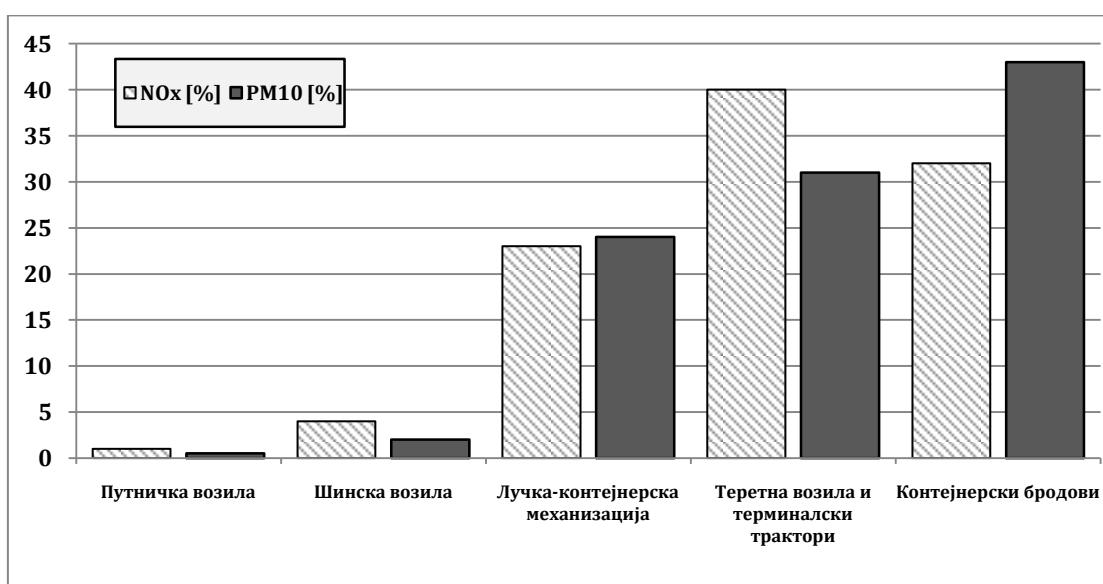
- Загађење лука од пловила
 - Контејнерски бродови,
 - Приобална пловила (реморкери и бродови дизалице);
- Загађење лука од сопствених оперативних активности унутар терминала
 - Контејнерска механизација,
 - Кретање возила намењених за превоз контејнера,
 - Кретање осталих возила
 - Генератори енергије за потребе луке и усидредних пловила
- Загађење лука од кретања спољних возила
 - Теретна моторна возила која довозе и одвозе контејнере
 - Шинска возила која довозе и одвозе контејнере

Груписање према пет [Starcrest, 2003, 2004, 2005, 2014] шест [Bailey et al., 2004] извора загађења заступљено је у извештајима лучких управа из САД:

- Загађење лука од пловила (контејнерских бродова)
- Загађење од лучке механизација
- Загађење од теретних друмска возила
- Загађење од шинских возила
- Загађење од лучких генератори електричне енергије и грејања
- Загађење од путничких возила (опционо код [Bailey et al., 2004b])

Свака од наведених категорија представља знатан извор загађења. Стриктна подела или евиденција удела појединачног извора загађења није била заступљена све до 2001. године [Starcrest, 2005]. Тада су поделе према категоријама успостављене и први пут јасно приказан еколошки утицај лучке-контејнерске механизације, који до тада није препознат као значајан извор загађења. Пример поделе према извору загађења дат је на слици 2.2.

Прикупљање и систематско вођење база података о изворима загађења у лукама у Азији започето је 2003. године, а исти су објављени за контејнерске терминале лука Хонгконг и Шенџен са резултатима из 2007. године [Galbraith et al., 2008], док су извештаји из којих је могуће направити поделе постали доступни нешто касније [Chin & Low, 2010].



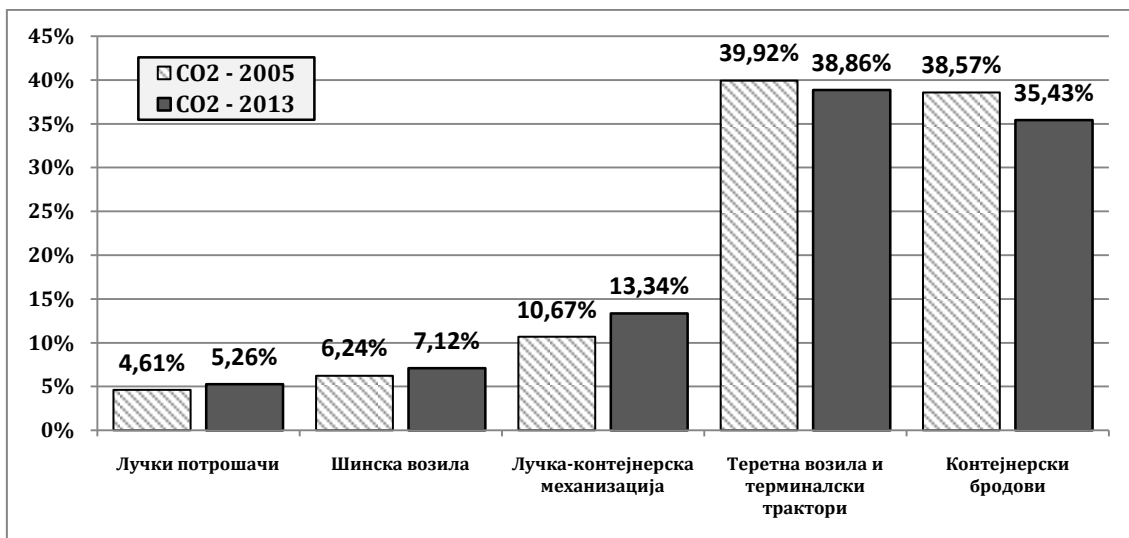
Слика 2.2. Учешће извора у укупној емисији терминала [Bailey et al., 2004b]

Табела 2.1. Емисије на контејнерском терминалу „POLA“ [Starcrest, 2014]

Извор емисије	Год.	CO ₂ eq		CO ₂		N ₂ O		CH ₄	
		[x10 ³ kg]	%	[x10 ³ kg]	%	[kg]	%	[kg]	%
Контејнерски бродови	2005	375.409		368.712		21.146		5.037	
			-27,20%		-27,01%		-23,22%		-20,00%
	2013	273.314		269.111		16.235		4.029	
Теретна возила и терминалски трактори	2005	388.532		384.367		13.095		14.139	
			-22,56%		-22,55%		-23,08%		-78,38%
	2013	300.872		297.682		10.073		3.057	
Лучка контејнерска механизација	2005	103.863		102.934		3.030		3.040	
			-0,55%		-0,41%		-32,73%		33,85%
	2013	103.292		102.516		2.038		4.069	
Шинска возила	2005	60.706		60.104		2.027		5.087	
			-9,22%		-9,20%		-49,81%		-20,94%
	2013	55.111		54.574		1.017		4.021	
Пратећи потрошачи на терминалу	2005	44.860		44.224		2.035		1.017	
			-9,18%		-9,18%		-1,18%		-1,18%
	2013	40.743		40.164		2.011		1.005	
УКУПНО	2005	973.370		960.341		41.332		28.319	
			-20,55%		-20,44%		-24,09%		-42,86%
	2013	773.332		764.047		31.374		16.182	

Анализом извештаја о емисијама у лукама Лонг Бич и Лос Анђелес за 2005. и 2013. годину који су приказани у табели 2.1. утврђено је смањење емисије ГСБ за све изворе осим код лучке-контејнерске механизације [Starcrest, 2014]. Код четири од пет извора емисије ГСБ приметно је смањење емисије CO₂ од 9% до 27% осим за лучко-контејнерску механизацију где су емисије CO₂ практично непромењене [Starcrest, 2014].

Образложење за повећање емисија ГСБ лучко-контејнерске механизације, могуће је пронаћи у неколико чињеница. Неизоставан узрок је повећање интензитета коришћења постојеће опреме, односно броја манипулација TEU. Забележено је и повећање броја комада опреме. С друге стране, новији модели лучко-контејнерске механизације опремљени су ефикаснијим дизел агрегатима или се користи гориво с ниским садржајем сумпора. Због тога је забележено смањење емисија азотних-оксида (NO_x), сумпор-диоксида (SO₂) и чађи (PM), али емисије ГСБ нису смањене.



Слика 2.3. Учешће загађивача у укупном резултату
[Starcrest, 2014]

Селективност еколошких иницијатива када је у питању лучка-контејнерска механизација резултирала је најмањим напретком управо ове области [Вујичић и сарадници, 2013], [Зрнић и Вујичић, 2012]. Машине лучко-контејнерске механизације су у већини случајева погођене дизел моторима велике радне запремине и снаге, код којих не постоје обавезујуће регулативе у погледу дозвољеног нивоа емисија штетних издувних гасова. Код машина лучке-контејнерске механизације ради се о агрегатима за вандрумску употребу (*non-road mobile machinery*) код којих је регулисање емисија започето тек 1997.године са директивом Европске комисије (Directive 97/68/EC) и стандардима "Stage I/II и III/IV", који су аналогија за стандард „Tier I/II и III/IV“ који се примењују у САД. Када су у питању азијски простори питање дозвољених емисија штетних издувних гасова није једнообразно ни за друмска возила, док је стање ове области за вандрумске агрегате који се користе за машине лучке-контејнерске механизације потпуно неуређено. Потврда претходног је да иницијатива за регулисање емисија штетних издувних гасова за друмска возила држава Персијског залива које су чланице GCC⁷ први пут покренута 2008.године [Eshani, 2008].

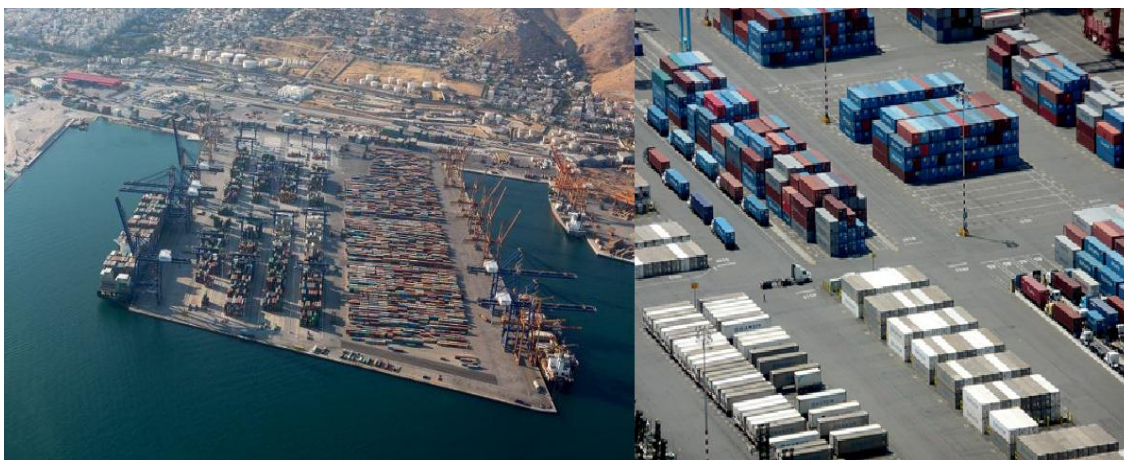
⁷ Gulf Cooperation Council

2.2. Уређење контејнерског терминала

У циљу адекватног образложења проблема и предмета истраживања презентовано је уређење лучког контејнерског терминала и њему припадајућих система и подсистема намењених опслуживању пловила (за укрцавање и искрцавање контејнерски бродова), унутрашњем транспорту, складиштењу контејнера и одржавању терминала.

Контејнерски терминал представља инфраструктурни простор који је део система логистичког ланца у дистрибуцији роба. Сврха контејнерског терминала је омогућавање претовара између различитих видова транспорта и привремено складиштење контејнера. У зависности од положаја у односу на водни ток, контејнерски терминал може бити:

- Морски контејнерски терминал (maritime container terminal)
- Копнени контејнерски терминал (inland container terminal)



Слика 2.4. Пример морског и копненог контејнерског терминала

Контејнерски терминал представља комплексан систем чије ефикасно функционисање зависи од адекватног уређења које омогућава непрекидан процес укрцавања и искрцавања пловила (или другог транспортног вида) које превози контејнере [Brinkmann, 2011]. Ефикасно уређење терминала је неопходно ради задовољења захтева у погледу минималног задржавања - времена чекања пловила и максималног искоришћења простора

пристаништа [Park & Dragović, 2009]. Уобичајено је да су контејнерски терминали подељени на три оперативне области или целине [Драговић и Зрнић, 2014]:

1. **Оперативна обала** се налази између пристаништа и контејнерског складишта. Ту се омогућава привез контејнерског брода, а затим његово опслуживање. Ова целина је уједно и највише истраживана и заступљена у литератури из ове области [Драговић и Зрнић, 2014];

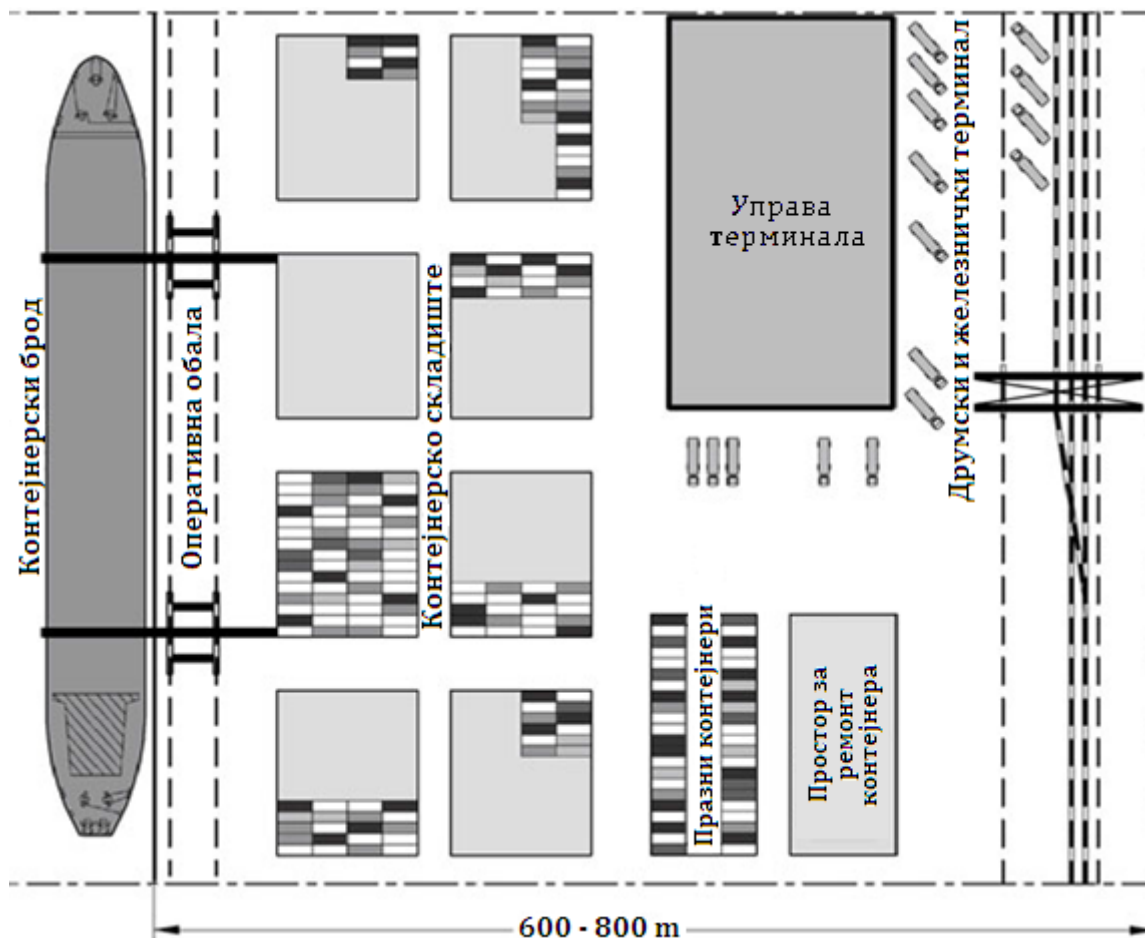
2. **Контејнерско складиште, или контејнерски складишни простор** (*container yard*) је простор на коме се обавља складиштење контејнера. Овај простор обично заузима до 70% свих лучких површина [Драговић и Зрнић, 2014] и омогућава складиштење контејнера у висинске нивое или одлагање контејнера на специјалним – наменским полуприколицама који се користе на терминалу. Контејнери се на овом простору задржавају од неколико дана, до пар недеља у зависности од интензитета транспортних токова [Драговић и Зрнић, 2014].

3. Трећу целину представља **простор главног улаз/излаза** (*main gate*) који контејнерском терминалу омогућава повезивање са континенталним системима транспорта. За ову уочен простор за оптимизацију и повећање ефикасности [Драговић и Зрнић, 2014].

Практично, активност на терминалу подразумева искрцавање контејнера с пловила, складиштење истог до поновног укрцавања на пвило или утовара на други вид транспорта којим ће бити извезен са терминала. У складу са тим, а према врстама активности које се спроводе на терминалу подела може бити и следећа [Brinkmann, 2011]:

- Активности на опслуживању пловила (укрцавање/искрцавање)
- Активности на опслуживању копнених видова транспорта (железнице, тегљачи са полуприколицама)
- Активности на унутрашњем одржавању терминала ради одржавања ефикасности система (складиштење контејнера, претовар и прелокација празних контејнера и сл.).

Шематски приказ структуре контејнерског терминала дат је на слици 2.5.



Слика 2.5. Хоризонтални приказ структуре контејнерског терминала
[Brinkmann, 2011]

У зависности од активности које се извршавају врши се и подела лучке-контејнерске механизације намењене манипулисању контејнерима. Најчешћа је подела [Brinkmann, 2011], [Драговић и Зрнић, 2014] је следећа:

- Контејнерска механизација уз оперативну обалу (за укрцавање/искрцавање)
 - Обалска контејнерска дизалица – (*Ship-to-Shore - STS crane*)
 - Обалска портална контејнерска дизалица
 - Покретна лучка дизалица
- Контејнерска механизација хоризонталног транспорта
 - Портални слагач (*Straddle Carrier*)
 - Телескопски слагач (*Reach Stacker*)
 - Контејнерски виљушкар (*Container forklift*)

- Бочни и чеони слагач (*Container side-pick, top-pick*)
- Слагач празних контејнера (*Empty container handler*)
- Аутоматски навођена возила, или контејнерске шасије (*Automated Guided Vehicles*)
- Компактни портални слагачи (*Shuttle Carrier*)
- Терминалски трактор са полуприколицом (*Tractor-Trailer Unit*)
- Терминалски трактор композиција (са више полуприколица)
- Контејнерска механизација за складиштење контејнера и одржавање терминала:
 - Портална дизалица на пнеуматица или РТГ дизалица (*Rubber-Tyred Gantry crane*)
 - Портална дизалица на шинама или РМГ дизалица (*Rail-Mounted Gantry crane*)
 - Портални слагач (*Straddle Carrier*)
 - Телескопски слагач (*Reach Stacker*)
 - Контејнерски виљушкар (*Container forklift*)
 - Бочни и чеони слагач (*Container side-pick, top-pick*)
 - Слагач празних контејнера (*Empty container handler*)
 - Терминалски трактор са полуприколицом (*Tractor-Trailer Unit*)

Планирање, организовање и оперативна реализација процеса било које целине контејнерског терминала представља захтеван процес у коме нема уопштених решења [Драговић и Зрнић, 2014]. Одређивање и димензионисање капацитета контејнерских лука и терминала углавном је одређено контејнерским бродовима и контејнерским токовима, те интензитетом долазака бродова и контејнера и интензитетом опслуживања бродова и контејнера. Међутим, осим набројаних захтева многи други, од инфраструктурних предуслова (површина, облик терминала, облик пристаништа) до неопходне густине слагања контејнера по јединици површине терминала (захтеви у погледу слагања контејнера у висину) могу утицати на избор контејнерске механизације на терминалу [Brinkmann, 2011].

Као логичан али не потпун скуп решења проблема, контејнерске луке су постале системи са једним или већим бројем специјализованих терминала или везова, како у односу на бродове тако и у односу на контејнерске токове. Међутим, суштина проблема само тим подухватом није решена. Терминали и везови су специјализовани системи који у техничко-технолошком и оперативно-експлоатационом смислу постају ефикасни само онда када остваре одговарајући манипулативни капацитет у неком временском периоду. Да би терминал био ефикасан и да би се исплатиле значајне инвестиције у његову структуру, неопходно је одредити контејнерске токове и типове бродова који ће га непосредно тангирати. Само ако је наведено задовољено, може се успоставити ефикасна кореспонденција на релацији оператер бродова – терминалски оператер, а самим тим и захтевани ниво ефикасности терминала у целини [Драговић и сарадници, 2011].

Захтевани нивои ефикасности терминала у целини одређују избор, али се на основу доступне литературе [Драговић и Зрнић, 2014], [Brinkmann, 2011], може одредити којој целини терминала додељује нека опрема. На контејнерском складишту најчешће комбинације опреме одређене су кроз логистичке парове [Böse, 2011]. Уз машине за слагање контејнера упарује се више терминалских трактора, најчешће према следећем моделу:

- Логистички пар: РМГ или РТГ дизалица и терминалски трактор
 - 2 РМГ или РТГ дизалице
 - 4 до 5 терминалских трактора
- Логистички пар: Портални или телескопски слагач и терминалски трактор
 - 3 Портална или телескопска слагача
 - 5 терминалских трактора

Најзаступљенији логистички пар на контејнерском складишту је РТГ дизалица и терминалски трактор [Böse, 2011], [Sariña, 2014], [Cannon, 2009], [Pavlič, 2014], док се за активности нижег интензитета на одржавању терминала овом логистичком пару додаје мањи број телескопских слагача и слагачи празних контејнера.



Слика 2.6. Попречни пресек контејнерског терминала са оперативним подсистемима (РТГ дизалица и терминалски трактор)

Општа прихваћеност логистичког пара РТГ дизалице и терминалског трактора може бити образложена следећим карактеристикама ових машина:

- Предности РТГ дизалице и терминалског трактора
 - Ефикасно коришћење површине терминала збор могућности за слагање контејнера у висину без обавезног попречног пролаза између контејнера;
 - Једноставно одржавање високе густине попуњености ≤ 1.000 TEU/ha;
 - Флексибилност РТГ дизалице омогућава премештање унутар терминала
 - Повољнија набавна вредност опреме у односу на друге логистичке парове, посебно у односу на РМГ дизалице [Драговић и Зрнић, 2014];
 - Брзина кретања терминалског трактора.
- Недостаци система
 - Транспорт контејнера између STS дизалице и складишног простора подразумева две процедуре преузимања;
 - Често је неопходна испомоћ других машина за складиштење празних контејнера и одржавање терминала;
 - Загушења складишног дела терминала услед интерног саобраћаја терминалских трактора код процеса истовара и утовара;
 - Захтеви у погледу структуре бетонске подлоге због великог оптерећења точкова РТГ дизалица [Luhr, 2004].

2.3. Приказ технологија РТГ дизалица и терминалског трактора

Са повећањем интересовања за питања животне средине, као и иницијативама за увођење строжих регулатива за вандрумске моторе, инжењерска струка и произвођачи контејнерске механизације интензивно развијају нове технологије и експериментишу њима, одговарајући на постављене изазове контејнерског сектора и регулатива. Концепти „зелених лука“ или „лука нулте емисије“ засновани су на технолошким експериментима и најавама произвођача да је смањење емисија и еколошки последица могуће постићи у значајнијем обиму. У зависности од начина на који се обезбеђује енергија за механизацију (преко електромреже, батерија или мотора с унутрашњим сагоревањем на алтернативни погон), обећања о смањењу емисије ГСБ крећу се од 20% до 80%, а у појединим случајевима и у целости (100%) – концепт „нулте емисије“. Еколошке технологије за контејнерску механизацију су доступне као примери потпуно нових машина или опције за надоградњу постојећих машина које се већ налазе у експлоатацији на контејнерским терминалима.

Сагласно највећој заступљености логистичког пара РТГ дизалице и терминалског трактора, број технолошких иновација је највећи управо за ове машине. Неке од предложених технологија првобитно су развијене и примењене у другим областима, нарочито аутомобилској индустрији. Примена истих код контејнерске механизације је у току или се и даље развија. Од варијација у облику технологије алтернативних горива (течни нафтни гас, земни гас, водоник), хибридних система, до електрификације коначно јединствено еколошки ефикасно решење за све машине лучке-контејнерске механизације није усвојено.

2.3.1. РТГ дизалица

Портална дизалица на пнеуматцима, односно РТГ дизалица, јесте машина намењена манипулисању, складиштењу и транспорту контејнера у оквиру контејнерских терминала. РТГ дизалице се углавном користе у комбинацији

са терминалским тракторима. Конструкционо су врло сличне РМГ дизалицама, али ради слободног кретања по терминалу постављене су на тачкове с пнеуматицима. Посебно су цењене због могућности складиштења контејнера у висину (до шест висина контејнера), док је распон портала највише до осам ширина контејнера.

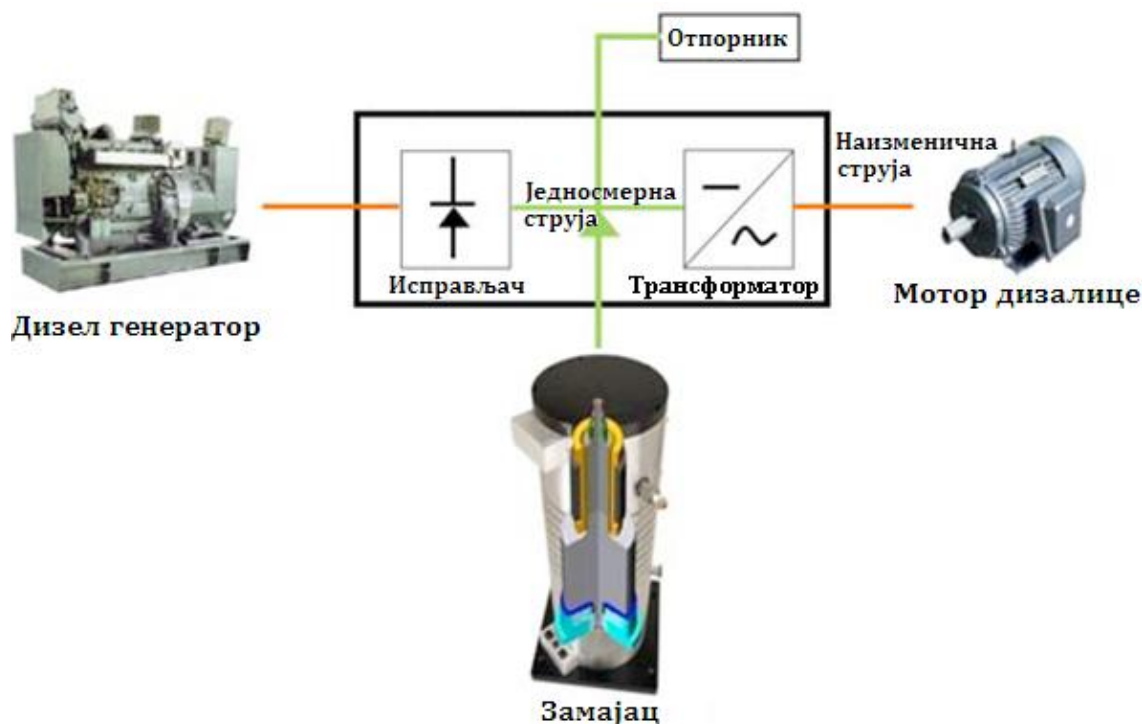


Слика 2.7. Пример РТГ дизалице

Конвенционалне РТГ дизалице су у погоњене дизел моторима који служе као генератори електричне енергије, обезбеђујући енергију за кретање дизалице, хватача контејнера, односно спредера и подизање терета. Носивост РТГ дизалица је најчешће од 40 до 50 тона, те су дизел агрегати велике радне запремине од 12.000 cm^3 до 15.000 cm^3 и снаге од 350 kW до 700 kW. Велика сопствена маса од преко 100 тона, у комбинацији са високим радним оптерећењем дизел агрегата кандидују РТГ дизалицу као једну од еколошки најмање прихватљивих машина на контејнерском терминалу [Зрнић и Вујичић, 2012].

Произвођачи контејнерске механизације управо су за РТГ дизалице развили више решења за смањење еколошког отиска. Најзастуљенија решења за смањење потрошње и емисија ГСБ код РТГ дизалица су генератори промењиве брзине (variable-speed generators), замајци за складиштење потенцијалне енергије (flywheel energy storage), хибридне РТГ дизалице (са ултракондезаторима) и потпуно електричне РТГ дизалице (E-RTG), које се често сврставају у опрему „нулте емисије“. Већина ових технологија је доступна као надоградња за постоје дизалице које су већ у експлоатацији, док су нове произведене углавном са неком од наведених технологије. У стандарду примену код нових примера РТГ дизалица, улазе генератора промењиве брзине и често замајцима за складиштење енергије, а следе хибридне РТГ дизалице с ултракондезаторима.

Замајци за складиштење енергије представљају релативно једноставно и економски прихватљиво решење за смањење потрошње и емисије ГСБ. Кинетичка енергија терета која при спуштању са највише висине спредера износи и до 1,7 kWh [Вујичић, 2010], приликом спуштања контејнера користи за се покретање (обртање) замајца који достиже и до 36.000 обр/min [Flynn et al., 2008]. Део енергије сачуван (као потенцијална енергија) у замајцу касније се користи као подршка дизел генератору за подизање терета. Енергетски капацитет замајца од најчешће је од 0,5 kWh до 1,5 kWh у зависности од дозвољеног броја обртаја замајца [Starcrest, 2009], [Flynn et al., 2008]. На тај начин замајац има улогу механичке батерије, што је предност, јер за разлику од хемијских батерија нема изразито ограничен век употребе. С обзиром на редуковано оптерећење у фазама подизања терета, пружа се могућност за смањење радне запремине дизел агрегата (downsizing). Процене су да је могуће остварити смањење емисије ГСБ и до 25% [Flynn et al., 2008]. Шематски приказ система за складиштење енергије преко замајца дат је на слици 2.8.



Слика 2.8. Систем за складиштење енергије преко замајца [Flynn et al., 2008]

Хибридне РТГ дизалице (често називане Есо-RTG) користе сличан принцип рада као систем замајца. Разлика је у томе што се енергија складишти у ултра- кондензаторима. Познато је да ултракондензатори поседују значајно већу специфичну снагу (W/kg) од конвенционалних електролитичких батерија (видети на слици 2.11, стр.85), те су погоднији за ову примену због потребе за већом снагом у временским кратким интервалима. Даље комбиновање са генераторима варијабилне врзине омогућено је гашење дизел агрегата у фазама мировања и спуштања терета. Произвођачи хибридних РТГ дизалица обећавају смањење потрошње и емисија ГСБ и до 60% [Konescranes, 2012], [Gimenez, 2013].

Потпуно **електрична РТГ дизалица** (у даљем тексту: Е-РТГ) у прошлости је била неприхватљива због нарушавања мобилности дизалица, што је била главна предност ове машине у односу РМГ дизалице. Данас, је проблем смањења мобилности код Е-РТГ дизалица знатно ублажен и готово превазиђен технолошким решењима попут кабловских намотаја (*cable reel*) и системом електро-проводних шина са бочном тролом (*conductor bar & trolley*).

Иако остаје главно ограничење у виду неопходност преправке - електрификације дела терминала где се користи Е-РТГ дизалица, последња технолошка решења, враћају интересовање за Е-РТГ дизалице. Преко 90% радног време електричне дизалице користе електричну енергију са мреже, док су дизел агрегати задржани за 10% кретања која се односе на коришћење дизалице ван простора који је опремљеног напонским шинама. Произвођачи опреме сматрају да је најмање очекивано смањење ГСБ у износу од 70 % [Eckle, 2010], [Sapiña et al., 2013], [Corbetta, 2015].



Слика 2.9. Пример система за напајање електричне РТГ дизалице преко каблова (лево) и бочне троле (десно)

2.3.2. Терминалски трактор

Терминалски трактор представља специјализовану врсту машине (возила) за превоз контејнера која се користи искључиво унутар терминала. За ову машину у литератури⁸ се везује велики број различитих назива. По бројности представљају најзаступљеније пример контејнерске опреме [Calstart, 2008], [Calstart, 2011] [Sapiña et al., 2013]. Терминалски трактор увек је оперативан са другом машином, дизалицом, слагачем контејнера или виљушкарем. Терминалским трактором превози контејнере унутар терминала између два складишта, након чега се утовора/истовара уз помоћ друге машине. Због интензивног рада и велике заступљености, на појединим терминалима

⁸ Називи за терминалски трактор: yard tractor, tractor rig, yard truck, yard hostler, yard goat.

учешће терминалског трактора у емисијама лучке механизације износи од 30% до 70% [Starcrest 2005], [Calstart, 2008], [Calstart, 2011], [Starcrest 2014].



Слика 2.10. Пример терминалског трактора

Технологија за повећање ефикасности и смањење еколошких ефеката терминалских трактора постају све доступније и заступљеније. Најчешће се ради о система који су већ развијени у аутомобилској индустрији и тестирани или примењивани за друмска теретна возила [Вујичић и сарадници, 2012]. У питању су решења од алтернативних горива (горивне ћелије, течни нафтни гас и компримовани природни гас), преко хибридних терминалских трактора до електричних трактора који користе електромоторе и различите врсте батерија.

Радни циклус терминалског трактора подразумева значајан проценат времена рада у празном ходу у месту, са повременим интензивним убрзањима под оптерећењем, што узрокује значајне емисије ГСБ и чађи, као и загађење од буке. Наиме, рад у месту често чини и преко 35% укупног радног времена терминалског трактора на терминалу [Calstart, 2008], [Calstart, 2011]. То је углавном последица чекања на утовар/истовар од друге контејнерске машине, што представља највећу еколошку неповољност. Овакви радни циклуси сматрају се изузетно погодним за уградњу хибридних

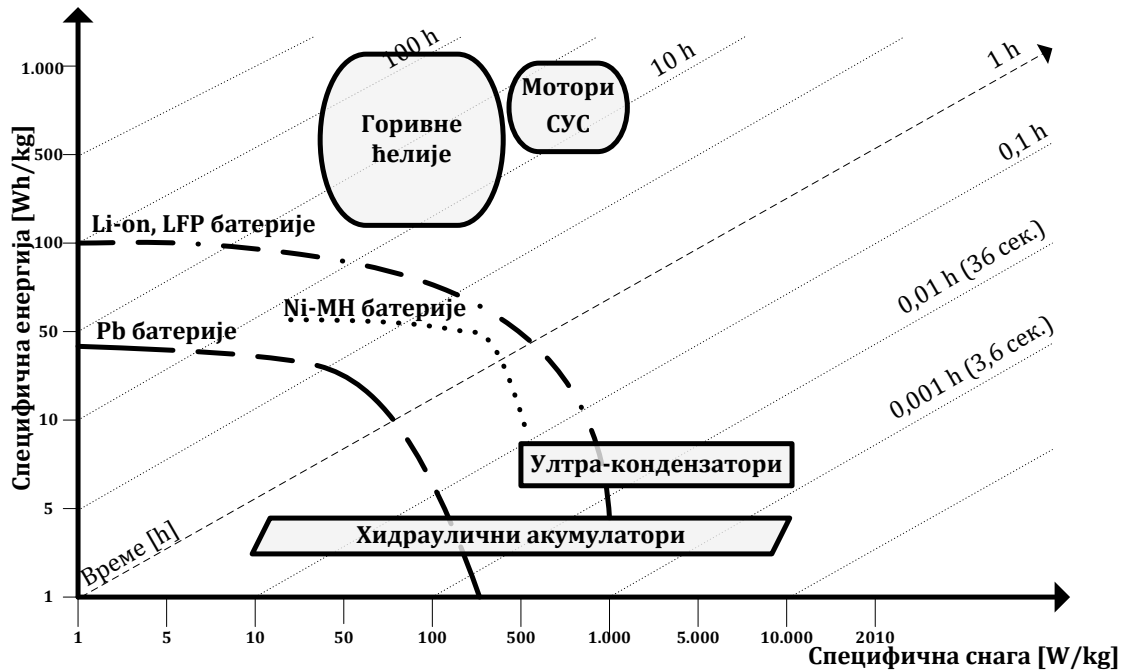
система и електро-погона. Код хибридних терминалски трактора, дизел мотор се гаси код чекања на утовар/истовар, чиме се тренутно умањују емисије и бука. С друге стране, честа успорења, посебно код кретања под теретом (контејнером), остављају могућност рекуперације кинетичке енергије и каснију употребу исте код убрзања, смањујући оптерећење дизел мотора, потрошњу и емисије.

Начин складиштења кинетичке енергије дели хибридне терминалске тракторе на две врсте. Код прве врсте дизел електрохибридних трактора енергија се складишти у ултракондезаторима или батеријама. Код хидраулично-хибридних трактора енергија се акумулира у виду повећаног притиска у специјалном резервоару.

Дизел електрохибридни терминалски трактор користи технологију која је већ у редовној употреби код друмских возила. Кинетичка енергија се најчешће складишти у батеријама. У зависности од изведбе хибридног трактора, сачувана енергија се користи приликом убрзања, за растерећење дизел мотора, док код појединих система омогућава краткотрајно кретање без дизел мотора. Произвођачи обећавају смањење потрошње од 60% и смањење буке од 50% [Kalmar, 2015], [Terberg, 2012] док резултати мерења независних институција указују на мање оптимистичне исходе [Calstart, 2011].

Једна од иновација код хибридних система за терминалске тракторе је хидраулични хибридни трактор. Ради се о једноставном систему за складиштење енергије. Систем користи кинетичку енергија коју преко пумпе претвара у потенцијалну енергију сачувану у резервоару високог притиска. Касније приликом убрзања сачувана енергија се ослобађа, док сабијени гас из резервоара високог притиска прелази у резервоар ниског. Процене су да се око 70% енергије приликом кочења може сачувати код хидрауличних хибрида. Хидраулични хибридни систем може да поседује и уређај за гашење мотора у мировању. Код појединих верзија (редни хибридни погон) хидраулични пренос у потпуности замањује механичке преноснике снаге.

Потенцијално смањење потрошње горива и емисије ГСП очекивано је у опсегу од 30 до 50% [Kargul, 2008],.



Слика 2.11. Однос специфичне снаге и енергије погонских опција

Велика очекивања у лучко-контејнерској индустрији повезана су са електричним терминалским тракторима, који су оглашавани као машине „нулте емисије“. Погон обезбеђују електро мотори, док је енергија складиштена најчешће у некој врсти литијумских батерија. Тренутно два водећа произвођача у САД [Balqoon, 2009], [Kalmar, 2015] и један у Европи [Terberg, 2012] испоручују електричне терминалске тракторе. Аутономија у раду износи од 80 km до 150 km или 15 сати рада [Balqoon, 2015], [Terberg, 2012].



Слика 2.12. Примери електричних терминалских трактора
Balqon (лево) и Terberg (десно)

2.4. Приступи за утврђивање еколошког утицаја лучко-контејнерске механизације

Утврђивање еколошког утицаја (*environmental impact assessment*) или еколошког отиска (*environmental footprint*) представља захтеван процес, како са позиције спровођења оперативног мерења или лабораторијског испитивања, тако и са позиције класификације прикупљених информације и избора оних које су од значаја за истраживање. Када је у питању еколошки утицај и отисак лучке-контејнерске механизације одређивање истих је вишеструко сложеније, не само због комплексности машина и недовољном познавању истих ван граница уско специјализоване инжењерске струке, већ и због њихове дислоцираности и недоступности услед ограничених могућности за приступ контејнерским терминалима где се ове машине налазе.

Наведено указује да је утврђивање еколошког утицаја и отиска лучке-контејнерске механизације подразумевано искључиво као оперативно мерење и лабораторијско испитивање. То наводи на закључак да је исто могуће само на постојећим машина које се налазе већ у експлоатацији, чиме се не оставља могућност превентивног деловања и деловања у раним фазама развоја или производње машина. Премиса је да за превентивно деловање

неопходно утврђивање начина за апроксимацију еколошког утицаја и отиска применом одређених метода и модела.

Мерење емисије издувних гасова из којег даље може произаћи израчунавање еколошког отиска, може се сматрати најпрецизнијим начином, али је свакако најскупле и временски најзахтевније [Choi et al., 2015] и наравно може бити изведен само *post festum*. То подразумева искључење раног планирања и могућности за упоређење различитих типова машина пре самог пуштања у рад.

Други начин је моделирање процеса коришћења машина лучке-контејнерске механизације кроз претпостављање свих елемената радних циклуса, потрошње горива или енергије. Овакав приступ омогућава превентивно деловање, упоређење различитих врста или генерација машина или симулирања алтернативних режима и услова рада. Обзиром да се ради о моделирању или апроксимацији радних циклуса исто је могуће спровести без конкретних машина и далеко од лучког-контејнерског терминала. Развој информационих технологија и софтверских алата омогућава различите степене статистичких обрада из којих се развијају претпоставке о потенцијалном еколошком утицају и отиску одређене машине лучке-контејнерске механизације.

Најчешћи приступи процени еколошког утицаја лучке-контејнерске механизације подразумевају обрачунае истог на основу потрошње горива и енергије. Исте заправо представљају комбиновање података о броју машина на терминалу, моделној години, радној снази, просечном броју радних сати и оптерећењу у формирану једначину, најчешће једноставне линеарне форме. Број радних сати множи се са просечном потрошњом и сл. То подразумева да се било која одступања настала приликом формирања претпоставки на почетку мултипликују кроз бројне итерације до краја обрачуна. Ово је од посебног значаја код поређења различитих врста опреме јер мало одступање у претпоставкама може довести до повољнијег исхода неке врсте контејнерске опреме [Вујичић и сарадници, 2012].

У литератури се налази релативно скроман број истраживања која дају препоруку о начину испитивања еколошког утицаја или само емисија издувних гасова лучко-контејнерске механизације, а посебно у раним фазама истраживања и углавном заступају сличне методологије. Један о могућих начин дат је од [Geerlings & Van Duin, 2009] и односи се на обрачун укупних емисија CO₂ на контејнерском терминалу.

Према [Geerlings & Van Duin, 2009] укупна сума емисија CO₂ од свих врста извора лучке-контејнерске механизације (*i*) на целом терминалу или подсистему –нпр. оперативна обала, складиште –(*j*) израчунава се према једначини 2.1.

$$W_x = \sum_{i=1}^{11} \sum_{j=1}^5 ((v_{i,j} \times f_D) + (P_{i,j} \times f_E)) \quad (2.1.)$$

Где је:

W_x – Укупна маса емисије CO₂ генерисана на терминалу *x*;

$V_{i,j}$ – Укупна годишња потрошња дизел горива у литрама одређене машине лучке-контејнерске механизације (*i*) за активност у (под)систему (*j*);

f_D – Фактор емисије сагоревања горива изражен у [kg CO₂/l] који се усваја на 2,65;

$P_{i,j}$ – Укупна годишња потрошња електричне енергије одређене контејнерске опреме (*i*) изражена у [kWh] за активност у (под)систему (*j*);

f_E – Фактор емисије производње електричне енергије изражен у [kg CO₂/kWh] који се усваја на 0,52;

Једначина 2.1. ставља се у релацију са следећим:

$$V_{i,j} = n_{i,j} \times (C_{i,j} + c_{i,j} \bar{X}_{i,j}) \quad \forall i, j \in T$$

$$P_{i,j} = n_{i,j} \times (p_{i,j}) \quad \forall i, j \in T$$

Где је:

n_{ij} – Број радних циклуса контејнерске опрема (i) у (под)систему (j);

C_{ij} – Фиксна потрошња по операцији (нпр. дизања контејнера) у радном циклусу у изражена у литрама горива;

c_{ij} – Променљива потрошња у литрама горива по пређеном километру;

\bar{X}_{ij} – Пређена раздаљина по Менхетн методи за контејнерску опрема (i) у (под)систему (j);

p_{ij} – Фиксна потрошња по радном циклуса изражена у [kWh] контејнерске опрема (i) у (под)систему (j);

У литератури (нарочито из САД) присутан приступ израчунавању будуће емисије издувних гасова на контејнерском терминалу од извора лучке-контејнерске механизације развијен је од стране [CARB, 2005], а коришћен за потребе лука Лос Анђелес и Лонг Бич у оквиру пројекта „CARB“. Овде се у обзир узима „популација“ лучке-контејнерске механизације, степен ангажованости, факторе раста и оптерећења агрегата. Метода процене за наведене луке развијене су за шест врста контејнерских машина.

Емисија сваке машине лучке-контејнерске механизације према [CARB, 2005] израчунава се једначином 2.2.

$$Eg_i = n_i \times P_{max} \times Lf \times T_a \times f_e \quad (2.2.)$$

Где је:

Eg_i – Укупна емисија гасова лучке-контејнерске машине (i)

n_i – Укупан број лучких-контејнерски машина (i)

P_{max} – Максимална декларисана снага агрегата машине у [KS~0,735 kW]

Lf – Фактор оптерећења машине

T_a – Број радних сати машине у току године [h]

f_e – Фактор емисије издувних гасова [g/ KS h]

Након добијања резултата за сваку машину појединачно исти се сабирају и формира база инвентара емисија. За прогнозирање будућих емисија, одређује се повећање вредности n_i и усклађује иста за вредност фактора раста G_f .

$$n_{iF} = n_i \times G_f$$

Коришћење горе описане једначине потврђују у својем истраживању и [Browning & Bailey, 2006].

Сличан начин за процену емисије, конкретно емисија CO₂ дају [Choi et al. 2015]. Обрађена је проблематика емисије CO₂ за лучку-контејнерску механизацију и возила на интермодалним терминалима, а пловила нису укључена у истраживање. Пример једначине за израчунавање дат је за терминалски трактор:

$$CO_{2(\frac{\text{утовар}}{\text{истовар}})} = \sum_i^4 E_i C_i$$

где се (*i*) односи на врсту горива које покреће агрегат терминалског трактора, а *E_i* просечна потрошња горива и *C_i* коефицијент емисије CO₂ за припадајуће гориво. Даљи развој једначине је следећи:

$$CO_{2(\text{кретање})} = \sum_i^3 \{T_{ni} \times F_{Ri} \times T_i \times E_1\}$$

Где су *T_{ni}*, *F_{Ri}*, *T_i* и *E₁*, број терминалских трактора, потрошња горива у фази кретања трактора и утовара полуприколице и коефицијент емисије CO₂ респективно.

$$CO_{2(\text{мировање})} = \sum_i^3 \{T_{ni} \times F_{Wi} \times (T_W - T_i) \times E_1\}$$

Где се *F_{Wi}*, *T_i* односе на потрошњу горива у фази мировања и истовара полуприколице. Кретање променљиве (*i*) од 1 до 3 односи на различите врсте извора: терминалски трактор, друмски тегљач и посебна врста тегљача.

Анализирањем презентованих приступа за израчунавање емисија издувних гасова лучке-контејнерске механизације на терминалима могу се учити сва

ограничења. Степен апроксимације у презентованим приступима је довољно висок да потенцијал за значајно одступање крајњих резултата остане висок. Процена емисија добија се углавном за једну врсту једињења - само за CO₂, NO_x или честице чађи и сл.. Из само једног једињења није могуће извести праве процене еколошког отиска, те слика може бити погрешна. То произилази из чињенице да је могуће смањити емисију NO_x, а истовремено забележити раст CO₂ што се потврђује на примеру извештајима за период 2004. до 2014. за луке Лос Анђелес и Лонг Бич [Starcrest, 2014]. Даље презентовани приступи нису адекватни за квалитетно упоређење различитих технолошких основа у раним фазама истраживања, јер не узимају обзир порекла енергетских извора, што може довести до еколошких заблуда и заступања става о предностима доминатног коришћења биодизел горива [Geerlings & van Duin, 2009], а да је заправо исто са становишта концепта животног циклуса оспорено као еколошки неповољно.

Сагласно наведеном могуће је извести закључак да се презентовани приступи (иначе најзаступљенији) могу користи у сврхе грубог пројектовања емисија издувних гасова лучке-контејнерске механизације, али за процену еколошког утицаја или еколошког отиска нису адекватни. Из тог разлога као хипотеза намеће се став да је за утврђивање еколошког утицаја и еколошког отиска лучко-контејнерске механизације, а посебно код упоређења конвенционалних и нових (еколошких) технологија неопходно коришћење методе процене животног циклуса.

Исто је неизоставно код раних фаза пројектовања и планирања, како контејнерске механизације, тако и распореда и планирања коришћења исте на терминалима. Наиме, метода процене животног циклуса омогућава истраживање процене еколошког утицаја на основу великог броја база инвентара емисија, тако да потреба за мерењима је искључена. Такође, једном прикупљени подаци или утврђени фактори утицаја могу се користи за надоградњу или технолошке иновације, јер се основне структуре машина не мењају.

3. ПРЕГЛЕД И АНАЛИЗА ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА

Сагласно двојакости предмета и проблема истраживања, разликује се и доступност научних радова који се односе на питања истраживања у предметној области. За питања концепта животног циклуса литература је у значајној мери доступна, али у делу који се тиче примене методе животног циклуса на лучко-контејнерску механизацију (па чак и механизацију уопште) број доступне литературе је изузетно скроман, готово занемарљив. Од званичног успостављања концепта одрживог развоја 1987. године, до пуне афирмације еколошког покрета и коначно до повезивања истих са утицајем контејнеризације на животну средину, нису постојала значајнија истраживања поменуте области. Тек десет година касније, стручна јавност и аутори се више интересују за истраживања о утицају лучко-контејнерске механизације на животну средину, па се може сматрати да је ова област релативно добро покривена. Доступност истраживања која покривају методологије којима се утврђује утицај лучко-контејнерске механизације на животну средину скромна је и као таква приметна тек у истраживањима новијег датума.

Метода процене животног циклуса (LCA) од 1994. године и увођења серије стандарда ISO 14040 заузима значајан простор научне јавности и избор истраживања којима је ова област покривена је велики. Међутим, број доступних истраживања којим би се процена еколошких аспеката лучко-контејнерске механизације утврдила уз помоћ методе LCA готово да нема. Из наведених разлога у овом поглављу презентована су доступна истраживања методе LCA примењена на велике системе механизације, с обзиром на то да искуства прикупљена из истих у одређеној мери могу бити искоришћена и аналогно упоређена са предметом истраживања дисертације.

3.1. Преглед истраживања о утицају лучко-контејнерске механизације на животну средину

Истраживања о стању животне средине у непосредном окружењу лука, те директно или посредно повезивање и истраживање лучко-контејнерске механизација са истима може се пронаћи у публикацијама организација [US EPA, 2007], [Starcrest, 2009], [Starcrest 2013], [Starcrest 2014] и аутора, [Vandermeulen, 1996], [Bailey et al., 2004a], [Bailey & Solomon, 2004], [Bailey et al., 2004b], [Cannon, 2008] и [Cannon, 2009].

Вандермелен [Vandermeulen, 1996], међу првима преиспитује еколошки контекст лука и разматра еколошку оптимизацију превоза роба. Аутор указује на питања утицаја лучких активности на приобалне екосистеме, али и на шири утицај, с обзиром на повезаност појединих лука преко речних токова с копном. Истраживање наводи на закључак о неопходности успостављања еколошки ефикаснијег планирања лучких активности. Аутор даје препоруке за усвајање еколошких стратегија управа лука.

Бејли и Соломон [Bailey & Solomon, 2004] сматрају да лучки терминали под притиском глобализоване трговине и повећаног интензитета прилива роба постају све већи и оптерећенији. Укупан резултат је негативан утицај на квалитет ваздуха у лукама и окружењу. Аутори сматрају да главни извор загађења долази од емисија издувних гасова из дизел мотора уграђених у пловила, теретна и шинска возила и лучку механизацију која користи вандрумске дизел моторе. Загађење ваздуха, настало сагоревањем дизел горива подразумева прекомерно емитовање емисије угљеничних суспендованих честица и азотних оксида. Негативне импликације на здравље локалног становништва огледају се у респираторних и кардиоваскуларних обољења и потенцијално ране смртности. Аутори сматрају да значај проблема загађења у лукама изискује интензиван приступ у решавању истог. Као решења предлажу низ мера, од економски мање захтевних до значајних инвестиционих улагања у смањење загађења ваздуха. Међу најједноставније убрајају: уградњу система која искључује рад мотора у празном ходу за

друмске тегљаче и терминалске тракторе при чекању на утовар/истовар, коришћење дизел горива са ниским садржајем сумпора, напајање пловила електричном енергијом са мреже и коришћење алтернативних горива. Аутори закључују да се смањење емисија у лукама може постићи и кроз „зелене“ технологије у планирању контејнерских терминала и модерних системе контроле квалитета ваздуха.

Бејли и сарадници [Bailey et al., 2004a] под окриљем организације NRDC⁹ одржавају континуитет претходног истраживања, али у знатно већем обиму. На основу извештаја о иницијативама за смањење загађења добијених од 10 највећих лука у САД, извршена је стручна анализа о еколошким најефикаснијим начинима за смањење негативних ефеката лучких операција. Предметно истраживање даје детаљну анализу и технички увид у еколошке утицаје свих сегмената рада лука. Са становишта предмета истраживања дисертације, пажњу привлачи део посвећен утицају лучко-контејнерске механизације на животну средину. Аутори напомињу да су РТГ дизалице, терминалски трактори, а затим и контејнерски виљушкари једни од главних извора емисије издувних гасова у лукама. У циљу заузимања адекватне стратегије, аутори дају препоруке, које су поткрепљене анализом еколошких ефеката и неопходних улагања у алтернативне система погона лучке механизације. Под алтернативним системима погона аутори разматрају могућности примене алтернативних горива, хибридних система и електрификацију опреме.

Истраживање које је спровео **Канон** [Cannon, 2008] под покровитељством организације Energy Futures обрађује утицаје на животну средину сектора контејнерског транспорта - од бродских превозника до контејнерских терминала. Аутор предлаже начине за смањење загађења ваздуха коришћењем алтернативних горива и применом напредних технологија погона. Аутор сматра да би се применом тих мера тренутно осетио ефекат смањења загађења и диверзификације извора снабдевања горивом. Аутор испитују иницијативе за смањење еколошки неповољних утицаја у лукама

⁹ Национални савет за заштиту природних ресурса (NRDC: Natural Resources Defense Council)

Лос Анђелес и Лонг Бич (Калифорнија). Извештај нажалост показује да су стратегије неконзистентне, те да остварена смањења емисија кроз ефикасније дизел моторе које ће законодавство захтевати, врло брзо могу бити поништени повећањем броја агрегата и лошим планирањем коришћења опреме.

Осим наведених лука аутор испитује и могућности за смањење емисија у луци Њу Џерси. За ову луку разматрани су потенцијални ефекти коришћених прототипова електричних и хибридних терминалских трактора. На крају аутор даје препоруке за јавне и приватне акционаре, с напоменом да питање животне средине око лука мора доћи на ниво националне дебате како би се овај изазов исправно решавао.

Канон [Cannon, 2009] опет под покровитељством организације Energy Futures, наставља раније започето истраживање везано за стање животне средине која окружује лучке-контејнерске терминале. Аутор утврђује да је загађење ваздуха у лукама у САД углавном последица сагоревања тешко ложивих горива које користе контејнерски бродови. Наиме, тешко ложива горива (попут мазута) садрже висок удео сумпора (и до 45.000 ppm) те је њихово сагоревање међу најзначајнијим изворима загађења ваздуха у лукама. Аутор наглашава да су тешко ложива горива хиљаду пута већи загађивачи од дизел горива које се користи у друмским теретним возилима у САД (а која садрже до 5 ppm сумпора). Аутор додатно указује на процену од 64.000 случајева преране смрти услед кардиолошких и пнеумолошких болести (чак и рака плућа) повезаних са сагоревањем тешко ложивих горива у приморским градовима који су у непосредној близини лука.

3.2. Преглед истраживања приступа за смањење еколошког утицаја лучко-контејнерске механизације

Никитакос [Nikitakos, 2012] истражује релације између „зелене логистике“ и примене концепта „луке нулте емисије“. Концепт „луке нулте емисије“ сматра се врло актуелним, те је предметно истраживање Никитакоса у

складу са еколошким кретањима везаним за утицај лучких активности на животну средину. Никитакос указује на то да су прекоокеанска пловила заправо највећи извор загађења на свету, и да се тешко уклапају у националне еколошке регулативе. Аутор сматра да се ово питање изоставља са светских еколошки агенди због значаја бродског превоза на глобални процес размене роба. Наиме, прекоокеански бродви заправо представљају умањене пловеће електране¹⁰, те с обзиром на то да је приметан пораст димензија пловила, јасно је да се може очекивати и раст снаге инсталираних агрегата, а последично и емисије издувних гасова. У раду се указује да је неопходно смањење загађења животне средине у околини лука од долазећих и усидрених пловила кроз поштравање регулативе. Као решење сугерише снабдевање усидрених пловила електричном енергијом са електромреже луке, што представља начин за искључење рада генератора пловила. Наведено представља тренд који многе лучке управе оператери испитују. Ипак, да би се избегло само једноставно дислоцирање загађења, производња електричне енергије мора бити еколошка. За реализацију концепта „луке нулте емисије“, аутор предлаже производњу електричне енергије од обновљивих извора који се налазе у непосредној близини лука. Обновљиве извора енергије у близини лука аутор види следеће: соларну енергију, енергију ветра (on-shore/off-shore), енергију таласа и енергију морске плиме.

Вујичић и сарадници [Вујичић и сарадници, 2012] презентују последње трендове у развоју лучке-контејнерске механизације. Аутори наглашавају да у ери одрживог развоја и све већег интересовања лучких власти за питање животне средине, произвођачи механизације интензивно развијају системе за унапређење еколошке ефикасности лучко-контејнерске механизације. У раду су презентоване последње технологије за све значајније примере лучке механизације које нису на шинама. Аутори дају преглед еколошких технологија за терминалске тракторе, контејнерске виљушкаре, порталне слагаче контејнера, телескопске слагаче контејнера и РТГ дизалице. У раду је

¹⁰ Укупна инсталирана снага највећег контејнерског брода „Emma Mærsk“ који превози и то 15.000 TEU износи 110 MW. Наведену снагу обезбеђују шест агрегата: 1 x Wärtsilä RT-flex96C са 80 MW и 5 x Caterpillar 8M32 са 6 MW.

наглашено да значајан број технолошких решења за унапређење еколошке ефикасности потиче из аутомобилске индустрије. То имплицира да напредак у смањењу еколошког утицаја лучко-контејнерске у значајно мери зависи од брзине развоја ове технологије у другом сектору. Аутори претходно наведено уочавају на примеру развоја технологије батерија за електричне терминаласке тракторе. Закључак је да свака врста лучко-контејнерске механизације може подразумевати различит приступ код примене еколошки ефикасних технологија.

Јанг и Чанг [Yang & Chang, 2013] испитују могућности електрификације РТГ дизалица и спроводе поређење са конвенционалним РТГ дизалицама. Поређење електричних и конвенционалних РТГ дизалица изведено је ради утврђивања потенцијалне уштеде у потрошњи енергије и смањењу емисије CO₂. Истраживање је базирано на основу налаза добијених из пројекта имплементације електричних РТГ дизалица у активности на контејнерским терминалима луке Каохсиунг, Тајван. Аутори су прикупљали податке од четири терминалска оператера из групаације TIPC¹¹. Истраживањем је утврђено да трошкови горива, ниво буке и издувних гасова код конвенционалне дизел РТГ дизалице нису на нивоу актуелних економских и еколошких захтева. Аутори изводе закључак према коме сматрају да је неопходно конвенционалне РТГ дизалице заменити новом опремом која може испунити садашње захтеве у погледу потрошње и емисија издувних гасова. Као решење предлажу електричне РТГ дизалице, које по предметној студији могу достићи знатне уштеде у потрошњи енергије, до 86.60% и умањити емисије CO₂ за 67.79%. Овим истраживањем утврђено је да време поврата инвестираних средстава у електричне РТГ дизалице износи до 26 месеци. Аутори наглашавају да поред еколошких предности, електричне РТГ дизалице представљају заштиту управа лучких терминала од осцилација цена дизел горива, те је дугорочно планирање пословних активности извесније.

¹¹ Taiwan International Ports Corporation

Павлич и сарадници [Pavlič et al. 2014] у свом истраживању представљају приступ у имплементацији стратегије „зелене луке“. Аутори пружају више од једноставног испитивања изводљивости инвестирања у неко технолошко решење за контејнерску механизацију. Наиме, аутори сматрају да стратегија „зелене луке“ представља континуирани процес трансформације лучких операција у еколошки одрживе. Истраживањем је потврђено да је један од основних предуслова успешне имплементације „зелених“ стратегија у лукама, познавање токова енергетске потрошње и еколошких импликација свих активности које се обављају у лукама. Аутори заступају став да је доступност информација и правилно дефинисање индикатора еколошке ефикасности од суштинског значаја. Због комплексности лучких-контејнерских операција нужно је учешће стручних лица из различитих области ради сагледавања свих скривених изазова.

Аутори су поред поређења конвенционалних и еколошких система за загревање воде, извели и симулирање потенцијалног резултата електрификације РТГ дизалица. Према студији изводљивости електрификације РТГ дизалица за потребе луке Копер аутори очекују енергетске уштеде у висину од 82% и смањење оперативне буке за 50% у односу на конвенционалне РТГ дизалице. Према наведеној студији време поврата инвестиције у електрификацију РТГ дизалица износило би око 30 месеци. Аутори наглашавају да у студији изводљивости нису разматрали значајне измене које се односе на прилагођавање електромреже за снабдевање луке, јер сматрају да постојећи систем не би био у стању да подржи електрификацију РТГ дизалица. Став аутора је да еколошке стратегије морају бити утемељене на искуствима, јер се на тај начин смањују одступања и разлике између теоријског и практичног контекста „зелене луке“. Даље истраживање је пожељно ради проналажења приступа којим би се предложена методологија имплементације стратегије „зелене луке“ даље унапредила.

Лин и сарадници [Lin et al., 2014] истражују могућности примене технолошких решења којима би се умањили неповољни еколошки ефекти и повећала енергетска ефикасност РТГ дизалица. Емпиријски део истраживања подржан је од луке Оукланд (Калифорнија). На основу резултата истраживања аутори су идентификовали кључна места за унапређење рада РТГ дизалице. Ту се првенствено сматра рекулпација потенцијалне енергије терета, смањење времена рада РТГ дизалице у мировању, оптимизација ефикасности дизел генератора и разматрање могућности примене алтернативних горива. На основу утврђених критеријума дате су препоруке за примену решења и извршен финансијски обрачун неопходног инвестирања у опрему и пројекције оперативне уштеде. Истраживање је заокружено информација о еколошким ефектима рада дизалица и могућим унапређењима на локалном и глобалном нивоу. Наглашени су потенцијални ризици и ограничења имплементације и правци даљег истраживања.

Сапиња и сарадници [Sapiña et al., 2013] спровели су опсежно истраживање у оквиру пројекта **TEN-T** који се односи на „зелене технологије“ и еколошке ефикасне алтернативе за лучке-контејнерске дизалице и активности на терминалима. Пројектом је обухваћено истраживање за контејнерске терминале у Валенсији, Ливорну и Копру. Циљ пројекта је да испита могућности електрификације РТГ дизалица и конверзије погона терминалских трактора, телескопских слагача и слагача празних контејнера на алтернативна горива (ТНГ, КПГ). Пројекат је подељен на пет фаза:

1. Дефинисање метода за егзактно описивање енергетских профила машина лучке-контејнерске механизације), са мапирањем емисије ГСБ;
2. Процена могућности имплементације и израда презентације за акционаре лучких терминала и инвеститоре;
3. Израду система индикатора еколошке-ефикасности;
4. Тестирање прототипова и почетак пилот пројекта;
5. На основу резултата пројекта, предложена је израда стандарда и правила за имплементацију и даље примену еколошки прихватљивих технологија на контејнерским терминалима у лукама Европске унији.

3.3. Преглед истраживања метода за процену еколошког утицаја лучко-контејнерске механизације

На основу броја пројеката покренутих од стране организација повезаних са контејнерским сектором и лучким управама може се закључити да постоји висок степен интересовања за унапређење технологија које би допринеле побољшању еколошке ефикасности лучких операција и довеле до смањења негативних еколошких ефеката. Међутим, иако постоји одређена сагласност око врста технологија које би се могле применити ради остварења претходно наведених циљева, није могуће пронаћи доказе сагласности стручне и научне јавности око приступа којом би се степен ефикасности нових технологија адекватно измерио и оценио. Наведено је додатно изражено у делу методологија које би се могле применити у раној фази истраживања са циљем превентивног деловања. У складу са наведеним, у наставку су презентована истраживања која су посвећена приступима за утврђивање еколошког утицаја повезаних са лучким активностима.

Вотанаби [Watanabe, 2004], разматра приступ израчунавању емисија CO₂ са позиције макротокова саобраћаја на терминалу. Аутор сматра да докле год постоје поуздане информације о обиму саобраћаја на терминалу и броју TEU, могуће је извршити процену емисија издувних гасова у луци. Успостављањем односа потрошње дизел горива и емисије CO₂, те даљим израчунавањем релације броја TEU и потрошње дизел горива добија се емисија CO₂ по TEU. Аутор закључује да је утицај контејнерских лука на процес глобалног загревања озбиљан, те да ће се исти извесно погоршати с амбицијама лучких управа. Наиме, успостављањем мега лука, које би биле у стању да опслужују мега контејнерске бродове¹² извесно је да ће доћи до повећања укупних емисије CO₂.

Приликом потврђивања своје хипотезе аутор врши истраживање на примеру две луке у Јапану, Јокохама и Шимицу. Аутор успоставља однос учешћа бродова, контејнерске механизације и спољних возила у укупној емисији

¹² Мега контејнерски бродови < 18.000 TEU

изабраних лука. Коначно, аутор даје препоруке за система тарифирања лука према загађењу.

У истраживању [CARB, 2005] дат је приступ за израчунавању будуће емисије издувних гасова на контејнерском терминалу машина лучко-контејнерске механизације. Приступ је развијен за потребе лука Лос Анђелес и Лонг Бич. У обзир се узима број машина лучко-контејнерске механизације, степен коришћења машина и фактори раста, односно очекивани број машина у наредном периоду. Приступ за израчунавање будућих емисија на лучко-контејнерском термину дат је за шест врста контејнерских машина. Исти је заправо само поступак за формирање инвентара емисија на терминалу. Наиме, у истраживању нису дати фактори емисије за сваку категорију (попут CO_2 , NO_x и SO_2) што указује да је метода само нумеричка, без образлагања стварних еколошких ефеката.

Гирлингс и Ван Дин, [Geerlings & Van Duin, 2011] истражују методу за утврђивање нивоа емисија CO_2 на лучком контејнерском терминалу. Аутори презентују нову методу процене емисије CO_2 на контејнерском терминалу на примеру контејнерског терминала и луци Ротердам. У уводу у истраживање наглашен је значај општег разумевања последица климатских промена. Наглашено је да смањење емисије CO_2 , који озбиљно доприноси глобалном загревању, мора постати приоритет, јер ће се тако повећати притисак на међународну заједницу и индустријске секторе да изађу са иницијативама за смањење емисија CO_2 . Ово је посебно релевантно за транспортни сектор, чији се удео у глобалној емисији CO_2 још увек повећава, док други сектори смањују емисије. Истраживање поставља два циља. Први и основни је да презентује методологију која анализира емисије CO_2 на контејнерском терминалу. Други циљ се односи на идентификовање најефикаснијег решења за смањење емисија CO_2 на терминалу.

Аутори приказују кретање контејнера унутар терминала, као и допринос истог укупној емисији CO_2 на терминалу. На основу ових приказа понуђена су потенцијална решења за смањење емисије CO_2 , заједно са предлогом регулатива за управе лука и законодавце.

Према овом истраживању најефикаснији начин за смањење емисија CO₂ на контејнерском терминалу је управо адаптација (уређење) терминала по на терминал „Rotterdam Shortsea“. Аутори су става да предложено решење уређења терминала може довести до смањења емисије CO₂ за 70%. Додатно решење понуђено од стране аутора је повећање удела био-дизела (до једне трећине) у дизел гориву коришћеном за контејнерску механизацију. На тај начин аутори очекују смањење емисије CO₂ између 13% и 26% по терминалу, односно смањење утицаја укупног контејнерског транспорта за 21%. На крају аутори закључују да будућа истраживања морају бити спроведена уз поштовање свих сензитивности одрживог развоја, а посебно налаза процене животног циклуса (LCA) коју они овом приликом нису спровели.

Санен и сарадници [Saanen et al. 2011], спроводе студију утврђивања еколошког утицаја будућих технолошких алтернатива у лукама. Као алат за предвиђање еколошког утицаја користе методе симулације, на основу које добијају податке о еколошком отиску луке кроз потрошњу горива, емисију издувних гасова од дизел мотора и емитовање буке. Аутори сматрају да је неопходна процена еколошког утицаја неке технолошке алтернативе значајно пре имплементације. На тај начин заинтересоване стране могу донети одлуке по којима је поврат од инвестирања у „зелену технологију“ најповољнији. У процесу прогнозирања будућих ефеката алтернативне „зелене“ технологије за луке, аутори користе поступак моделирања. Аутори презентују тзв. „мапе топлотних извора“ за дефинисање кључних тачака емисије CO₂ на терминалу где се користе РТГ дизалице. Затим врше упоређење конвенционалног логистичког пара РТГ дизалице и терминалског трактора са порталном дизалицом на шинама и аутономном шасијом за превоз контејнера (AGV).

Још једно истраживање с циљем утврђивања методе или поступка за израчунавање CO₂ на терминалу дају **Чои и сарадници** [Choi et al., 2015]. У овом раду испитивана је метода за процену емисија CO₂ на контејнерским терминалима, чији је циљ успостављање система подршке при доношењу одлука које се тичу унапређења стања животне средине. Уз помоћ

предложене методе олакшава се израда плана или конструкција терминала са сниженом емисијом CO₂. Наиме кроз симулирање активности на терминалу могуће је коришћењем предложене методе претпоставити емисије CO₂. Метода користи информације о броју контејнерске опреме, рутама кретања и броју радних сати у употреби. Ове информације заједно с коефицијентима емисије CO₂ омогућавају израчунавање укупне емисије на терминалу. Овај приступ може се и користити за мониторинг емисија на терминалу.

Јанг и Лин [Yang & Lin, 2013] изводе упоређење перформанси четири машине лучко-контејнерске механизације из еколошке перспективе. Извршено је упоређење аутоматизоване и конвенционалне РМГ дизалице и електричне и конвенционалне РТГ дизалице. Аутори су мерили перформансе на основу критеријума радне ефикасности, потенцијала за уштеду енергије, горива и смањење емисије CO₂. Изведен је закључак да аутоматизоване РМГ дизалице и електричне РТГ дизалице представљају оптималне еколошке машине за потребе складиштења контејнера и одржавање терминала.

Лонго и сарадници, [Longo et al., 2014] дају приказ најсавременијих технологија које су повезане са питањима одрживости животне средине у окружењу лука. Аутори су развили флексибилно решење чија сврха је подршка у формирању еколошких стратегија лучких управа. У раду се указује на чињеницу да дизајн за животну средину (DfE) може бити од посебног значаја за лучке активности, а посебно оне луке које се налазе у непосредној близини урбаних области. Као пример приказују неке од познатијих италијанских лука, попут Палерма. У другом делу рада аутори представљају флексибилан модел који се могу симулирати активности у већини лука (са различитим врстама терминала) и измерити еколошки утицаји сваке активности на терминалу.

У раду је презентован пример спровођења „what if“ метода у којој је извршена симулација сценарија који одговара свакодневној активности. Као пример иницијалног сценарија изабрана је лука у Палерму. У оквиру примера извршено је упоређење еколошких последица стандардне РТГ дизалице и

РТГ дизалице са уграђеним системом за рекуперацију енергије. Различити режими рада РТГ дизалице узети су у разматрање, ради добијања података за анализу. На основу симулације могуће је утврдити период повратка уложених средстава у системе за уштеду енергије. Аутори сматрају да је симулациони модел једноставан за коришћење и ефикасан као алат за упоређење алтернативних сценарија, од конструкционих фаза развоја који се тичу еколошких питања, до економских разматрања инвестиционог улагања. Даљим развојем „what if“ методе она се може користити код симулирања сценарија која се тичу питања отпада, превоза отровних и опасних материја.

3.4. Преглед истраживања примене методе LCA лучку механизацију и сродне области

Због скромног избора доступне литературе која обрађује примене студије LCA на лучко-контејнерску механизацију у наредном делу презентовани су поред примера примене LCA на лучку механизацију и примери примене LCA на сродне врсте машина попут дизалица или грађевинске и рударске механизације. С обзиром на то да се у наведеним истраживањима ради о машина с дугим радним веком одређене аналогije у спровођењу тих студија LCA могу се односити на лучко-контејнерску механизацију, те их не треба занемарити.

Шевалије, [Chevalier, 2009] разматра приступ дизајна животног циклуса у раним фазама пројектовања. За пример изабрано је разматрање потенцијала за оптимизацију РТГ дизалица и извршена процена евентуалног еколошког унапређења кроз примену система за складиштење потенцијалне енергије терета. Аутор испитује употребу контратега масе једнаке маси напуњеног контејнера. Ово решење пореди са модерним решењима попут замајаца за складиштење енергије и хибридних система с ултракондезаторима. У раду се спомиње концепт животног циклуса, али сама студија није спроведена. Уместо LCA студије дате су основне претпоставке које би се могле користити даљим истраживањима.

Вујичић [Вујичић, 2010] у оквиру магистарске тезе презентује поступак спровођења студије LCA на примеру конвенционалне РТГ дизалице са освртом на еколошку ефикасност хибридне РТГ дизалице. Аутор закључује да потенцијал за еколошко унапређење код хибридне дизалице није компромитован иницијалним негативним ефектом фазе производње, али наглашава да само уградња система за рекулпацију енергије на постојећу дизалицу није довољна. Оптимално решење за хибридне РТГ дизалице је да се осим система за рекулпацију енергије и генератора променљиве брзине уграђују ефикаснији дизел агрегати новије генерације са мањом радном запремином и SCR¹³ катализаторима.

Зрнић и Вујичић [Зрнић и Вујичић, 2011] дају препоруке за смањење емисије CO₂ у лучким контејнерским терминалима кроз замену конвенционалних РТГ дизалица модерним хибридним РТГ дизалицама. Аутори наглашавају да је принцип рада РТГ дизалице погодан за уградњу хибридних система јер маса контејнера од 40 тона може представљати потенцијалну енергију за складиштење у ултракондезаторима. Та енергија терета се код конвенционалних дизалица приликом спуштања контејнера заправо претвара у топлоту кроз хабање и загревање отпорника. Еколошку ефикасност потврђују на основу резултата прикупљених у раније спроведеној LCA студији [Зрнић и Ђорђевић, 2012].

Остад и Коладо-Руиз [Ostad & Collado-Ruiz, 2011], разматрају превазилажење потешкоћа у спровођењу студије LCA кроз примену параметризације. Наиме, аутори наглашавају да обим неопходних информација и захтевност и комплексност у прикупљању истих представљају главну препреку у коришћењу LCA студије. Указују да је значајан број података и параметара доступан већ у раној фази развоја производа. То доказују на примеру обртне дизалице са зглобном стрелом, за коју сматрају да се ради о производу довољне комплексности да потврди хипотезу о примени параметризације. У раду се спроводи формирање базе инвентара, на основу информација из фазе конструисања, уз истовремено

¹³ Selective catalytic reduction (SCR). Селективна каталитичка редукција омогућава раздвајање азотних оксида NO_x на повољније облике N₂ и H₂O.

презентовање алата за спровођење процене. Развој параметаризованог модела спроведен је у три корака. У првом кораку извршено је прикупљање података о кључним конструкционим параметрима кроз анкетирање произвођача дизалица. Затим је спроведена студија LCA за репрезентативну дизалицу истог произвођача. Извршена је анализа и упоређење конструкционих параметара добијених од произвођача и базе инвентара добијене из LCA студије. Конструкциони параметри који утичу на резултате LCA студије су дефинисани су као примарни параметри. Параметри из којих је могуће израчунати базу инвентара LCA дефинисани су као секундарни параметри. Приступљено је упоређивању односа између примарних и секундарних параметара. Извршена је валидација параметарског модела кроз још шест дизалица, различитих димензија и карактеристика.

Параметризовани модел је приказан кроз 13 примарних параметара. Они су повезани са секундарни параметрима и базом инвентара преко формула, статистичких или стварних релација. Ради даљег коришћења утврђених релација, исте су обухваћене и сублимиране у софтверски алат. На тај начин аутори омогућавају дизајнерима и конструкторима да у раној фази развоја дизалице добију визуелизацију и референцу еколошког утицаја неког модела. Дефинисана су три индикатора директно повезана са масом, еколошким утицајем и релативним референтним тачкама. У резултатима је утврђено да модели не одступају више од 4% од стварних дизалица.

Аутори закључују да је прогноза еколошког утицаја дизалице могућа у раној фази конструицања. Статистичка процена изведена из софтверског алата може се даље унапређивати за коришћење различитих врста дизалица. Евентуално утврђена одступања могу побољшати разумевање релације између изабраног модела и крајњег еколошког утицаја дизалице. Потенцијал параметријског приступа могуће је проширити и на друге врсте производа.

Зрнић и Вујичић [Зрнић и Вујичић, 2012] разматрају начине евалуације еколошке ефикасности модерних технологија које се развијају и примењују за лучко-контејнерску механизацију. Аутори као алат за процену еколошке ефикасности препоручују методу LCA. Препоруку потврђују указујући на

скривене негативне ефекте појединих технологија, које је неопходно утврдити у раној фази истраживања за шта тврде да је најефикаснија метода LCA. Као пример изводе упоређење три врсте РТГ дизалица: конвенционалне, хибридне и потпуно електричне – које су у моменту истраживања представљале последњу реч технике.

Ким и сарадници, [Kim et al., 2012] анализирају ефекте стратегије електрификације лучке механизације у циљу смањења ГСБ. Утврђивање ефикасности спроведено је кроз компаративну LCA студију, упоређењем конвенционалног дизел терминалног трактора и електричног терминалног трактора у луци Лос Анђелес. Резултати студије указују да је промет контејнера у луци Лос Анђелес главни узрочник емисија повезаних са манипулисањем терета. Аутори закључују да без обзира на обим смањења емисије ГСБ по возилу, до укупног смањења не може доћи због повећаног интензитета претовара контејнера и пораста броја терминалских трактора у експлоатацији. Према овом истраживању једини начин да се емисије ГСБ смање на ниво од пре 1990.-их је смањење броја контејнера. Електрификација омогућава смањење емисије по возилу, али остаје питање преусмеравања последица емитовања ГСБ на електране. Ипак и то се сматра позитивним решењем јер се луке често налазе у густо насељеним областима. Ефекат смањења ГСБ је у директној релацији са уделом обновљивих извора енергије у производњи електричне енергије. Коначно, аутори указују на дилему лучких управа и произвођача опреме. Да ли да производе еколошки ефикасније моторе с унутрашњим сагоревањем за потребе контејнерске опреме или да процес електрификације даље разматрају? Аутори закључују да је најоптимистичнији сценарио да се емисије ГСБ могу смањити ниво пре 1990. године само у случају имплементације свих еколошких иницијатива, што није могуће пре 2030. године.

У суженом избору доступне литературе која се тиче тематике примене студије LCA на примерима великих механизационих машина (грађевинских и рударских) издваја се поједностављена студија LCA тракастог транспортера роторног багера аутора **Ђорђевића и сарадника** [Ђорђевић и сарадници,

2015]. Циљ аутора је да презентују најзначајнија питања која се тичу еколошког утицаја тракастог транспортера. У раду се дају препоруке за даље унапређење транспортера кроз оптимизацију функционалности машине, смањење потрошње при експлоатацији и боље планирање одржавања. С обзиром на то да се ради о поједностављеној студији где су одређене претпоставке усвојене ради смањења сложености, аутори сматрају да спроведена студија представља добру основу за потпуну LCA студију. Ипак, без обзира на чињеницу да се ради о поједностављеној студији, иста пружа јасне информације о томе која је фаза животног циклуса транспортера еколошки најоптерећенија. Принципи презентовани у предметном раду могу се применити и на LCA студије других великих система механизације и непрекидног транспорта.

За разлику од претходног рада, **Буњо и Гутијерез** [Буњо & Gutierrez, 2010] уместо поједностављеног спровођења LCA студије за целу машину механизације, врше спровођење потпуне LCA студије за део дизалице. Наиме, аутори спроводе еколошко поређење два производна дела дизалице за потребе Компаније „ХИАБ“. Делови који су испитани су греда дизалице и носећа структуре дизалице. Спроведена студија даје еколошку перспективу процеса производње наведених делова и омогућава произвођачу да изабере еколошки најефикаснију кроз идентификовање кључних питања и испитивање алтернатива. Аутори констатују да употреба челика веће чврстоће омогућава смањење димензија дизалице и тиме уштеде у маси које дозвољава већу дужину стреле и веће радне висину. За спровођење LCA студије аутори су користили софтверску апликацију SimaPro.

Вујичић и сарадници [Вујичић и сарадници, 2013] испитују еколошку ефикасност лучке-контејнерске механизације која се сврстава (или карактерише) као механизација нулте емисије. Аутори испитују еколошку ефикасност применом методе LCA на примеру две најзаступљеније машине на контејнерском терминалу: РТГ дизалице и терминалског трактора. Конвенционалне машине се упоређене са потпуно електричним моделима. Истраживање и спроведена додатна анализа указују на условну еколошку

исплативост која је у значајној мери детерминисана извором електричне енергије. Аутори су закључили да је ефикасност електрификације лучке-контејнерске механизације израженија код великих машина. У конкретном примеру електрификација РТГ дизалица је апсолутно оправдана, док је исту код терминалског трактора могуће довести у питање.

Зрнић и Вујичић [Зрнић и Вујичић, 2013] презентују приступ карактеризацији еколошког утицаја лучке-контејнерске механизације на примеру терминалског трактора. Аутори применом правила концепта животног циклуса врше поређење четири модела терминалског трактора. За карактеризацију еколошког утицаја изабрани су следећи терминалски трактори: конвенционални дизел трактор, електрични-хибридни дизел трактор, потпуно електрични трактор и као последња новина хидраулични-хибридни трактор. Последњи због своје једноставности представља повољнију алтернативу у односу на електричне-хибридне тракторе. У истраживању је показано да еколошки ефекти који се односе на литијумске батерије код електричних терминалских трактора нису занемарљиви. Из тога разлога аутори закључују истраживање препорукама у циљу правилног означавање опреме која се користи на терминалима. Става су да је неоправдано оглашавање појединих модела трактора као „еколошки пријатељским“ без преиспитивања целог животног циклуса.

4. ДЕФИНИСАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ИСТРАЖИВАЊА

У складу с проблемом и предметом истраживања, као и дефинисаним циљевима, коришћене методе у овој дисертацији у директној су релацији са концептом животног циклуса. Обзиром на свеобухватност која је карактеристична за истраживања концепта животног циклуса, као и припадајуће методе евалуације еколошког утицаја, одређења поједностављења истраживања су неизбежна. Централни део истраживања обликован је правилима методе процене животног циклуса (LCA) и релевантним сродним методама процене утицаја животног циклуса (LCIA). За последње одабране су најзаступљеније проблемски оријентисане методе CML и TRACI и једна штетно оријентисана метода Eco-Indicator. Истраживање је заокружено применом „what if“ методе и анализом осетљивости.

4.1. Метода процене животног циклуса

Са појавом и ширим прихватањем концепта одрживог развоја неопходност постојања методе којом би се одмериле еколошке перформансе неког система, производа или активности постајала је све очигледнија. Из те потребе, уз све потешкоће карактеристичне за пионирски развој, метода процене животног циклуса добијала је ширу прихваћеност, да би данас заузимала централно место у научном кокусу одрживог развоја [Vezzoli & Manzini, 2008]. LCA метода као примењена (поједностављена) системска анализа пружа могућности за шира теоријска истраживање из кога је могуће и да се сама унапређује [Klöppfer & Grahl, 2014]. Из таквог положаја она је корисна за еколошко расуђивање, које је посебно значајно код развоја производа [Vezzoli & Manzini, 2008], [Ostad et al., 2009].

У покушају пружања конкретне дефиниције методе LCA, најсигурнијим се чини позив на међународни стандард ISO 14040 у оквиру кога је метода формално потврђена. Према [ISO 14040, 2006], метода LCA представља

„технику“ процене еколошких аспеката и потенцијалних утицаја повезаних са производом, кроз:

- формирање инвентара релевантних улаза и излаза из система производа;
- евалуацију потенцијалног еколошког утицаја повезаног са тим улазним и излазним вредностима;
- интерпретацију резултата анализе инвентара и процене утицаја фаза повезаних са циљем студије.

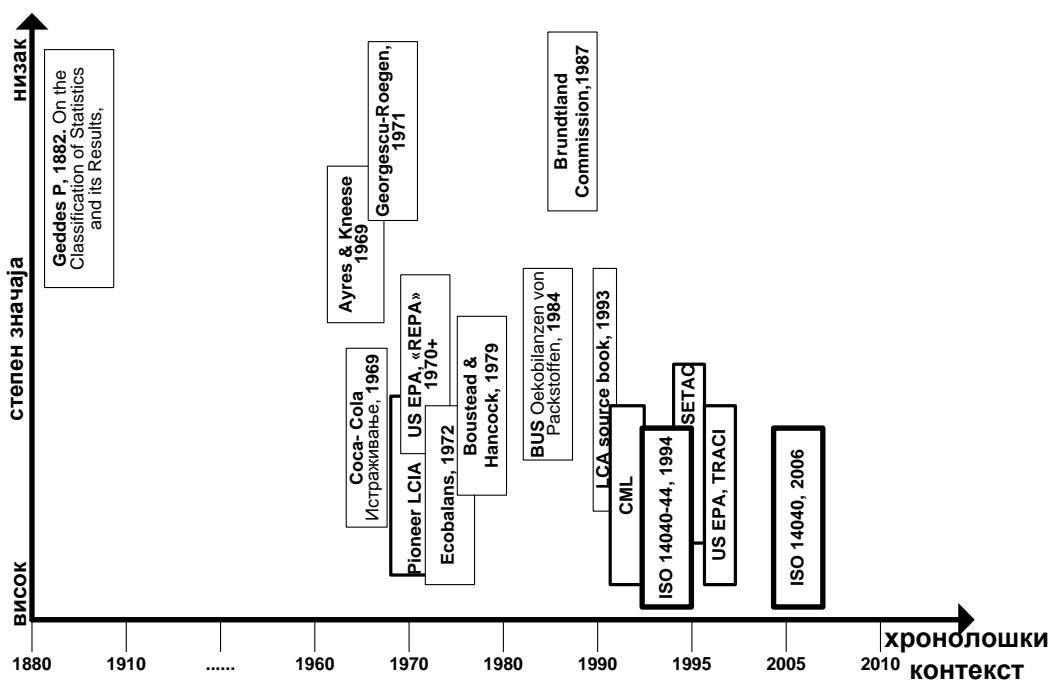
Заокружујући формулацију ISO 14040, потребно је нагласити и то, да метода LCA обрађује све еколошке аспекте и потенцијалне утицаје производа у току животног циклуса од екстракције сировина преко производње, употребе и коначно одлагања [PE International, 2009]. Опште категорије еколошког утицаја које су предмет разматрања код LCA су потрошња природних ресурса, утицаји на људско здравље и еколошке последице.

4.1.1. Развој методе LCA

У доступној литератури уочавају се разлике између аутора из Европе и Северне Америке око пионирских почетака везаних за концепт процене животног циклуса. Европски аутори усвајају истраживања Патрика Гедеса¹⁴ из 1882. године за прве, јер се међу његовим истраживањима уочавају елементи теорије животног циклуса [Frischknecht, 1998]. Он анализира питање енергије веома слично поступку формирања инвентара животног циклуса код данашње методе LCA, са приказима који би и данас били разумљиви. Континуитет развоја мисли о теорији животног циклуса наставља се почетком друге половине 20. века у радовима који указују на еколошка ограничења економског развоја [Ayres & Kneese 1969], [Georgescu-Roegen, 1971], до анализа енергетских токова који су значајно ближи садашњој LCA [Boustead & Hancock, 1979] и заокружења филозофије модерног концепта LCA [Heijungs et al., 1992], [Braunschweig et al., 1996].

¹⁴ Patrick Geddes (1854 –1932) - Шкотски економиста и биолог

Пионирски почеци методе LCA на простору Северне Америке везују се за 1969. годину и истраживања наручена од стране компаније „Coca-Cola“ у вези са унапређивањима система паковања [Franklin, 1995]. Сматра се да су наведеним истраживањем постављени темељи за поступак формирања инвентара животног циклуса (LCI). На основу ових истраживања ЕРА је препознала могућности за унапређење технологије рециклаже и третмана отпада и развила сопствени приступ „REPA“ (Resource and Environmental Profile Analysis). Приступ REPA задржава се готово две деценије до инаугурисања појма LCA на једној панел дискусији о питањима животне средине [Udo de Haes, 1996]. Интересовање за концепт животног циклуса заокружује се стандардизацијом начина спровођења истраживања већ 1994. године у серији стандарда ISO 14040-14044. Ревизија ових стандарда извршена је 2006. године када су замењени јединственим стандардом ISO 14040 и допуном ISO 14044 [ISO 14040, 2006], [ISO 14044, 2006]. Почетком 21. века развој методологије је интензиван и општеприхваћен у Европи, САД и Јапану као најбоља методологија за утврђивање утицаја производа на животну средину [Vezzoli & Manzini, 2008].



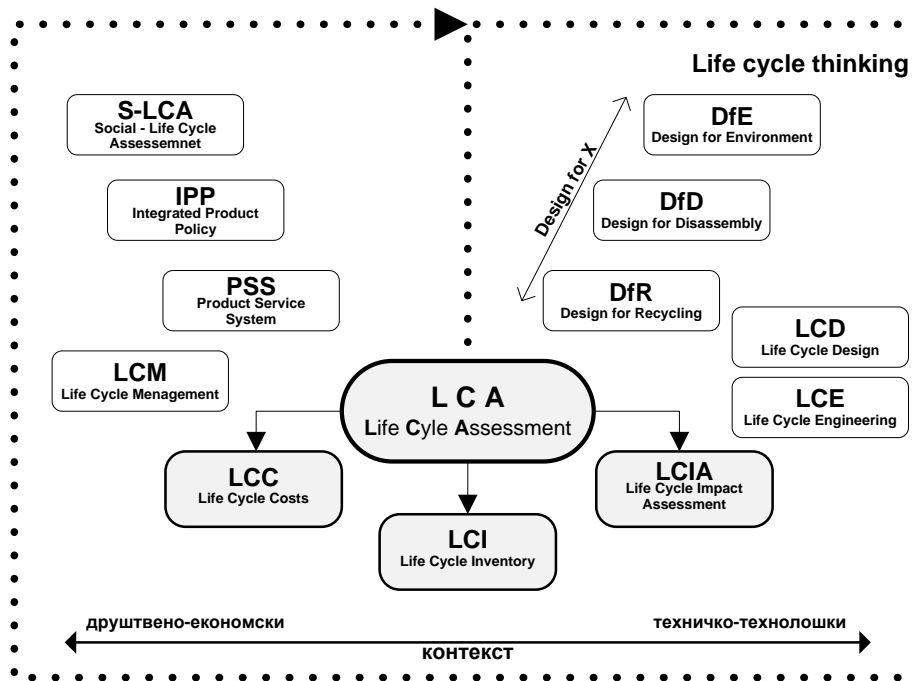
Слика 4.1. Приказ хронолошког развоја методе LCA

Након етаблирања концепта процене животног циклуса и дефинисања начина спровођења у оквиру међународног стандарда, преостале су само разлике између метода процене утицаја животног циклуса (LCIA) које се користе у Европи и САД. У Европи остаје најзаступљенија CML метода [Heijungs et al., 1992], а у САД метода TRACI [Bare et al., 2003].

4.1.2. Life cycle thinking

Разумевање концепта животног циклуса, његових импликација на производно-потрошачко окружење није могуће без разумевања начина размишљања који стоји иза перспективе животног циклуса. Поменути начин сублимиран је у апстрактном приступу кроз формирање кровне филозофије концепта који се назива „Размишљање о животном циклусу“ (*Life cycle thinking*). Та формулација представља идеју холистичког преиспитивања производно-потрошачког система или његових последица. Иако се последњи појам у пуном интензитету академске расправе појавио неколико година након етаблирања методе LCA и њеног заокружења у серији стандарда ISO 14000, сада размишљање о животном циклусу окупља хронолошки старије методе из које је заправо настало **слика 4.2**.

Основна идеја иза размишља о животном циклусу је потреба за повећањем свести о последицама антропогених активности на животну средину. Ако се прихвати чињеница да људске активности не могу остати без утицаја на животну средину [Vezzoli & Manzini, 2008], размишљање о животном циклусу може представљати извор информације или рађања свести о томе колики утицај на животну средину нека активност може имати, што олакшава избор оне с мањим последицама. Овакав приступ боље него било који други указује на скривене изазове прерасподеле утицаја на животну средину (*burden shifting*) [Heiskanen, 2002]. На тај начин обезбеђује се избегавање смањења утицаја у једној, а повећања у другој фази, што је интегрисано у основној идеји (која стоји) иза ове дисертације.



Слика 4.2. Методе и приступи заокружени са *Life cycle thinking*

Размишљање о животном циклусу осим крвног окупљања свих метода и приступа везаних за концепт животног циклуса све више је заступљено у друштвено-економским истраживањима. Наиме, централна метода размишљања о животном циклусу LCA више није прихваћена само као инструмент, већ институционализовани логички приступ решавању еколошких изазова [Heiskanen, 2002].

4.1.3. Сврха, општи циљеви и поље примене LCA

Сврха LCA је да прикупи и процени еколошке последице различитих опција за испуњење одређене функције, [Guinée et al., 2002]. Овим тумачењем остаје се у еколошком домену методе што је и суштинско одређење дисертације. Дефинисање сврхе у искључиво еколошком домену одређује и поља примене. Међутим, данас LCA метода подразумева значајно шири контекст од пружања објашњења еколошких последица животног циклуса неког производа. То се најбоље огледа кроз економску позадину питања концепта животног циклуса. Са становишта филозофије економије осиромашење

природних ресурса није еколошко питање, већ економско [Вељковић, 2006]. Ако се већ нешто одреди у домен економског, немогуће је избећи и друштвена одређења [Vezzoli & Manzini, 2008]. Из тог разлога једноставном аналогијом изведена је метода трошкова животног циклуса LCC.

Циљеви и поље примене LCA одређени су дефинисаном сврхом методе, али у сажетом облику се може говорити о методи чији је циљ обезбеђивање разумевања о сложености еколошких питања и сублимирања истих за потребе заинтересованих страна, са нагласком на подршку приликом доношења одлука [Guinée et al., 2002]. Таксативно, општи циљеви примене LCA су:

- Дефинисање оквира интеракције између дате активности и животне средине што је могуће интегралније.
- Допринос даљем разумевању сложености која се јавља код утицаја одређене активности на животну средину.
- Обезбеђивање информација свим заинтересованим странама (посебно ауторитетима који доносе одлуке) које би могле да утичу на животну средину и које су у могућности да побољшају стање животне средине.

Према [ISO 14040, 2006] стандарду за поље примене LCA може се сматрати следеће:

- Идентификацију могућности унапређења еколошких аспеката производа у различитим фаза животног циклуса;
- За доношење одлука у индустријској производним, владиним и не-владиним организацијама (нпр: код стратешког планирања, дефинисања приоритета, дизајна производа и процеса или унапређење постојећих);
- Избор веродостојних индикатора утицаја на животну средину, и као техника мерења;
- Маркетиншке сврхе (процена еколошког утицаја, додела еко-ознака производима или декларације производа).

4.1.4. Ограничења и критике методе процене животног циклуса

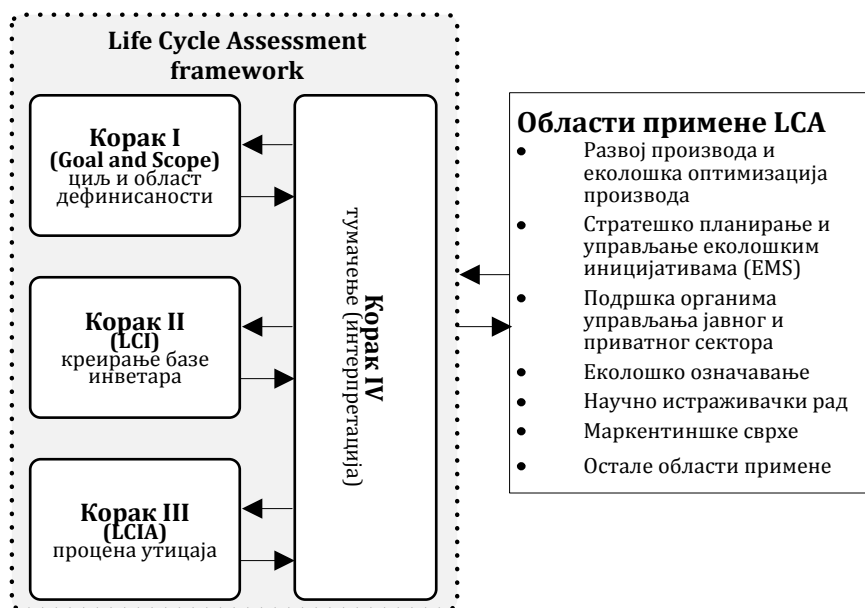
Ограничења методе LCA није неопходно тражити ван оквира њених суштинских карактеристика које чине и најважније предности методе. Холистички приступ методе LCA може се сматрати и особином из које може проистећи прво кључно ограничења или недостатак [Ayres, 1995]. Анализирање животног циклуса неког производа (било дела или још захтевније целог циклуса) готово је немогуће без одређених поједностављења или претпоставки којим се та поједностављења усвајају. Друга особина LCA методе, је линеарност. Линеарно приказивање еколошких процеса подразумева ограничења. Ипак, реализација методе LCA на нелинеарном принципу довела би до додатног усложњавања, те је ово ограничење у одређеној мери разумљиво [Udo de Haes, 1996].

Од осталих ограничења могуће је идентификовати питања локализације и временски аспект. Еколошки утицаји утврђени LCA методом не урачунавају значај утицаја на локалном нивоу, нити се исти разматрају [Guinée et al., 2002]. На пример, загађење једног извора пијаће воде вреднује се истим фактором и за Африку и Европу, што у практичном смислу није исправно. Питање временског аспекта указује да је временски оквир константан, уместо да је динамички променљив. LCA студија не подразумева на експлицитан начин технолошке, тржишне и друштвене промене у временском оквиру животног циклуса [Guinée et al., 2002]. Управо због свега наведеног, а потврђено и ISO дефиницијом, метода LCA располаже термином „потенцијалног утицаја“.

Метода LCA јесте научно заснована, али подразумева значајан број претпоставки заснованих на техничким вредностима и статистички селектованим подацима. Управо претпоставке које су карактеристичне и саставни део процеса спровођења методе LCA представљају извор научних критика [Horne et al., 2009], [Ayres, 1995]. Из тог разлога се и у оквиру међународне серије ISO 14040 стандарда инсистира на транспарентности приликом дефинисања претпоставки [ISO 14040, 2006].

4.2. Поступак спровођења процене животног циклуса

Поступак спровођења процене животног циклуса презентован је у складу са серијом стандарда ISO 14040 и смерницама којима је ова серија тумачена и образложена у доступној литератури. Први корак у спровођењу студије LCA најчешће је разматрање одређења функције производа или система ради јасније слике о правцу истраживања [Guinée et al., 2002]. У зависности да ли је функција производа чување садржаја (амбалажа) или је реч о комплекснијем систему (раскладни уређај) - могуће је формирати представу о комплексности студије. Због комплексности LCA студије, придржавање прописаних правила у спровођењу истраживања је обавезно. Кроз историјски развој методе, постојало је доста протокола различитих аутора, који су у оквиру разних приручника, упутстава и сличних докумената давали објашњења за спровођење студије LCA. Коначан, међународно признат и прихваћен протокол, утврђен је од стране ISO [ISO 14040, 2006]. Протокол за спровођење студије LCA, описан у међународној серији стандарда ISO 14040, назива се „методолошки оквир за спровођење LCA студије, или истраживања“ и исти је приказан на **Слици 4.3.**



Слика 4.3. Методолошки оквир и кораци LCA студије [ISO 14040, 2006]

Према овом методолошком оквиру процена животног циклуса се спроводи у четири детаљно описана корака, и то:

1. Циљ и области дефинисаности (Goal and Scope)
2. Инвентар животног циклуса (Life Cycle Inventory)
3. Процена утицаја животног циклуса (Life Cycle Impact Assessment)
4. Интерпретација или тумачење

4.2.1. Циљ и област дефинисаности

Попут дефинисања методолошког оквира LCA студије, тако су и појединачни кораци одређени ISO стандардима. Према [ISO 14040, 2006] **циљ и област дефинисаности**, подељени су на следеће кораке:

-Циљ студије;

-Област дефинисаности студије.

И пратеће кораке којима се заокружује циљ и област дефинисаности:

- Функција производа;
- Функционална јединица (са дефинисањем референтног тока);
- Границе система;
- Опис категоризације и селекције података;
- Квалитет података;
- Критички извештај;
- Извештај о спроведеној студији;

Одређивање **циља** LCA обухвата изјажњење од примени, дефинисању сврхе и циљне групе којој се извештај студије обраћа. Ниједна од наведених тачака не може бити самостална, већ су међусобно повезане, јер сврха студије може условити циљну групу и обрнуто. Важно је напоменути и да коришћење LCA у компаративне сврхе мора бити унапред одређено, јер се у том случају захтева критички преглед [ISO 14040, 2006].

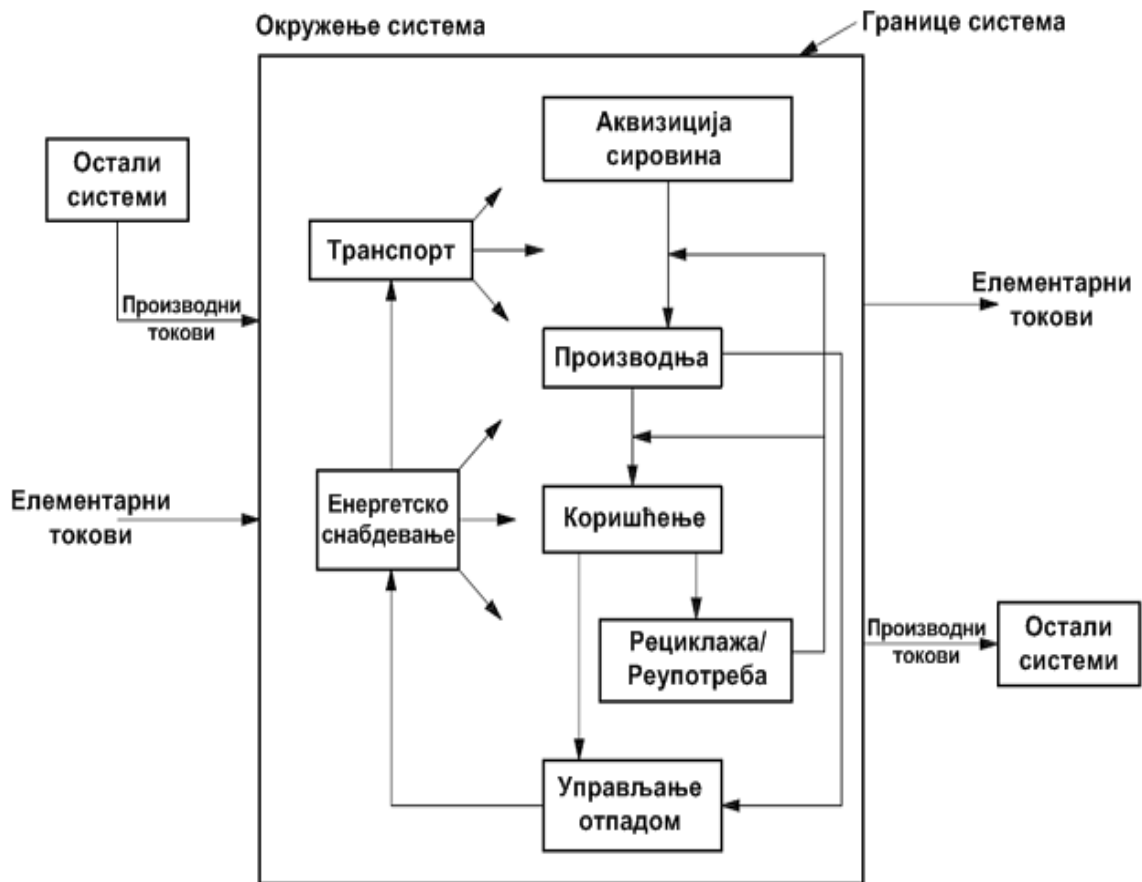
Не умањујући значај осталих фаза поставке LCA студије, одређивање **области дефинисаности** представља „формирање темеља“ студије. У процесу одређивања области дефинисаности систем производа се анализира, карактеризује и дефинишу се све претпоставке повезане са системом производа.

Дефинисање параметара који покривају функцију производа и функционалану јединицу (са одређењем референтног тока) од посебног је значаја. Ради описа производа неопходно је дефинисање **функције производа**. То подразумева дефинисање очекиваних резултата од производа. У случајевима када се пореде различити производи, разлике у функционалностима производа морају бити документоване.

Функционална јединица је квантификована дефиниција функције производа [ISO 14040, 2006] или квантификована перформанса система производа која се користи као референтна вредност [Frischknecht, 1998]. Код студија где је циљ компаративно одређење нагласак на функционалној јединици је још израженији. Да би се два производа упоређивала морају им бити одређене еквивалентне функционалне јединице.

Део дефинисања функционалне јединице је и дефинисање **референтног тока**. Референтни ток је мерило неопходног излаза из процеса изабраног производа потребних за остварење функције исказане функционалном јединицом [ISO 14040, 2006]. Сви подаци током фазе инвентара се односе на референтни ток. Сви подаци који се користе у процени животног циклуса морају бити обрачунати и сразмерни са референтним током.

Са дефинисањем функционалне јединице и **граница система** скелет студије је суштински формиран. **Границе система** одређују који процеси су укључени или искључени из процене животног циклуса. Ради лакшег праћења пожељно је описати процесе користећи дијаграм тока процеса, који показује процесе заједно са свим повезаним активностима. Пример општег описа граница система дат је на **Слици 4.4**.



Слика 4.4. Дијаграм токова и границе система [PE International, 2009]

Кроз развој LCA приликом дефинисања граница система и одређења који процеси су укључени у анализу, дошло је до спонтаног формулисања терминологије повезане са четири основне границе система које се често додељују самој студији LCA. На тај начин постоји неколико опште прихваћених граница система које описују студији LCA:

- **Процена животног циклуса „од колевке до гроба“ (Cradle to Grave).** Ово одређење представља устаљену формулацију за комплетну процену животног циклуса од узимања сировина из животне средине, производње материјала, компоненти производа, потрошње енергије и осталих процеса у фази стварања производа, те фазу транспорта и фазу употребе, до краја животног циклуса (који може бити рециклажа или одлагање).

- **Процена животног циклуса „од колевке до врата“ (Cradle to Gate).** Подразумева све процесе од екстракције сировине до производне фазе и коначне припреме за испоруку производа до врата фабрике (не крајњег потрошача или корисника). Користи се да се одреди утицај на животну средину производње неког производа.
- **Процена животног циклуса „од врата до гроба“ (Gate to Grave).** Наведена формулација укључује све процесе од момента почетка употребе производа до краја животног циклуса (сви пост-производни процеси). Користи се ради одређивања еколошког утицаја производа од момента напуштања фабрике.
- **Процена животног циклуса „од врата од врата“ (Gate to Gate).** Подразумева све процесе искључиво у току производне фазе; користи се за одређивање утицаја једног производног корака или процеса на животну средину. Пример је утврђивање утицаја производње мотора СУС у фази производње аутомобила.

Са развојем концепта животног циклуса и методе LCA, појављују се и следеће изведене опције студије [Jiménez-González et al., 2000], [Brinkman et al., 2005]:

- **Процена животног циклуса „од колевке до колевке“ (Cradle to Cradle).** Наведено представља синоним за рециклажну производњу или производњу у „затвореном циклусу“ (closed loop production). У овом случају извор сировина је рециклажни, док крај животног циклуса такође подразумева рециклажу. Из ове студије се развија концепт „C2C - Cradle 2 Cradle“ који подразумева да производ на крају животног циклуса представља сировинску основу за почетак животног циклуса идентичног производа – лимека се рециклира у лименку. Обзиром на све специфичности, спровођење „C2C“ студије је посебно захтевно.
- **Процена животног циклуса „од извора до резервоара“ (Well to Tank).** Под овом проценом подразумева се еколошка евалуација процеса екстракције сировине, производње, транспорта, складиштења и дистрибуције горива која се углавном користе за покретање мотора

с унутрашњим сагоревањем. Ова процена се све чешће користи за евалуацију еколошког утицаја производње електричне енергије која се користи за погон транспортних или превозних система.

- **Процена животног циклуса „од извора од точка“ (Well to Wheel).** Представља посебну процену еколошког утицаја производње и транспорта горива (или енергије) до превозног или транспортног средства и еколошког ефекта коришћења предметног горива или енергије у експлоатацији тог средства. Тако ова процена у себи може садржати процена као што су: „од извора до станице“ (Well-to-Station), или „од извора до резервоара“ (Well-to-Tank). Остале варијације попут „од станице до точка“ (Station-to-Wheel) или „од утичнице до точка“ (Plug-to-Wheel) мање су заступљене.

Иако је предвиђено да LCA студије обухвати све процесе, често се са дефинисањем граница система дефинишу правила по којима се неки процеси искључују из истраживања. Правила за искључење у LCA студијама називају се **„cut-off“ критеријуми**. Ови критеријуми се користе за дефинисање токова материјала који су искључени из процеса или система производа. Према „cut-off“ критеријуму најчешће се искључују сви материјали или процеси који доприносе са мање од 5% укупне масе или са мање од 2% укупног утицаја на укупан резултат.

4.2.2. Инвентар животног циклуса

Процеси везани за формирање инвентара животног циклуса представљају други од четири корака LCA одређених стандардом ISO 14040. Они подразумевају компилацију и квантификацију улазно-излазних вредности за изабрани систем производа кроз цео животно циклус или појединачан процес. Формирање, или креирање инвентара подразумева прикупљање и компилацију података у табелу инвентара животног циклуса (LCI) [ISO 14040, 2006].



Слика 4.5. Прикупљање и израчунавање података за базу инвентара
[PE International, 2009]

Процес стварања инвентара животног циклуса је итеративан [PE International, 2009]. Како се напредује и унапређује познавање система, почетне вредности се могу мењати како би се испунио постављени циљ студије. Понекад, појављују се питања која намећу ревизију или промену циља и области дефинисаности студије. Када се сви подаци прикупе, база инвентара за цео производ је креирана. LCI се често представља као табела пописа свих улазно-излазних вредности материјала и енергије система. Детаљи о процесу прикупљања и калкулације података дати су у оквиру ISO [ISO 14040, 2006]. Од важнијих процеса у формирању инвентара животног циклуса убрајају се класификација и прорачун инвентара.

Класификација представља најзахтевнији процес у целој студији LCA, посебно са становишта времена и ангажованости [Guinée et al., 2002]. Садржи квантитативно и квалитативно прикупљање података за сваки процес система. Подаци се углавном класификују на следеће групе [PE International, 2009]:

- Улазна енергија
- Улазне сировине
- Споредни утицаји
- Остале улазне физичке вредности
- Производи
- Пратећи производи
- Отпад
- Емисија у ваздух, воду и земљиште
- остали еколошки аспекти

Прорачуна инвентара, обухвате следеће кораке, који могу бити извршени и пре прорачуна инвентара [PE International, 2009], као што су: **валидација** прикупљених података, **повезивање** података са одговарајућим процесима и повезивање података са функционалном целином.

4.2.3 Процена утицаја животног циклуса

Трећи корак студије LCA први пут од почетка студије врши повезивање добијених података са питањима животне средине [ISO 14040, 2006]. Због свог значаја процена утицаја животног циклуса (LCIA) сматрала се посебном методом [Guinée et al., 2002]. Према [ISO 14040, 2006] методе процене утицаја су интегрални део LCA. У овој фази идентификује се и оцењује количина и значај потенцијалних утицаја који су прикупљени у бази инвентара. Сагласно [ISO 14040, 2006] утврђени су следећи кораци фазе LCIA:

- Избор утицајних категорија, индикатора утицаја што се обједињује процесом **карактеризације**;
- **Класификација**;

- Нормализација;
- Груписање;
- Пондерисање;
- Анализа квалитета података;

Улазно-излазне величине се прво додељују утицајним категоријама и њихов потенцијал се квантификује према факторима карактеризације. Опционални елементи ове фазе који се могу спровести након класификације и карактеризације су пондерисање, нормализација, евалуација или груписање.

Наиме, када се прикупе резултати LCI они се **класификују** у релевантне категорије, а затим се врши карактеризација што је приказано у **Табели 4.1. Карактеризација** описује и квантификује утицај на животну средину анализираног система производа. Карактеризациони фактори су садржани у методама утицајних категорија као што су CML или TRACI.

Табела 4.1. Пример класификације и карактеризације

LCI (Инвентар)		LCIA (Процена утицаја)		
Токови	Вредности	Класификација	Карактеризација	Пондерисање*
CO [kg]	310,00	GWP [kg CO ₂ eq.]	1.250 kg CO ₂ x 1	8.430,00 kg CO ₂ eq. = 8.430 kg CO ₂ eq. x30%
CO ₂ [kg]	1.250,00		310 kg CO x 3	
CH ₄ [kg]	250,00		250 kg CH ₄ x 25	
SO ₂ [kg]	15,00	AP [kg SO ₂ eq.]	15 kg SO ₂ x 1	50,04 kg SO ₂ eq. = 50,04 kg SO ₂ eq. x40%
NO _x [kg]	50,00		0.05 kg HCl x 0,88	
HCl [kg]	0,05		50 kg NO _x x 0,7	
PO ₄ [kg]	5,00	EP [kg PO ₄ eq.]	5 kg PO ₄ x 1	16,45 kg PO ₄ eq. = 16,45 kg PO ₄ eq. x50%
NH ₃ [kg]	15,00		15 kg NH ₃ x 0,33	
и др.	-		50 kg NO _x x 0,13	

*Пондерисање представља опциони поступак

4.2.4 Интерпретација

У последњем кораку студије LCA спроводи се интерпретација, провера и оцена резултата ради утврђивања конзистентности са циљем и облашћу дефинисаности и ради завршетка студије. Према [ISO 14044, 2006] фаза интерпретације мора бити подељена следећа три корака:

1. Идентификација значајних проблема
2. Евалуација
3. Закључци, препоруке и извештај

Идентификација “значајних питања” усмерава даље кораке. Због великог обима прикупљених података, једино корисно у разумном временском року и расположивим ресурсима је обратити пажњу на елементе који значајно доприносе укупном исходу резултата. Значајна питања могу представљати: елементи инвентара као потрошња енергије, значајни одлив материјала, отпад и емисије, категорија утицаја за које постоји посебан интерес или чија је количина забрињавајућа и основни допринос резултатима фаза животног циклуса LCI или LCIA као што су групни или појединачни процеси (нпр. транспорт, производња енергије).

Циљ **евалуације** је да унапреди поузданост студије [Guinée et al., 2002]. Евалуација подразумева три корака, односно провере: **проверу потпуности, осетљивости и потпуности**. Провером потпуности се утврђује да ли су обрађене све информације од значаја за испуњење циља и области дефинисаности. Провером осетљивости утврђује се утицај евентуалних недоследност у подацима, претпоставкама, алокацији и прорачуну утичу на крајње резултате. **Последњом провером испитује се** конзистентност употребљених метода и циља и области дефинисаности.

Последњи део корака интерпретације животног циклуса је обезбеђење **закључка** који може бити препорука или извештај циљној групи којој је LCA намењена [Guinée et al., 2002]. **Извештај** процене животног циклуса потребно је презентовати обухватним документом који поседује резултате LCA и LCIA, као објашњење методе LCIA које су коришћене [ISO 14044, 2006].

4.2.5 Методолошки приступ LCA студије у GaBi апликацији

Већина софтверских апликација за спровођење LCA студије подразумева сличан методолошки приступ, али се сматра да софтверска апликација GaBi¹⁵ као најзаступљенија, у највећој мери обухвата суштину концепта животног циклуса и поступке спровођења LCA студије према ISO 14040 [Atilgan & Azapagic, 2015], [Haselbach & Langfitt, 2015].

У софтверској апликацији GaBi израчунавање потенцијала еколошког утицаја, обавља се у оквиру пројекта који садржи план који обухвата сваки производ појединачно или компоненту производа ако се ради о сложеним системима [PE International, 2009], [Van Duinen, 2009]. У једном пројекту може бити више планова. У оквиру плана дефинишу се појмови процеса и токова. Преведено у принципе LCA под планом се могу подразумевати границе система, а процеси су заправо активности везане за производ (производња, транспорт и др.). Токови су улазне и излазне величине система повезане са планом (односно границама система). Листа токова, односно улазних и излазних вредности заправо је инвентар животног циклуса (LCI) .

Даљом анализом методолошког приступа софтверске апликације GaBi уочава се подела у оквиру токова. Сви улазни токови у систем производа који потичу из животне средину (нпр. енергетске сировине) или излазе из система у животну средину (попут емисије CO₂) називају се елементарним токовима [Van Duinen, 2009], [PE International, 2009].

Софтверска апликација GaBi садржи податке о највећем броју токова [PE International, 2009]. Подаци садрже све релевантне информације од карактеризације према маси, енергетским вредностима, па чак и информације о трошковима за потребе студије LCC коју GaBi подржава. На основу информација о токовима врши се класификација и карактеризација утицајних фактора према правилима методе за процену утицаја LCI коју корисник изабере. GaBi обрађују методе проблемно оријентисане методе CML, TRACI, EDIP и штетно оријентисане методе EcoIndicator, Ecoinvent и др.

¹⁵ GaBi скраћено од немачког „Ganzheitliche Bilanzierung“ – холистичко билансирање

4.3. Утицајне категорије и методе процене утицаја

4.3.1. Категорије утицаја на животну средину

Са становишта концепта животног циклуса категорије утицај на животну средину представљају научно дефинисање које супстанце доприносе ком еколошком проблему. У том циљу дефинишу се индикатори којима се исказује еколошки потенцијал одређене утицајне категорије, мери стопа одрживог развоја или врши еколошко означавање.

Утицајне категорије могу се разврстати на више начина. Према начину утицаја односно размени материје, просторног и временског оквира [Vezzoli & Manzini, 2008]. Према начину утицаја дели се на:

- Емисије супстанце (ослобађање супстанце у животну средину)
- Екстракцију супстанце (потрошња ресурса из животне средине)

Према просторном и временском оквиру, дели се на:

- Просторни (у зависности од географске амплитуде)
 - Локални ниво (када се ефекти јављају у непосредној близини производних система, као разарање земљишта, депоније);
 - Регионални ниво (када се ефекти шире преко одређеног географског или територијалног подручја, попут загађење међународних водених токова и сл.)
 - Глобални ниво (Пример су климатске промене)
- Временски (у зависности од трајности и дужине настанка последице)
 - Краткорочно
 - Средњерочно
 - Дугорочно

Категорије загађења које настају услед емитовања супстанце у животну средину, неизоставно се разматрају и део су процеса категоризације утицаја на животну средину код већине LCA студија [Heijungs et al., 1992], [Bare et al., 2003], [Stranddorf et al., 2005], [Vezzoli & Manzini, 2008], [PE International,

2009]. У те категорије утицаја најчешће су убрајају следеће: глобално загревање, осиромашење озонског омотача, смог, ацидификација, еутрофикација, те утицаји категорије еколошке токсичности по људе, земљиште и воде. У наставку су презентове најзаступљеније категорије утицаја и препоруке за њихово израчунавање.

4.3.1.1. Глобално загревање

Без обзира што је општа заинтересованост за питање глобалног загревања кроз јавну расправу произвела и одређен број тумачења којима се исказује контроверзан став да се глобално загревање заправо и не дешава, ипак можемо сматрати да је предметна појава научно доказана и верификована [Hartmann et al., 2013], [Cook et al., 2013], [Oreskes, 2004] те у домену дискурса ове дисертације биће аксиомски прихваћена.

Глобално загревање (често изједначено или повезивано са климатским променама) представља глобално прихваћен синоним за појаву ученог повећања просечне температуре Земљиног климатског система у периоду од једног века. Глобално загревање подразумева повећање температуре не само атмосфере, већ и Земљине површине укључујући и водене површине. Механизам глобалног загревања доминантно долази од промена у атмосферској структури те се сматра да је исти последица повећања концентracије гасова стаклене баште [IPCC, 1996].

Са становишта концепта животног циклуса и методе LCA, глобално загревање представља категорију утицаја на животну средину која се готово обавезно израчунава при свакој студији [Heijungs et al., 1992], [Bare et al., 2003]. Ова категорија исказује се као „потенцијал глобалног загревања“¹⁶, са јединицом мере: угљен-диоксид еквивалента (CO₂-eq.). Обзиром на временски период задржавања гасова у атмосфери, ефекту се приписује временски оквир који је неопходно одредити. Код GWP то је најчешће период од 100 година.

¹⁶ Потенцијал глобалног загревања означава се са: GWP (Global Warming potential)

Поступак за начин израчунавања GWP, дат је у препорукама „Оквир конвенције о климатским промена УН-а“ (UNFCCC, 2003), „Међународног панела за климатске промене“ [IPCC, 1996], те исти се користи и код најзаступљенијих метода процене утицаја CML и TRACI [Heijungs et al., 1992], [Bare et al., 2003]. GWP представља поједностављени индикатор својства одређених супстанци да емитују зрачење које утиче на климатске промене. Заснива се на бројним факторима, попут ефикасности зрачења одређене гаса, односно супстанце (способности да апсорбује инфрацрвено зрачење) и времена распада у релативном односу на угљен-диоксид.

Израчунавање GWP према [IPCC, 1996] презентовано је једначином 4.1.

$$GWP(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x \times [x(t)] dt}{\int_0^{TH} a_r \times [r(t)] dt} \quad (4.1)$$

Где је:

TH - Временски период за који се израчунавање односи;

a_x - Ефикасност зрачења гаса, повезана са повећањем присутности гаса у атмосфери исказана у јединици [$Wm^{-2} kg^{-1}$];

$x(t)$ - Време распада гаса, повезано са смањењем присутности у атмосфери, где је за вредност $t=0$ усвојен тренутно испуштање у атмосферу;

Величине у имениоцу се односе на гас који изабран као референтан, а у овом утицају то је CO_2 :

a_r - Ефикасност зрачења CO_2 ;

$r(t)$ - Време распада CO_2 , повезано са смањењем присутности у атмосфери, где је за вредност $t=0$ усвојен тренутан распад.

4.3.1.2. Ацидификација

Ацидификација, односно закисељавање¹⁷ представља прекомерно повећање степен киселости ваздуха, земљишта или воде. Према [OECD, ?] дата је дефиниција ацидификације као агрегатне величине појединих супстанци да искажу потенцијал ацидификације, који се израчунава преко фактора сумпора-диоксида (SO₂), азота (N) и амонијака (NH₃) у еквивалентима водоникових јона (H⁺).

Ацидификација је еколошки неповољна појава у којој се гасови веће киселости емитовани у атмосферу кроз реакцију са алкалним једињењима враћају на земљу у облику падавина (киселе кише) чиме повећавају степен киселости земљишта и воде. Са становишта повезаности са лучким активностима иста се може наћи у емисијама издувних гасова дизел агрегата, посебно када користе гориво с високом концентracијом сумпора.

Са позиције концепта студије LCA, потенцијал ацидификације са исказује у сумпор-диоксид еквиваленту (SO₂-eq.) или хидрон еквиваленту (H⁺ eq.). Најзаступљенија једначина (4.2) по којој се израчунава потенцијал ацидификације [Heijungs et al., 1992] је следећа:

$$AP_i = \frac{\frac{V_i}{M_i}}{M_{SO_2}} \quad (4.2)$$

Где је:

V_i - Потенцијал ацидификације једињења i

M_i - Јединица масе једињења i

V_{SO_2} - Потенцијал ацидификације референтог једињења (SO₂)

M_{SO_2} - Јединица масе референтног једињења (SO₂)

¹⁷ Превод феномена ацидификације није успостављен, али на основу литературе из области пољопривреде јавља се појам закисељавања земљишта, који подразумева иста својства као и ефекат ацидификације земљишта. У осталим језицима словенског порекла (руски, украјински, пољски), за ефекат ацидификације користе се изрази слични закисељавању.

4.3.1.3. Еутрофикација

Еутрофикација представља повећање концентрације минерално богатих материја у еко-систему до нивоа вишег природно успостављеног. Настаје када фосфати (PO_4), соли или фосфорне киселине, азотни оксиди и соли азотне киселине, амонијази (NH_3), азот оксид (N_2O), и гасовити азоти (N_2) емитовани у животну средину доводе до хиперфертилизације. Овим процесима подложне су споре воде, где је релативна брзина размене воде ниска и знатно олакшава акумулацију супстанци еутрофикације. Иако се фосфорна једињења сматрају као најважнија супстанца која доприноси еутрофикацији *EPA* сматра да утицај азота је доминантан код еутрофикације приобалних морских површина (*EPA*, 2008, Ecological Society of America 2000). Потенцијал еутрофикације се означава са EP , а исказује у PO_4 -eq. Према [Heijungs et al., 1992] израчунава се једначином:

$$EP_i = \frac{\frac{\gamma_i}{M_i}}{\frac{\gamma_{PO_4^{3-}}}{M_{PO_4^{3-}}}} \quad (4.3)$$

Где је:

γ_i - Стехиометријски коефицијент референтног једињења [PO_4^{3-}] или упоредне супстанце;

M_i - Молекуларна маса референтног једињења [PO_4^{3-}] или упоредне супстанце;

4.3.1.4. Смог

Смог¹⁸ представља ваздушно загађење услед емитовања продуката сагоревања фосилних горива. Према начину настајања дели се на зимски смог (кисели смог) и летњи (фотохемијски) смог.

Зимски смог јавља се током зимских периода као последица емисије издувних гасова возила и грејања у домаћинствима (углавном на чврста горива или мазут) када долази до стварања високе концентрације честица

¹⁸ Етимолошки представља комбинацију енглеских израза за дим и маглу (smoke & fog)

чађи и сумпор-диоксида (SO_2) у ваздуху. Сматра се да је зимски смог изузетно неповољан по здравље људи [Pore et al., 2002].

Летњи или фотохемијски смог настаје у летњем и сунчаном периоду када угљоводоници (C_xH_y) и азотни-оксиди (NO_x) под утицајем фотолизе реагују са азот-субоксидом (N_2O) стварајући високе концентрације озона O_3 , угљен-моноксида (CO) и испарљивих органских једињења¹⁹ у атмосфери. Летњи смог је штетан по здравље људи, има негативне ефекте на флору и фауну и изазива озбиљна оштећења усева и плодова. Нека испарљива органска једињења (нпр. алдехиди) иритирају дисање, док друга могу бити токсична за биљке.

У студијама LCA углавном се обрађује потенцијал за стварање летњег фотохемијског смога у облику „потенцијала за стварање фотохемијског озона“²⁰. Према [Heijungs et al., 1992] ПОСР се израчунава једначином:

$$POCP_i = \frac{\frac{a_i}{b_i(t)}}{\frac{a_{C_2H_4}}{b_{C_2H_4}(t)}} \quad (4.4)$$

Где је:

a_i - Промена концентрације озона услед емисије VOC

$b_i(t)$ - Укупна емисија VOC у функцији времена (t)

$a_{C_2H_4}$ - Промена концентрације озона услед емисије етилена

$b_{C_2H_4}(t)$ - Укупна емисија етилена у функцији времена (t)

¹⁹ Испарљива органска једињења, најчешће: алдехиди, кетони, угљоводоници, итд. У литератури углавном скраћено VOC (Volatile organic compounds).

²⁰ Потенцијал за стварање фотохемијског озона, скраћено: ПОСР (Photochemical Ozone Creation Potential)

4.3.1.5. Осиромашење озонског омотача

Озонски омотач сачињен од озона O_3 налази се у стратосфери (на висини од 15 до 50 од Земљине површине) формиран је од и од суштинског је значаја за живот на земљи. Представља заштиту од ултраљубичастог зрачења, јер омогућава да само мали удео истог допире до земљине површине. Процес осиромашења (уништавања) озонског омотача изазван је антропогеним емисијама флуорисаниугљоводоника CFC, HCFC и азотних-оксида NO_x . Осиромашење озонског омотача доводи до повећања температуре Земље и повећане изложености људи, флоре и фауне ултраљубичастим зрачењима.

Потенцијал осиромашења озонског омотача који се користи у LCA студијама и еколошким истраживањима означава се са ODP (Ozone Depletion Potential), а референтно једињење је угљеникомтрифлорметан (CCl_3F) или еквивалентне ознаке (CFC-11). Потенцијал осиромашења озонског омотача израчунава се по формули [Heijungs et al., 1992]:

$$ODP_i = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{CFC-11}} \quad (4.5)$$

Где је:

$\delta[O_3]_i$ - Осиромашење озонског омотача изазвано јединицом гаса (i)

$\delta[O_3]_{CFC-11}$ - Осиромашење озонског омотача изазвано јединицом гаса CFC-11

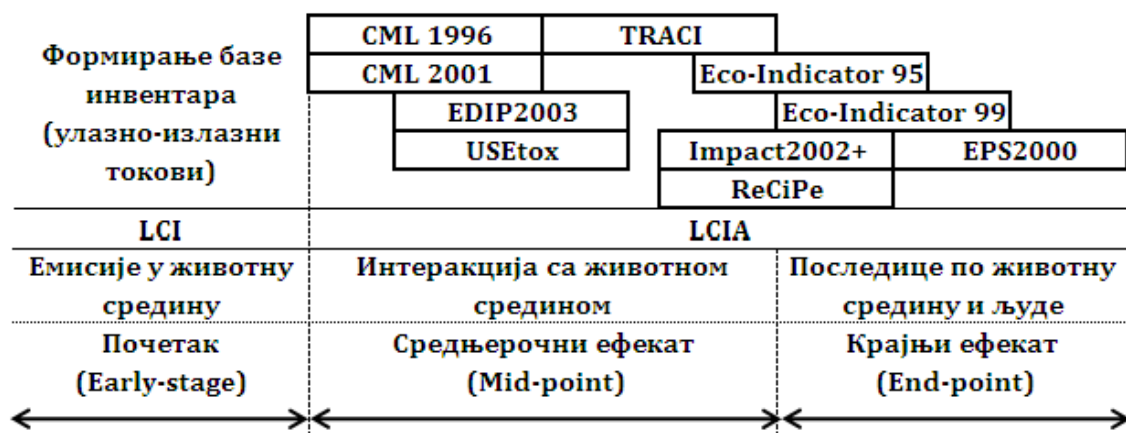
4.3.2. Методе процене утицаја животног циклуса

С обзиром на чињеницу да се метода процене утицаја у одређеном периоду пре међународне стандардизације LCA могла се посматрати као самостална метода, она је тако и развијана. Преко LCIA метода могу се уочити и разлике између метода које се примењују у САД и Европи. Одређивање, тј. процењивање утицаја на животну средину одређеног једињења/процеса дозвољава одступања у дефинисању значаја, према географском, друштвеном, економском или другом критеријуму. Из тог разлога постоји

велики број метода које се континуирано истражују и развијају од стране научних група на основу различитих захтева и циљева.

Сврха метода за процену утицаја животног циклуса је да квантификује и класификује податке из базе инвентара у неког од категорија утицаја, које су у претходном поглављу описане. У следећој итерацији метода за процену утицаја животног циклуса одређује какав је средњерочни утицај на животну средину (проблемно оријентисане методе) или коначан утицај (штетно оријентисане методе). Сагласно наведеном, подела методе процене утицаја је следећа:

- Проблемно оријентисане методе (средњорочно одређење утицаја)
- Штетно оријентисане методе (коначно одређење утицаја)



Слика 4.6. Преглед метода LCIA у зависности од оријентације

4.3.2.1. Методе CML и TRACI

Две најзаступљеније проблемски оријентисане методе за процену утицаја су CML и TRACI. Прва метода развијена од стране Института за еколошке науке Универзитета Лајден из Холандије јесте најзаступљенија метода и сматра се најкомплентијом проблемски оријентисаном метода [Heijungs et al., 1992]. Иста је интегрисана у све значајније софтверске алате за спровођење LCA студије. Утицајни фактори изведени су углавном на основу база података из Европе.

Табела 4.2. Упоредни приказ категорија утицаја према CML и TRACI методи

CML			TRACI		
Назив	Превод	Ознака Јединица	Назив	Превод	Ознака Јединица
Global Warming Potential	Потенцијал глобалног загревања	GWP [kg CO ₂ eq.]	Global Warming Air	Глобално загревање ваздуха	GWP [kg CO ₂ eq.]
Acidification Potential	Потенцијал ацидификације	AP [kg SO ₂ eq.]	Acidification Air	Ацидификација ваздуха	AP [mol H ⁺ eq.]
Eutrophication Potential	Потенцијал еутрофикације	EP [kg PO ₄ eq.]	Eutrophication Air/Water	Еутрофикација ваздуха или воде	EP [N eq.]
Ozon Depletion Potential	Потенцијал осиромашења озонског омотача	ODP [kg R11eq.]	Ozon Depletion Air	Осиромашења озонског омотача	ODP [kg CFC11eq.]
Photochemical Ozon Creation Potential	Потенцијал за стварање фотохемијског озона	POCP [kg Eth.-eq.]	Smog Air	Смог (зимски)	[kg NO _x eq.]
Human Toxicity Potential	Потенцијал токсичности за људе	HTP* [kg DCB eq.]	Human health cancer Air/Water	Утицај на здравље људи (канцерогене материје)	[kg C ₆ H ₆]*
Terrestrial Ecotoxicity Potential	Потенцијал копнене токсичности	TETP [kg DCB eq.]	Ecotoxicity Air	Еколошке токсичности у ваздуху	[kg C ₆ H ₆]*
Fresh Aquatic Ecotoxicity Potential	Потенцијал токсичности за воде	FAETP [kg DCB eq.]	Ecotoxicity Water	Еколошке токсичност у води	[kg 2,4-D eq.]*
Marine Aquatic Ecotoxicity Potential	Потенцијал токсичности за морске воде	MAETP [kg DCB eq.]	Ecotoxicity Water	Еколошке токсичност у морској води	[kg 2,4-D eq.]*
Abiotic Depletion Potential	Потенцијал абиотичког осиромашења	ADP [kg Sb eq.]	Human health criteria Air	Критеријум за здравље људи	[kg 2,4-D eq.]

*DCB – Дихлорбензен; C₆H₆ – Бензен; 2,4-D 2,4-Дихлорофеноксисирћетна киселина (C₈H₆Cl₂O₃)

Методолошки приступ CML методе подразумева да се индикатори утицајних категорија изводе са што мање нумеричких итерација у односу на изворне податке из базе инвентара, те се потенцијал стаклене баште и оштећење озона израчунава према IPCC факторима [Heijungs et al., 1992].

Друга проблемно оријентисана метода, TRACI најзаступљенија је на Северно америчком континенту. Ова метода развијена је од стране Америчке агенције за заштиту животне средине US EPA, те се користе подаци углавном од извора из САД. Сматра се мање свеобухватном у односу на CML методу и

подразумева нешто другачије јединице мере за поједине утицајне категорије у односу на CML методу, што је приказано на табели 4.2. Такође, за разлику од CML методе за потенцијале ацидификације и еутрофикације даје обрачун еколошких ефеката за ваздух и воде одвојено.

4.3.2.2. Метода Eco-indicator

Метода Eco-indicator је штетно оријентисана методу за утврђивање еколошког утицаја животног циклуса, првобитно развијана као експериментална метода, први пут се појављује 1995. године. У садашњем облику формулисана је 1999. године и подразумева пондерисање утицаја ради разврставања у три категорије [Goedkoop & Spriensma, 2000]:

- Штетни ефекти у односу на природне ресурсе
- Штетни ефекти у односу на квалитет екосистема;
- Штетни ефекту у односу на здравље људи;

Ова метода подразумева другачији приступ вредновању еколошког утицаја. Наиме, уместо процене више утицајних категорија (попут глобалног загревања, ацидификације) циљ методе је да идентификује и пондерише последице наведених утицајних категорија. Нови методолошки приступ користи и друге јединице мере утицаја, те се осим MJ као јединице мере за губитак природних ресурса, уводи и следеће изведене јединице мере:

-За штетне ефекте на квалитет екосистема јединица мере је $PDFx(m^2)x(a)$. Ова мера представља „потенцијал нестанка фракције” неке врсте (PDF - Potentially Disappeared Fraction) на површини од m^2 у току периода од једне године (annual).

-За штетне ефекте у односу на здравље људи јединица мере је **DALY**. Ова јединица мере DALY²¹ представља број изгубљених година живота по становнику, било због смрти или нарушеног квалитета живота (или инвалидности) услед болести. Предложени концепт DALY је утврђен од стране Светске здравствене организације [Goedkoop et al., 2000].

²¹ DALY (Disability-Adjusted Life Years); DALY = YLD + YLL; DALY представља збир фактора година проживљених с инвалидитетом и изгубљених година живота.

4.4. Метода „what if“ и анализа осетљивости

4.4.1. Метода „what if“

Метода „What if“ најчешће се примењује за симулирање понашања циљно оријентисаних система, претпоставки одређених подухвата који јесу најчешће економски и пословни. У инжењерској пракси иста је слабије заступљена, мада се користи за испитивање сценарија опасности (од пожара, експлозија и др.) и управљање ризицима хаварија и отказа система. Може се сматрати и начином за симулирање резултата различитих сценарија на (суштински) различит начин од анализе осетљивости.

Метода подразумева интензивно симулирање података ради испитивања понашања комплексних система под утицајем одређених хипотеза, тј. сценарија [Golfarelli et al., 2006]. За њено спровођење користе се софтверски алати, који углавном омогућавају следеће:

- Интерактивно ажурирање података
- Даје могућност кориснику да одреди важност претпоставке и посматра понашање система у зависности од изабраног сценарија
- Пружа подршку при дефинисању модела
- Пружа подршку при дефинисању хипотетичког сценарија модела
- Пружа подршку статистичком приступу оцењивања поузданости дефинисаних претпоставки.

Рачунарска подршка за спровођење „what if“ је све заступљенија, па и у основном облику доступна већ у широко заступљеном софтверском програму за рад са табелама „MS Excel“. У овом програму пружа се подршка обради и поређењу резултата изабраних сценарија. Поузданост методе као и код осталих метода зависи од поузданости података којима се располаже, али како је у питању статистичко-нумеричка метода, провера квалитета података није у домену саме методе.

4.4.1. Анализа осетљивости

Позиција анализе осетљивости у предметном истраживању није централна, већ је иста одређена као корективна метода провере добијених резултат и потврда истих кроз упоређење са референтним вредностима.

Анализа осетљивости представља студију у којој се непоузданост резултата добијених из математичког модела или система повезује са утврђеним непоузданостима улазних података или претпоставки [Saltelli et al., 2008]. Користи се за проверу поузданости резултата, корективну подршку унапређења моделираног система, претрагу недостатака или грешака у систему или моделу, или поједностављење структуре система или модела.

Може бити од користи и код процеса доношења одлука, тј. расуђивања и одлучивања. Такође, користи се и као алата за статистичко утврђивање граничних вредности система или модела, оптимизацију и фино подешавање - калибрацију.

Чињеница да анализа осетљивости разматра резултате, указује на њену корективну сврху, на основу чега се суштински одређује разлика са методом симулирања сценарија - „what if“ методом.

5. ПРОЦЕНА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

У овом поглављу представљено је спровођење LCA студије за изабране машине логистичког пара за манипулацију с контејнерима на лучком-контејнерском терминалу. За истраживање одређен је најзаступљенији логистички пар на контејнерском терминалу, РТГ дизалица и терминалски трактор. Конвенционални модели изабраног логистичког пара упоређени су са еколошким ефикасним алтернативима, међу којима су и примери машина нулте емисије. На тај начин, одређен је карактер студије, те је она компаративна LCA студија. Истраживање је спроведено коришћењем софтверског алата GaBi 4.0 произвођача PE International уз поштовање правила серије стандарда ISO 14040 и ISO 14044.

5.1. Циљ и област дефинисаности

Приликом дефинисања циља студије, прво је неопходно образложити примену, сврху, циљну групу и примену компаративне анализе студије LCA. У спроведеној студији LCA примена је искључиво научна (академска). Циљ истраживања је утврђивање утицаја фаза животног циклуса логистичког пара РТГ дизалице и терминалског трактора на животну средину, потрошњу енергије и ресурса.

Полази се од **претпоставке** да модели машина које су промовисане као еколошке или машине нулте емисије, или се априори сматрају као такви не могу бити подразумеване као еколошки ефикасне без спроведене LCA студије, која би те квалификације верификовала. Наиме, приликом промене система погона са мотора СУС на електричне системе погона, неопходно је узети у обзир и производњу електричне енергије. С друге стране, ако су еколошки ефекти у фази производње еколошких или машина нулте емисије изразито неповољни, намеће се питање да ли су потенцијално позитивни еколошки ефекти у осталим фазама довољни да компензују почетне еколошке недостатке новог технолошког решења.

Сврха студије није јавно објављивање резултата (осим у делу обавезног излагања дисертације јавности), еколошко сертификавање, означавања или индустријска примера налаза студије. Јавно објављивање студије LCA [ISO 14040, 2006] подразумевало би и обавезе аутора према произвођачу софтверског алата и проширења у области дефинисаности чиме би економска захтевност студије многоструко превазишла могућности академског истраживања. Како не постоји економски наручилац истраживања престаје обавеза експерименталног мерења ради верификације добијених резултата, те критички преглед није неопходан [ISO 14044, 2006].

Настављајући на претходно и одређење **циљне групе** се захтева због дефинисања прецизности података. У случају да је сврха еколошко сертификавање или означавање производа, захтев за квалитетом због заштите потрошача је висока. Овде циљна група произилази из сврхе која је искључиво академска, те је она научна и академска јавност и заинтересовани за еколошка питања лучко-контејнерске тематике.

Компаративна анализа LCA студије извршена је у делу упоређења резултата добијених из софтверског алата за компоненте машина логистичког пара са резултатима других истраживача, односно доступне литературе коју је могуће користити за компоненте које улазе у састав изабраних машина логистичког пара. Компоненте погона логистичког пара, попут мотора с унутрашњим сагоревањем, упоређене су са резултатима студија које су спроводили произвођачи из аутомобилске индустрије [Schweimer & Levin, 2006], [Renault, 2011], [Liu et al., 2013]. Како је употреба анализе интерног карактера, критички преглед и компаративна анализе нису неопходни.

Област дефинисаности може се сматрати значајнијим делом LCA студије и њено одређење може утицати на ток истраживања. Приликом дефинисања циља студије, образлаже се функција производа, функционална јединица, дефинише се референтни ток, границе система и описује категоризација и селекција података. Из тог разлога област дефинисаности обрађена је детаљно у делу „5.2. Претпоставке LCA студије“.

5.2. Претпоставке LCA студије

Обзиром на значај области дефинисаности и повезаности са претпоставкама чије је формирање неизоставно код LCA студија сложених система овај део обрађен је посебно. Приликом усвајања претпоставки такође су поштована правила ISO 14040 у делу који подразумева да су исте изведене и изабране што транспарентније. Као интегрални део области дефинисаности претпоставке подразумевају и следеће:

- Избор модела логистичког пара (РТГ дизалице и терминалског трактора) који су предмет LCA студије
- **Границе система** логистичког пара
- **Временски и просторни** оквир животног циклуса логистичког пара
- Процес производње и монтаже и **'Cut-off'** критеријуме
- Претпоставке везане за дизел гориво и електричну енергију
- **Функционалну јединицу** логистичког пара
 - Функција РТГ дизалице и терминалског трактора
 - Функционална јединица
 - Радни циклуси
 - Рефернти токове енергије и материјала
- Процес рециклирања и одлагања

5.2.1 Избор модела логистичког пара

Уважавајући чињеницу и принцип методологије LCA која најчешће подразумева рад са моделима, поједностављење реалног света је уобичајено. Из тог разлога циљ није и не може бити обрађивање еколошке интеракције у апсолутном и непогрешивом смислу. Обзиром на рад са моделима, квалитет саме студије биће одређен и квалитетом дефинисања модела објекта истраживања и степеном детаљности (подробност, исцрпност излагања).

У поступку дефинисања модела који ће бити испитан LCA студијом усвојени су одређени критеријуми који су у извесним захтевима и строжи од оних

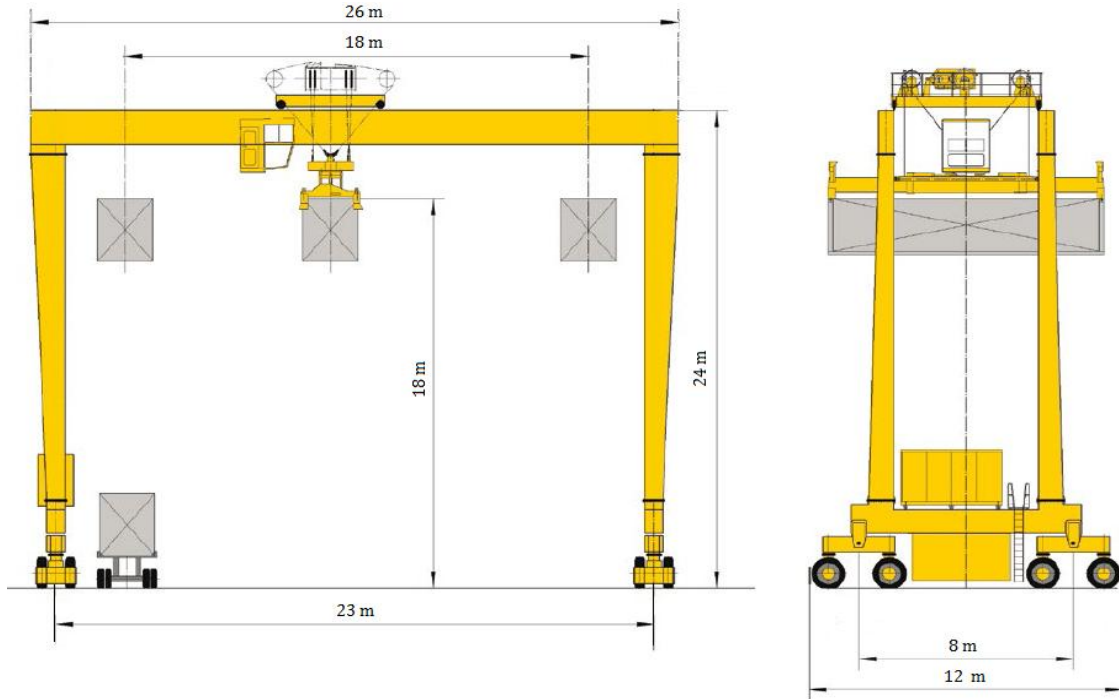
дефинисаних међународном серијом ISO 14040 стандарда. Интерни критеријуми спроведене LCA студије са циљем за извођење закључака за потребе предметне дисертацију су следећи:

- Усвојени модели објекта студије морају бити суштински идентични или врло слични типу машине која постоји у реалној експлоатацији, до границе прихватљиве са стране заштите ауторских права и интелектуалне својине произвођача машина које су коришћене за формирање модела;
- Радни циклуси усвојених модела објекта студије обављају се у моделираном окружењу по угледу на контејнерски терминал из реалног света, до границе прихватљиве са стране заштите поверљивости података и интелектуалне својине;

Приликом усвајања модела машина за LCA студију, изабране су машине које су у највећем проценту заступљене на готово свим контејнерским терминалима на свету. У последње две декаде, инвентар возила на контејнерском терминалу неизоставно укључује терминалски тракторе, док је РТГ дизалица заступљена у преко 90% случајева [Böse, 2011], [Brinkmann, 2011], [Pavlič, et al., 2014], [Sariña et al., 2014]. Ниједна од две набројане машине није у могућности да се користи у целости аутономно, те приликом планирања рада терминала оне представљају логистички пар. Из тог разлога истраживање је обављено за обе машине.

5.2.2 Модел РТГ дизалице

Усваја се модел конвенционалне контејнерске РТГ дизалице носивости 40 тона из које се изводе још два модела РТГ дизалице: хибридна електро-дизел РТГ дизалица и електрична РТГ дизалица (Е-РТГ дизалица). Основни модел из кога су изведене модерне алтернативе, представља конвенционална РТГ дизалица чије карактеристике одговарају типовима дизалица уведених у експлоатацију у периоду до 2005. године.



Слика 5.1. Модел РТГ дизалице

Табела 5.1. Карактеристике РТГ дизалица

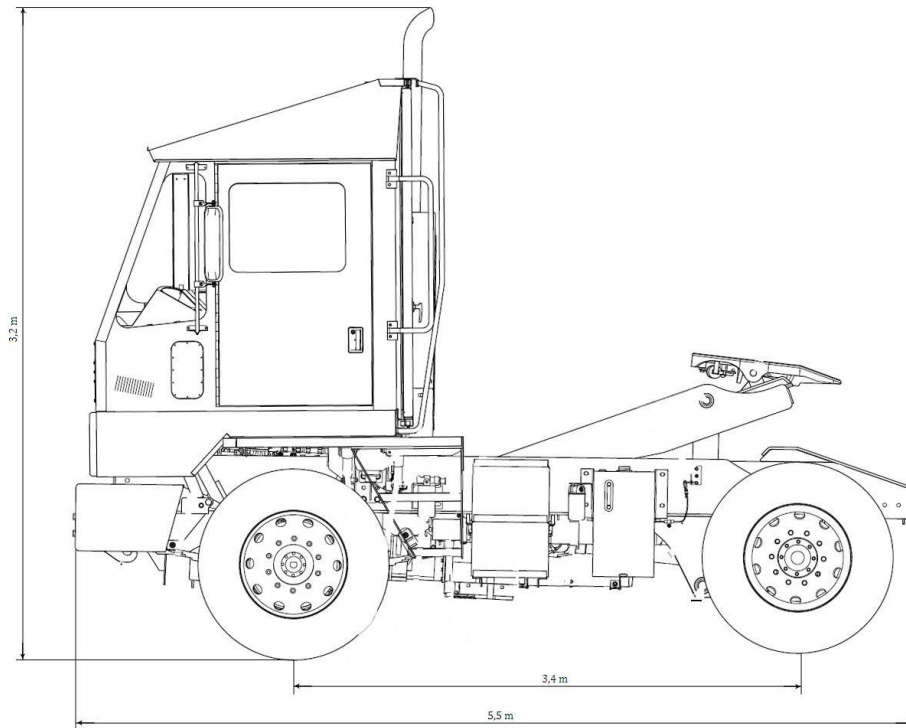
Опис карактеристика	Хибридна РТГ		
	РТГ дизалица	дизалица	Е-РТГ дизалица
Висина	24 m	24 m	24 m
Ширина	26 m	26 m	26 m
Дужина	12 m	12 m	12 m
Траг точкова	23 m	23 m	23 m
Маса дизалице		130.000 kg	
Висина дизања испод спредера	18 m	18 m	18 m
Ширина између портала	22 m	22 m	22 m
Распон портала	25 m	25 m	25 m
Распон осовина	8 m	8 m	8 m
Распон кретања колица	18 m	18 m	18 m
Број контејнера испод спредера	5+1	5+1	5+1
Број контејнера између портала	6+1	6+1	6+1
Носивост		40.000 kg	
Максимално оптерећење по точку		17.000 kg	
Брзина дизања спредера	Оптерећен 30 m/min / Празан 60 m/min		
Брзина кретања дизалице	130 m/min		
Брзина кретања колица	70 m/min		
Врста погона	Дизел агрегат, генератор	Електромотор	
Радна запремина	15 l	12 l	Помоћни дизел 9 l
Снага мотора	480 kW	300 kW	650 kVA + 180 kW
Запремина резервоара за гориво	1250 l	1000 l	250 l
Капацитет ултракондензатора	-	1.5 kWh	-

Усвојени основни модел РТГ дизалице има осам осовина и шеснаест тачкова с пнеуматицима. Код конвенционалне дизалице за енергетско снабдевање користи се дизел мотор радне запремине 15l и снаге 480 kW који служи као генератор електричне енергије. Претпоставка је да је за хибридную РТГ дизалицу уграђен агрегат мање радне запремине од 12l и снаге 300 kW, али и систем за рекуперацију енергије са ултракондезатором капацитета од 1.5 kWh. Код Е-РТГ дизалице електрична енергија се преноси са електромреже, а дизел агрегат се користи као помоћни извор енергије приликом премештања дизалице између контејнерски складишта или ремонта дизалице. Радна запремина помоћног дизел агрегата Е-РТГ дизалице је 9l, а снага 180 kW.

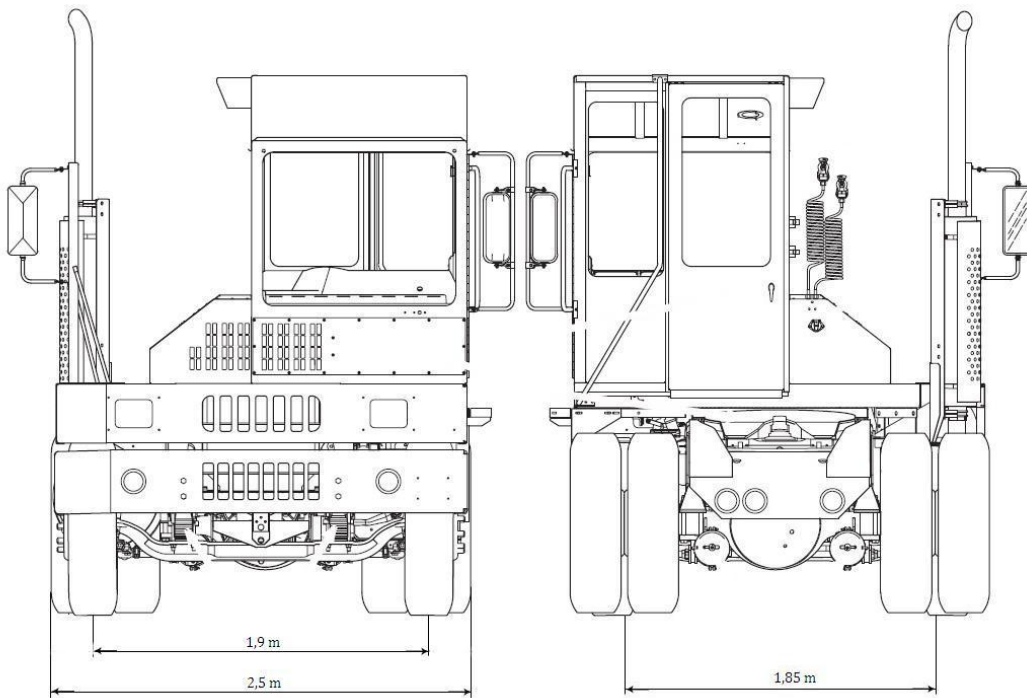
5.2.3. Модел терминалског трактора

Усваја се модел терминалских трактора из којег се изводе још три модела терминалског трактора. Еколошке алтернативе су хидраулично-хибридни трактор, електрично-хибридни трактор и електрични трактор. Основни модел из кога су изведене модерне алтернативе, представља терминалски трактор чије карактеристике одговарају типовима трактора који су у широј експлоатацији од 2005. године.

Иако је карактеристично да је међуосовински размак код електричних терминалских трактора већи од конвенционалних, ради поједностављења усвојена је идентична шасија и међуосовински размак за све моделе трактора. Конвенционални трактор, као и хибридне алтернативе погоњени су идентичним дизел моторима радне запремине 6,7 l и снаге 150 kW по угледу на моторе који се иначе уграђују у терминалске тракторе. Карактеристике усвојеног модела сличне су агрегатима Cummins серије ISB/QSB и Mercedes-Benz серије OM934/6. Код електричног трактора претпостављена је уградња литијумских батерија капацитета 200 kWh, а код хибридног електричног капацитет батерија је 5 kWh. За хидраулични хибридни трактор усвојена је уградња два резервоара (ниског и високог притиска) до 400 bar и хидрауличне пумпе снаге 150 kW у паралелној вези с трансмисијом.



Слика 5.2. Модел терминалског трактора (приказ бр.1)



Слика 5.3. Модел терминалског трактора (приказ бр.2)

Табела 5.2. Карактеристике терминалских трактора

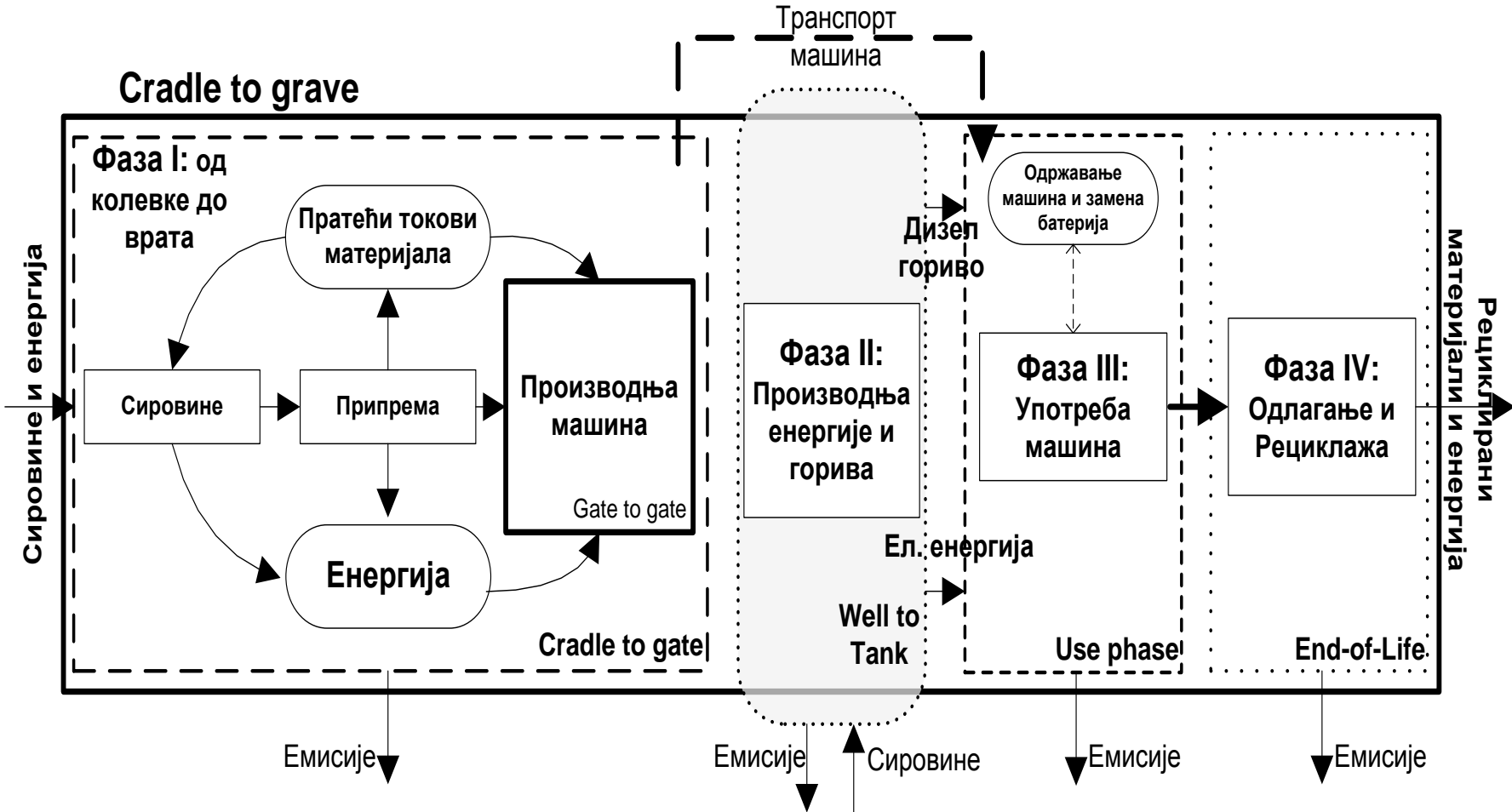
Опис карактеристика терминалног трактора	Терминални трактор	Хидраулични хибридни ТТ	Електрични хибридни ТТ	Електрични Т. Трактор
Дужина	5,5 m	5,5 m	5,5 m	5,5 m
Ширина	Димензија и маса	2,5 m	2,5 m	2,5 m
Висина		3,2 m	3,2 m	3,2 m
Међуосовински размак		3,4 m	3,4 m	3,4 m
Траг точкова		1,9 m (предњи) / 1,85 m (задњи)		
Маса трактора	7.000 kg	7.250 kg	7.500 kg	10.000 kg
Укупна маса скупа возила	72.000 kg	72.250 kg	72.500 kg	65.000 kg
Врста погона	Дизел	Дизел + пумпа	Дизел + Е. мотор	Електро-мотор
Радна запремина	6,7 l			
Број цилиндара дизел мотора	6			
Снага мотора	Погонска група	150 kW	150 kW	150 kW
Снага електромотора		-	-	80 kW
Снага хидрауличног система			150 kW	-
Обртни момент		800 Nm	800 Nm	800 Nm
Електронапон		-	-	150 V
Запремина резервоара за гориво		200 l		
Капацитет батерија (резервоара)	-	(400 bar)	5 kWh	200 kWh
Пренос снаге	Аутоматска трансмисија са претварачем обртног момента			
Максимална брзина	45 km/h			
Максимални успон	10%			
Осовинско оптерећење	предње 10.000 kg / задње 30.000 kg			
Дозвољена маса полуприколице	Перформансе	35.000 kg		34.000 kg
Вертикално оптерећење седла		32.000 kg		31.000 kg
Брзина пуњења батерија	-	-	-	4 h - 8 h

5.2.4. Границе система

Животни циклус изабраних модела логистичког пара дели се на четири фазе. На тај начин обухватају се све фазе животног циклуса и умањује поједностављење које код компаративних анализа може довести до непоузданости резултата и погрешних закључака. Наиме, најједноставнији поступак је извођење студије само за појединачне фазе. На пример, само испитивање фазе производње машина или фазе употребе. Код LCA студија где се узима у обзир цео животни циклус подела је најчешће на три фазе: фазу производње, употребе и одлагања.

Граница система животног циклус за претпостављене моделе машина логистичког пара приказана је на **слици 5.4.** и подељена је на следеће фазе:

- Фаза производње машина „од колевке до врата“ (Cradle-to-Gate)
- Фаза производње горива и електричне енергије „од извора до резервоара“ (Well-to-Tank)
- Фаза употребе и одржавања машина (Use phase)
- Фаза одлагања и рециклаже машина (End-of-Life)



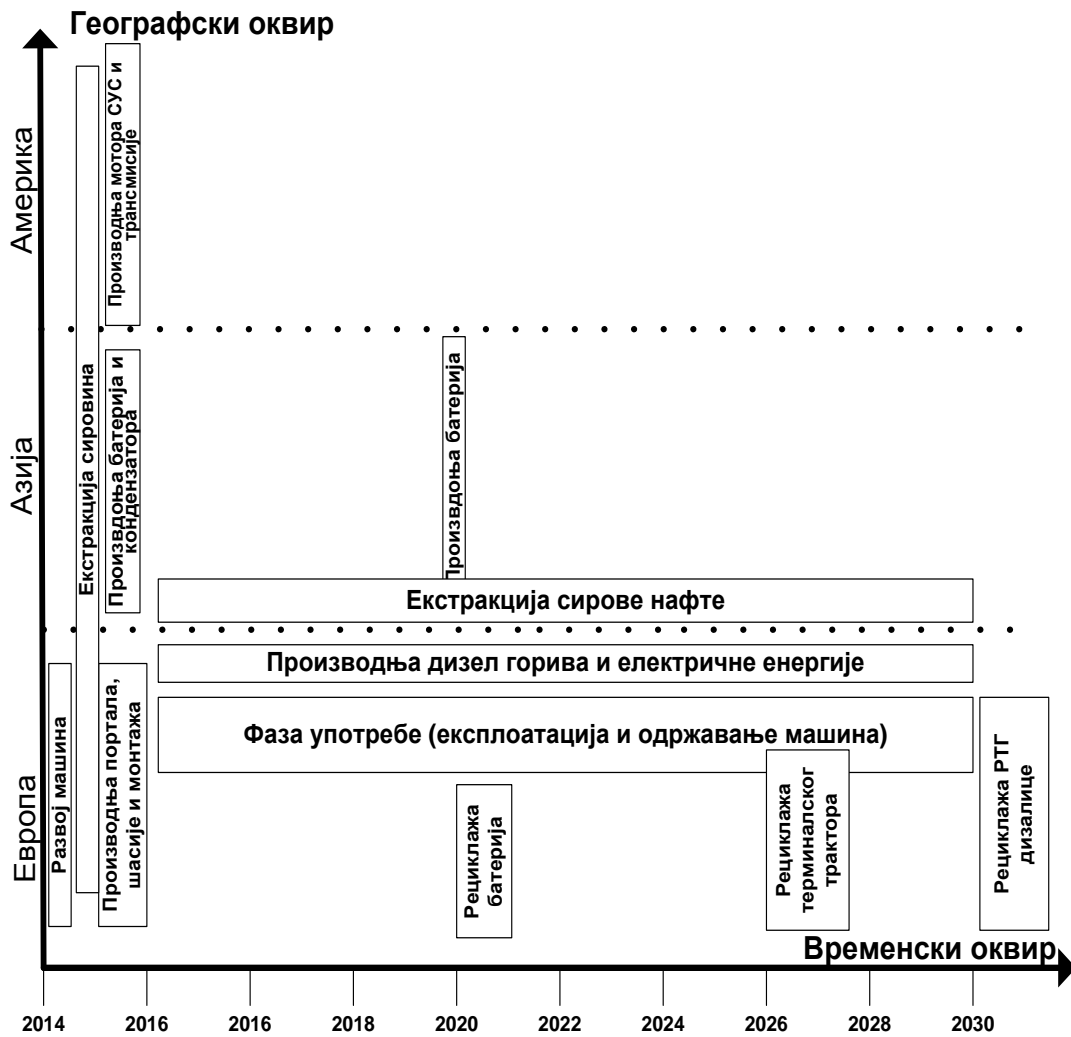
Слика 5.4. Границе система логистичког пара

5.2.5. Временски и географски оквир

Дефинисањем претпоставки везаних за време и простор заокружује се место и време животног циклуса изабраног модела логистичког пара. Исти је у корелацији са утицајима који произилазе из свих фаза: од производње, логистичког снабдевања, последицама експлоатације и одржавања, преко одлагања и рециклаже. У овом случају законодавни оквир није укључен у студију јер нису усвојене претпоставке које утичу на фазе животног циклуса. Ово је значајно јер ако је законом у некој држави за коју је изабрано место експлоатације машине обавезна замена компоненти после неког периода, то треба уврстити у LCA студију. На пример, ако је неопходна замена инсталације за гас на возилу сваких 5 година, а животног век возила траје 15 година.

Претпоставкама везаним за **географски оквир** усвојена је локација контејнерског терминала, као места коришћења машина логистичког пара. Усвојено је да се иста налази на обали Јадранског мора, у непосредној близини урбаног окружења с популацијом од 25.000 становника. Остали подаци везани за географски оквир представљају сублимацију места екстракције сировина, производње компонента и финалног склапање машина логистичког пара.

Технолошки контекст односи се на дефинисање технологије којој машине логистичког пара као модели припадају. Сагласно наведеном, производња основног модела је општеприхваћена и раније развијена технологија, док електрични и хибридни модели, представљају еколошке алтернативе које припадају новим технологијама (које су) у раној или средњој фази технолошког развоја.



Слика 5.5. Временски и географски оквир животног циклуса

Временским оквиром дефинише се генерација производње логистичког пара, дужина трајања производње, период производње горива и ел. енергије за фазу употребе машина, употреба и одржавање машина и крај животног циклуса. Из тог разлога временски контекст животног циклуса машина може бити дужи од радног века машине. Наиме, пре почетка производње постоји период технолошког развоја који може трајати неколико година. У пракси LCA није дефинисано као обавезно одређивање овог периода, али ако се спомиње временски контекст пожељно је да се овај период опише или евидентира [Renault, 2011].

5.2.6. Производња машина логистичког пара

Завршна монтажа машина усвојена је на локацији минималне удаљености од лучког-контејнерског терминала, односно обале Јадранског мора. Тачније, за РТГ дизалицу финална монтажа обавља се на самом лучком терминалу (пример као са слике 5.6). У стварној пракси, разуђеност произвођача РТГ дизалица и терминалских трактора је велика. Најчешће заступљени су произвођачи РТГ дизалица и терминалских трактора из САД, Кине и Европске уније²². Најзаступљенији произвођачи дизел-генератора за РТГ дизалице и дизел мотора за терминалске тракторе су из САД, те је усвојено да је произвођач дизел мотора из САД, а литијумских батерија из Кине.



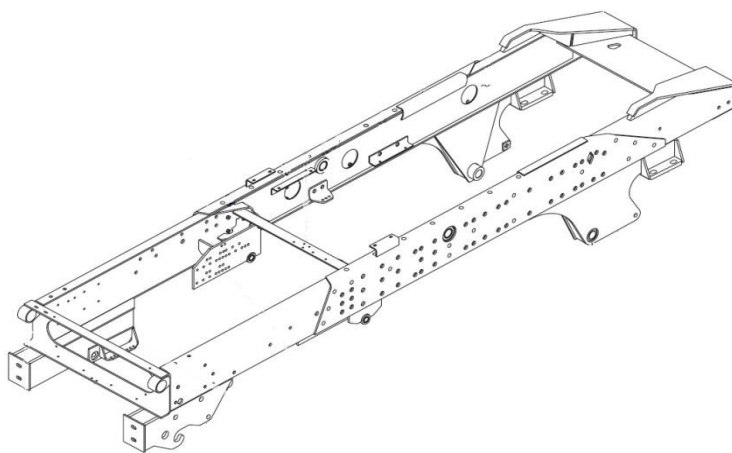
Слика 5.6. Пример процеса усправљања РТГ дизалице на терминалу

С обзиром да еколошки утицај транспорта компоненти РТГ дизалица од места производње до места монтаже је далеко мањи од „cutt-off“ критеријума, исти се може занемарити, те је само описан. Претпоставке у делу логистике производње подразумевају да све компоненте које се допремају из једне земље потичу од истог добављача. За компоненте из САД усвојено је да се допремају са источне обале, док превоз до места склапања је искључиво бродски, што важи и за компоненте које су од добављача из Кине (литијумске батерије).

²² Међу познатијим произвођачима РТГ дизалица су: Zhenhua Port Machinery Company-ZPMC (Кина), Cargotec, Kopescranes (Финска/САД) и Liebherr (Швајцарска/Немачка); Међу познатијим произвођачима терминалских трактора су: Kalmar Ottawa, Tico (САД), Terberg (Холандија), Sinotruk (Кина).

Претпоставке за сам процес производње компонената машина и њихова монтажа подразумеваја устаљену праксу произвођача и технолошки актуелне поступке. Код РТГ дизалице кључна компонента (посебно у погледу удела у укупној маси) јесте портал. Портал РТГ дизалице израђен је у складу са европским стандардом EN 341:2004 од сандучастих профила правоуганог попречног пресека. Ови профили формирану су заваривањем два челична вруће ваљана „U“ профила. Спредер је произведен према DIN 15018 H2B4:1984 стандарду од челика високе чврстоће. Симулирање процеса производње усаглашено је са израдом плана у софтверск апликације GaBi.

У производњи терминалског трактора основа је шасија направљена по моделу лестви од челичних шина хладно ваљаног „U“ профила. Према уобичајеној пракси производње радних и теретних машина шине шасије су са унапред избушеним отворима како би било омогућено качење осталих компоненти трактора. Дебљина челичних профила шасије износи $\sim 10\text{mm}$ и напона $\sim 350\text{ N/mm}^2$.

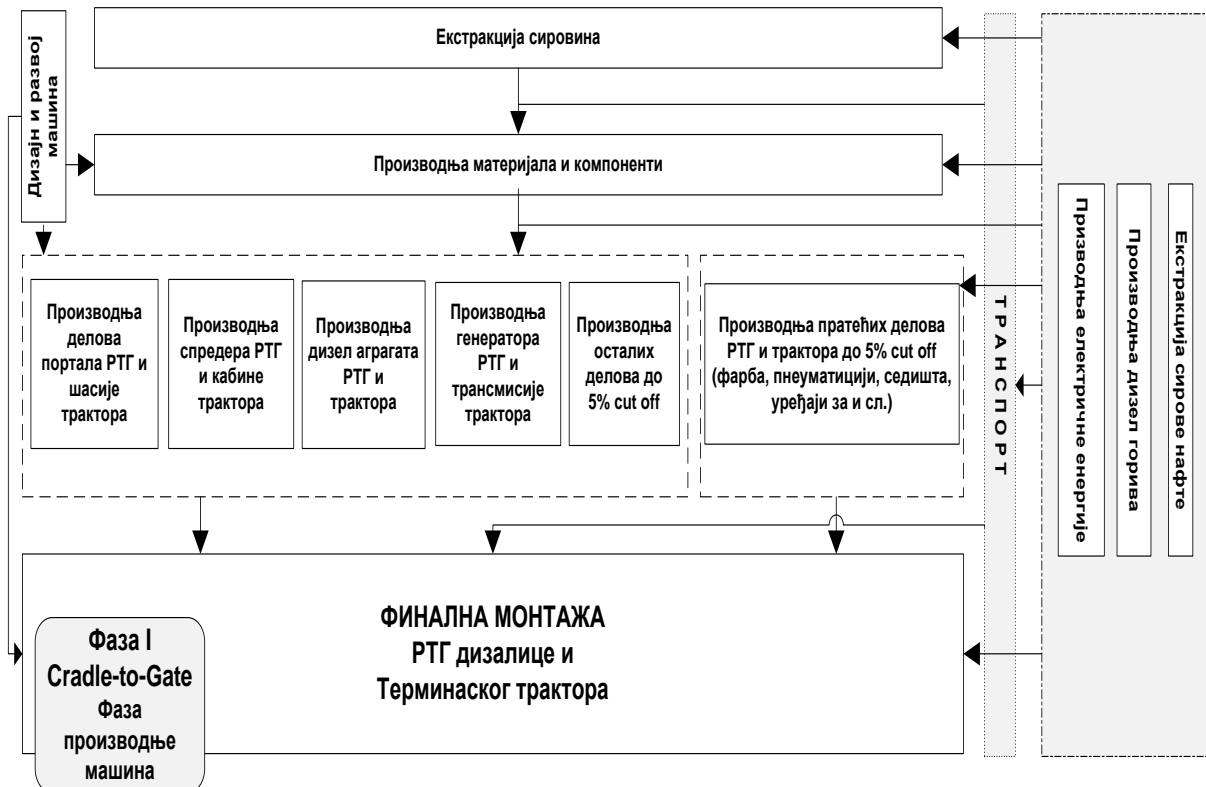


Слика 5.7. Скица шасије терминалског трактора

Остале компоненте, дизел-агрегати РТГ дизалице и терминалског трактора, преносни механизми, попут трансмисије са хидродинамичким претварачем обртног момента и системом планетарних зупчаника усвојене су према истраживањима и LCA студијама које су већ спроведене [Schweimer & Levin, 2006], [Renault, 2011], [Liu et al., 2013] и подацима доступним у бази инвентара апликације GaBi.

Због своје сложености, производња литијумских батерија, често се презентује одвојено. Из тог разлога и чињенице да би испитивање самог процеса производње батерија превазишло дискурс дисертације, усвојене су претпоставке на основу података из литературе [Zackrisson et al., 2010], [Maheu-Bettez et al., 2011], [Wang & Niu, 2015]. Претпоставке које се односе на литијумске батерије за потребе електричног и хибридног електричног трактора су следеће:

- Врста батерија – Литијум-железнофосфатне батерије **LiFePO₄** (у даљем тексту, скраћено: **LFP** батерије);
- Капацитет **200 kWh** за електрични и **5 kWh** за хибридни трактор;
- Специфична тежина LFP батерија је **100 Wh/kg** [Wang & Niu, 2015]. Укупна нето маса LFP батерија 2.000 kg за електрични трактор и 50 kg за хибридни електрични трактор;
- Радни век LFP батерија: **2.000 циклуса** / до 6 година
- Место екстракције сировина и производње батерија: **Кина**



Слика 5.8. Границе система „од колевке до врата“

5.2.7. Претпоставке везане за фазу „од извора до резервоара“

С обзиром на то да су за LCA студију изабране машине с дугим радним веком, који користе дизел гориво и електричну енергију претпоставке које се односе на извор енергије представљају важне параметре. Из тог разлога овај део је обрађен као посебна фаза животног циклуса.

Претпоставке за процес производње дизел горива

За потребе погона дизел агрегра РТГ дизалице и терминалског трактора изабрано је дизел гориво које се у домаћој литератури сврстава у категорију „дизел D2“. Ово гориво карактерише средњи садржај сумпора до 500 ppm, густина на 15°C од 840 до 850 kg/m³ и цетанска вредности од 45 до 50 [Радовановић М, 1994].

Тип горива са наведеним садржајем сумпора избацује се из употребе за друмска возила²³, али како се ради о агрегатима уграђеним у машине које нису намењене учешћу у саобраћају не постоје ограничења у погледу квалитета горива. Изостављање најсавременијег облика дизел горива са ниским садржајем сумпора изабрано је и због чињенице да нижи садржај сумпора подразумева мању енергетску густину горива и сложеније процесе у рафинерији, те додатни еколошки отисак у фази производње.

С обзиром на избор локације контејнерског терминала, као претпоставка усваја се да је рафинисање горива извршено у Европи на удаљености од луке мањој од 1.000 km. Порекло сировине је Руска Федерација, сагласно чињеници да исто чини чак 38% увоза сирове нафте у Европску унију [Keesom et al., 2012].

Поступак производње дизел горива заокружен је границама система „well to tank“, а еколошки ефекат производње испита је преко најзаступљеније методе за израчунавање еколошког утицаја производње горива које се

²³ У Европској унији граница садржаја сумпора у дизел гориву за друмска возила износи од 50 до 100 ppm

користи за погон мотора у транспорту GREET²⁴. Ова метода обрађује све процесе од екстракције сирове нафте, транспорта и складиштења исте у рафинерији, процеса производње тј. рафинисања, транспорта до бензинских станица или складишта потрошача (видети слику 5.9).

Претпоставке за процес производње електричне енергије

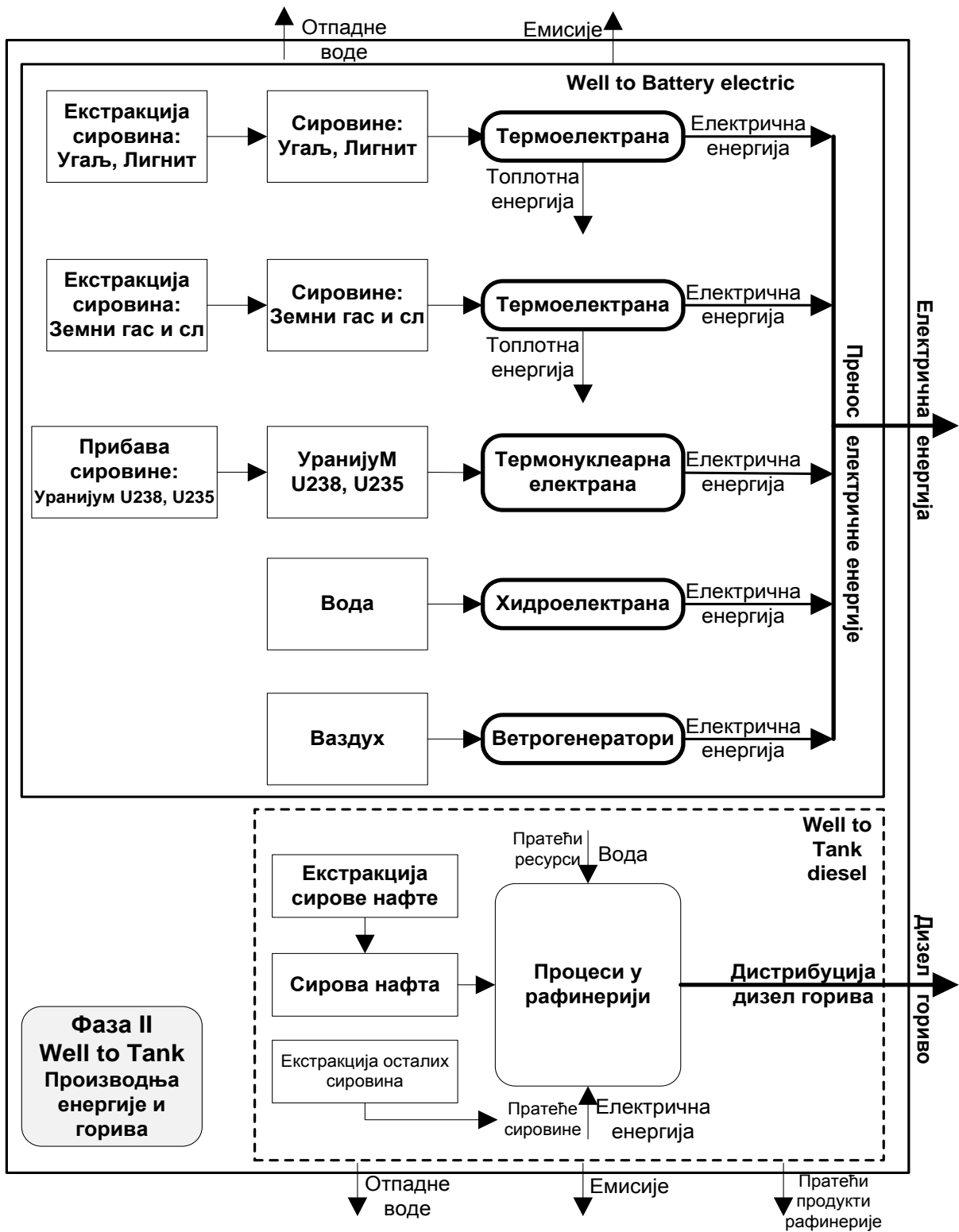
Сагласно месту избора лучко-контејнерског терминала на обали Јадранског мора, карактеристике везане за производњу електричне енергије усвајене су према енергетском просеку ЕУ-25. Еколошки утицај испоручене електричне енергије према просеку електромереже ЕУ-25 подразумева средњу вредност еколошког утицаја првих 25 држава чланица. Код истраживања процеса производње електричне енергије усвајају се претпоставке везане за екстракцију сировина, транспорт истих до места конверзије или коришћења, изградњу електрана и губитке у преносу електричне енергије. Еколошки отисак мери се према произведеном и испорученом kWh.

Према просеку произведене електричне енергије и испоручене из електромереже ЕУ-25 претпоставља се седам (7) енергетски извора, и то:

- Црни угаљ (~21%)
- Лигнит (~9%)
- Земни гас (~20%)
- Хидроенергија (~11%)
- Нуклеарна енергија (~32%)
- Течна фосилна горива (~5%)
- Енергија ветра (~2%)

Просечан губитак електричне енергије приликом преноса путем електромереже у Европској унији (ЕУ-25) износи 7,89% [IEA, 2012]. За даље истраживање, усвајена је претпоставка од **8% губитка приликом преноса електричне енергије.**

²⁴ GREET (Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation)



Слика 5.9. Границе система „Well-to-Tank“

5.2.8. Функционална јединица логистичког пара

5.2.8.1. Функционална јединица РТГ дизалице

Без обзира на пратеће функционалности РТГ дизалице (климатизација кабине, осветљење и сл.), усвојена је функционална јединица која се искључиво односи на манипулисање контејнером. Из наведеног произилазе параметри неопходни за дефинисање функционалне јединице.

Функција РТГ дизалице је кретање дизалице и помоћних уређаја у функцији манипулисања контејнером у одређеном временском интервалу - **радном циклусу**, где се под њим подразумева:

- **Вертикално кретање** (подизање и спуштање) спредера са контејнером и без њега које чини **25%** временског интервала радног циклуса дизалице;
- **Хоризонтално кретање** колица преко портала са контејнером и без њега које чини **20%** временског интервала интервала радног циклуса дизалице;
- **Кретање дизалице** са и без контејнера укључујући и мировање дизалице чини **55%** временског интервала интервала радног циклуса дизалице од чега је:
 - **10%** интервала кретање дизалице по терминалу;
 - **45%** чини мировање дизалице (са укљученим дизел-генератором).

Временски оквир функционалне јединице:

- Усвојени временски интервал функционалне јединице је **1h** - један радни сат. Исто је карактеристично за радне машине и пловила, наспрам пређеног километра код возила.
- Радни век РТГ дизалице који је усвојен је **15 година** (постоје и примери експлоатације РТГ дизалице од преко 20 година).
- Број радних сати у току године је **5.000 h**;

- Укупан број радних сати, изведен из претпостављено сценарија експлоатације на лучком-контејнерском терминалу јесте **75.000 h**.

На основу наведених претпоставки дефинише се **Функционална јединица за РТГ дизалицу:**

Извођење кретања РТГ дизалице и кретање колица и спредера ради складиштења контејнера на лучко-контејнерском терминалу у току животног века од 15 година и 75.000 h радних сати према захтевима оператера.

У литератури могуће је пронаћи и сличну дефиницију у сажетом облику. Према [Sapiña et al., 2013] РТГ дизалице је лучка-контејнерска машина (опрема) намењена за манипулисање контејнерима кроз извођење вертикалног, хоризонталног и транслаторног кретања.

Претпостављени радни век дизалице од 15 година и број радних сати представљају средњу вредност степена експлоатације дизалица која се може наћи и у извештајима доступним у литератури [Sapiña et al., 2013]. Наиме, број радних сати у току године за РТГ дизалица носивости 40 и 50 тона креће се од 3.000 [Starcrest, 2009] до 6.000 радних сати [Sapiña et al., 2013].

Претпоставке везане за токове енергије и материјала су значајне и неопходне ради усклађивања начина спровођења студије са методологијом софтверског програма GaVi. Токови енергије и материјала се називају и референтним током и представљају вредност у односу на коју се све улазне и излазне величине квантификују.

Обзиром на импликације референтног тога на укупан резултат утицаја животног циклуса, нарочито са позиције употребе, машина логистичког пара, приликом формирања претпоставки које се односе на потрошњу горива или електричне енергије, консултовани су релеватни извори из литературе [Starcrest, 2009], [Eckle, 2010], [Yang & Chang], [Sapiña et al., 2013], [Corbetta, 2015].

Претпостављени референтни ток потрошње горива РТГ дизалице је **25 l/h**. Према доступној литератури потрошња РТГ дизалице у великој мери сличних карактеристика као усвојен модел РТГ дизалице креће се од **23 l/h**

[Starcresc, 2009] до **28 l/h** [Gimenéz, 2013] у зависности од интензитета ангажовања дизалице тј. броја контејнерских манипулисања по радном сату.

За хибридную РТГ дизалицу усваја се потрошња од **16 l/h**, сагласно наводима произвођача опреме и информацијама доступним из литературе где се иста креће од **10 l/h** до **18 l/h**, [Konescranes, 2012], [Gimenéz, 2013]. Нешто већа вредност од просека усвојена је с обзиром на то да је претпостављено 12 контејнерских манипулација по радном сату, уместо 10 колико је у наведеној литератури.

Потрошња електричне енергије за Е-РТГ дизалицу претпоставља се на **27,5 kWh**, уз ову потрошњу додаје се и **1,5 l/h** дизел горива услед кретања дизалице између блокова. У доступној литератури на располагању је информација о потрошњи електричне енергије од **20 kWh** [Eckle, 2010] преко **30 kWh** [Yang & Chang] до **40 kWh** [Corbetta, 2015], сви за 10 манипулација по радном сату. Приликом дефинисања потрошње у обзир је узето средње оптерећење у раду и средња ангажованост, обзиром да се број контејнерских претовара - манипулација (*container move*) у једном сату креће од 5 до 20. Усвојено је да РТГ дизалица у **једном радном сату има 12 контејнерских манипулација**.

Претпоставке потрошње за три изабрана модела РТГ дизалице презентоване су у табели 5.3. а изведене су из једначине 5.1.

Табела 5.3. Просечна потрошња РТГ дизалице

Оптерећење (режим рада)	Време [h]	РТГ дизалица		Хибридна РТГ дизалица		Е-РТГ дизалица	
		Потрошња у интервалу [l/h]	Просечна потрошња [l/h]	Потрошња у интервалу [l/h]	Просечна потрошња [l/h]	Потрошња у интервалу [kWh]	Просечна потрошња [kWh]
Високо	0,25	50	12,5	30	7,5	65	16,25
Средње	0,2	30	6	28	5,6	40	8
Рад у месту	0,45	10	4,5	2	0,9	5	2,25
Ниско	0,1	20	2	20	2	10	1
Просек	1	-	25	-	16	-	27,5

$$g_u = \Sigma g_i \times t_i \quad (5.1)$$

Где је:

g_u – просечна потрошња по радном сату [l/h]

g_i – процечна потрошња у изабраном временском интервалу (који је > 1 h)

t_i – временски интервал (> 1h)

У токове енергије и материјала убраја се и редовно одржавање РТГ дизалице. Сагласно „cut-off“ критеријуму израчунат је само еколошки отисак од замене флуида погонског мотора, али не и филтера (Табела 5.4.).

Табела 5.4. Одржавање РТГ дизалице

Категорија	РТГ дизалица		Хибридна РТГ дизалица		Е-РТГ дизалица	
	Уље	Расхладна течност	Уље	Расхладна течност	Уље	Расхладна течност
Број радних сати [h]	75.000		75.000		7.500	
Радна запремина мотора [l]	15		12		9	
Капацитет мотора [l]	36	107	28	85	24	60
Фреквенција замене [h]	750	5.000	1.000	7.500	1.500	10.000
Укупно замењено [l]	3.600	1.605	2.100	850	1.200	450

Према доступној литератури [Caterpillar, 2006] сервисни интервал, тј. период замене уља је 500 радних сати (од 300 до 750 радних сати), а усвојено је да је сервисни интервал РТГ дизалице на **1.000 радних сати**. Замена расхладне течности дизел агрегата обавља се на сваких **5.000 радних сати**. Укупна количина уља и расхладне течности у животном циклусу РТГ дизалице израчунава се из једначине 5.2.

$$O_{u_РТГ} = V_u \times n_i \quad (5.2)$$

Где је:

$O_{u_РТГ}$ – Количина замењеног флуида у животном циклусу РТГ дизалице

V_u – Запремина система за подмазивање и хлађење дизел агрегата РТГ дизалице

n_i – Број замена флуида у току радног века РТГ дизалице

5.2.8.2. Функционална јединица Терминалског трактора

Функција Терминалског трактора је кретање искључиво у оквиру контејнерског терминала са полуприколицом или без ње и превоз контејнера у одређеном временском интервалу радном циклусу. Претпостављени радни циклус Терминалског трактора је следећи:

- Хоризонтално кретање без оптерећења (контејнера) са полуприколицом чини **30%** временског интервала;
- Хоризонтално кретање са оптерећењем (контејнера) са полуприколицом чини **25%** временског интервала;
- Хоризонтално кретање без оптерећења (контејнера) и без полуприколице чини **5%** временског интервала;
- Мировање тегљача (рад у месту) чини **40%** радног временском интервала.

Временски оквир функционалне јединице:

- Усвојени основни временски интервал функционалне јединице је **1h** (један радни сат).
- Радни век Терминалског трактора је **10 година**.
- Број радних сати у току године је **3.000 h**;
- Укупан број радних сати, изведен из симулирања реалног сценарија експлоатације на лучком-контејнерском терминалу износи **30.000 h**.

На основу наведених претпоставки дефинише се **Функционална јединица за Терминалски трактор: Хоризонтални транспорт контејнера у оквиру контејнерског терминала у току животног века од 10 година и 30.000 h радних сати према захтевима оператера.**

За разлику од РТГ дизалице где је управљање истом лакше предвидети и где је утицај навика и начина управљања на потрошњу знатно ограничен, код Терминалског трактора, начин вожње може утицати на потрошњу горива, па су претпоставке везане за референтни ток усвојене **на основу релевантне литературе.**

Претпостављени референтни ток потрошње горива конвенционалног Терминалског трактора је **8,2 l/h**. Према доступној литератури потрошња Терминалског трактора креће се у опсегу од **преко 6,5 l/h до 10 l/h** [Calstart, 2008], [Calstart, 2011], [Sariña et al., 2013] у зависности од интензитета оптерећења и броја превезних контејнера по радном сату. Претпостављена потрошња за **електрични хибридни и хидраулични хибридни** Терминалски трактор је **6 l/h** и **5,9 l/h** респективно, што је усвојено за као мање оптимистична вредност у односу на литературу [Kargul, 2008], [Calstart, 2011]. Потрошња електричне енергије за **електрични** Терминалски трактор претпоставља се на **15 kWh**. У доступној литератури на располагању је информација о потрошњи електричне енергије углавном изражена у односу на пређену раздаљину (**kWh/km, kWh/mi**), што је суштински упитно јер се иста за дизел тракторе изражава кроз потрошњу горива у функцији времена (**l/h**). Како је правило LCA да вредности референтног тока функционалне јединице морају бити у истим јединицама, пронађени су изворе где је потрошња електричне енергије терминалског трактора исказана у **kWh**, те се она креће у опсегу од **10 kWh до 20 kWh** [Transpower, 2015] и **13,38 kWh** [Balqon, 2015].

Приликом дефинисања потрошње у обзир је узето средње оптерећење у раду и средња ангажованост, те је усвојено је да терминалски трактор у **једном радном сату има до осам (8) контејнерских превоза**. Разлика у односу на 12 контејнерских манипулисања код РТГ дизалице, произилази из чињенице да се једна РТГ дизалица упарује са бар два (2) Терминалска трактора.

Претпоставке потрошње за четири изабрана модела терминалског трактора презентоване су у табели 5.5. а изведене из једначине 5.3.

$$g_u = \sum g_i \times t_i \quad (5.3)$$

Где је:

g_u – просечна потрошња по радном сату [l/h]

g_i – процечна потрошња у изабраном временском интервалу (који је > 1 h)

t_i – временски интервал (> 1h)

Табела 5.5. Просечна потрошња терминалног трактора

Оптерећење (режим рада)	Време [h]	Терминални трактор		Хидраулични хибрид ТТ		Електрични хибридни ТТ		Електрични ТТ	
		Потрошња у интервалу [l/h]	Просечна потрошња [l/h]	Потрошња у интервалу [l/h]	Просечна потрошња [l/h]	Потрошња у интервалу [l/h]	Просечна потрошња [l/h]	Потрошња у интервалу [KWh]	Просечна потрошња [KWh]
Високо	0,25	14	3,5	12,5	2,75	13	3	24	8
Средње	0,3	9	2,7	8,5	2,5	8,5	2,5	20	6
Ниско	0,05	8	0,4	7,5	0,35	7	0,2	12	0,6
Рад у месту	0,4	4	1,6	1	0,4	0,5	0,2	1	0,4
Просек	1	-	8,2		6		5,9		15

Приликом усвајања претпоставки везаних за редовно и ванредно одржавање Терминалног трактора узете су у обзир препоруке произвођача у погледу фреквенције одржавања и запремине (количине) флуида у дизел агрегатима [Kalmar, 2012], [Kalmar, 2014]. У радном веку усвојених модела терминалских трактора од 10 година и 3.000 радних сати годишње сагласно „cut-off“ критеријуму урачунати су само параметри везани за замену флуида погонског агрегата. Период замене уља је на ~ 500 радних сати, а расхладне течности 2 године [Kalmar, 2012], [Kalmar, 2014], а LFP батерије су замењене на почетку шесте (6.) године експлоатације. У доступној литератури налази се информација да је предвиђена замена најкасније након седам (7) година [Balqon, 2015].

Укупна количина уља и расхладне течности у животном циклусу терминалног трактора приказани су у табели 5.6., а израчунава се из једначине 5.4.

$$O_{u_TT} = V_u \times n_i \quad (5.4.)$$

Где је:

O_{u_TT} – Количина замењеног флуида у животном циклусу терминалног трактора

V_u – Запремина система за подмазивање и хлађење дизел агрегата терминалног трактора

n_i – Број замена флуида у току радног века терминалног трактора

Табела 5.6. Одржавање терминалског трактора

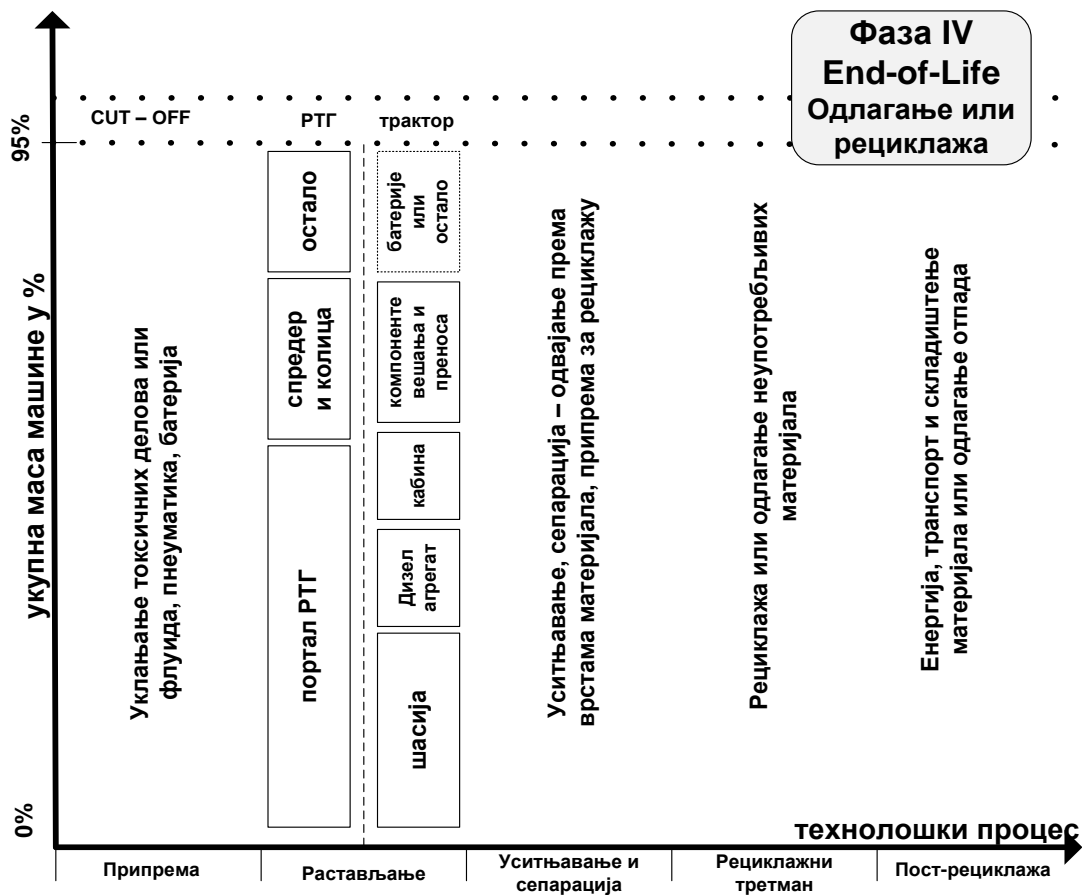
Категорија	Терминалски трактор		Хидраулични хибрид ТТ		Електрични хибридни ТТ		Електрични ТТ	
	Уље	Раскладна течност	Уље	Раскладна течност	Уље	Раскладна течност	Е-мотор	Батерије
Број радних сати [h]					30.000			
Радна запремина мотора [l]			6,7				Електромотор	
Капацитет мотора [l]	16	28	16	28	16	28	LFP батерије	
Фреквенција замене [h]	500	6000	600	6000	750	6000	на 15.000 радних сати	
Укупно замењено [l]	960	140	800	140	640	140	1 замена батерија	

У студији се примењује „cut-off“ критеријум. Овим критеријумом се дефинише учешће делова, материјала у процесу или система производа. Усвајена је примена „cut-off“ критеријума тако да 97% процената масе учествује у фази производње за РТГ дизалицу и 95% масе за Терминалски трактор. Тачније, компоненте укупне масе мање од 3% и еколошки утицаји у фази производње мањи од 3% код РТГ дизалице искључују се из система. Код Терминалског трактора овај проценат „cut-off“ критеријума износи 5%.

У фази „употребе и одржавања“ „cut-off“ критеријум је 95% за обе машине логистичког пара. Тачније, из разматрања искључени су сви еколошки утицаји у фази „употребе и одржавања“ који су мањи од 5%. Изабрана граница „cut-off“ критеријума до 5% укупне масе или еколошког утицаја у складу је са LCA праксом [Klöpper et al., 2014] и препорукама произвођача софтвера GaVi [PE International, 2009].

5.2.9. Претпоставке краја животног циклуса

Крај животног циклуса (End of life), значајан је због еколошког утицаја који произилази из велике масе машина, али и LFP батерија. Исти може бити подељен на потфазе: предтретман, растављање, уситњавање и разврставање и термичко, електрично и хемијско поступање као завршну потфазу рециклаже. Челичне компоненте РТГ дизалице и терминалског трактора могуће је рециклирати и поново користити за производњу других производа.



Слика 5.10. Фаза „одлагања или рециклаже " (End-of-Life)

Ради одржања конзистентности дискурса крај животног циклуса LFP батерија у овом истраживању није посебно обрађен, иако је позитивним прописима Европске уније дефинисано поступање с батеријама (Directive 2013/56/EU). Поступак рециклаже LFP батерија подразумева, њихову демонтажу, неутрализацију, растављање и одвајање електро-хемијских делова. LFP ћелије и модули се одвојено рециклирају и пролазе кроз хидрометалуршки и пирометалуршке процесе рециклаже [Ishihara et al., 2001], [Zackrisson et al., 2010], [Majeau-Bettez et al., 2011]. С обзиром на напредност технологије која је повезана с процесима рециклирања LFP батерија усвојени су подаци доступни у претходно наведеној литератури и из базе података софтверске апликације GaBi 4.0.

5.3. Инвентар животног циклуса

Креирање инвентара животног циклуса спроведено је кроз процесе прикупљања и класификације за сваку фазу животног циклуса машина логистичког пара. У свакој фази обрађено је прикупљање података који припадају одређеном процесу (нпр: производња компонената машине, или употреба на терминалу) чиме су одређени сви значајни токови материјала и енергије. Овај део је практично усмераван методолошким приступом софтверске апликације GaVi. Након софтверске обраде унетих параметара добијени су подаци довољни за иницијално формирање инвентара животног циклуса машина логистичког пара у оквиру задатих граница система.

Ради лакшег прикупљања и класификације података инвентара фазе производње изабраних машина логистичког пара, уз поштовање „cut-off“ критеријума иста је подељена на 4 главна скупа компонената и делова. РТГ (портал, уређаји за подизање терета (спредер, колица), погонски механизам (дизел+генератор) и пратеће компоненте. Код терминалског трактора подела је следећа: шасија, погонски систем (дизел мотор, пренос, систем вешања), кабина и пратеће -компоненте. За сваки скупа компоненти прикупљају улазне и излазне вредности материјала и енергије се класификују.

Из фазе производње могуће је закључити да је пропорционални удео челичних компоненти доминант код свих врста изабраних машина логистичког пара. Ово је посебно изражено за РТГ дизалице где је портал, те спредера и колица употпуности од челика те је удео истог већи од 4/5 укупне масе без обзира на врсту машине. Удео полимера или осталих материјала је извесно у границама cut-off критеријума. Једино је укупна маса пнеуматика значајна, али такође у границама cut-off критеријума. Због чињенице да би укључивање еколошког утицаја пнеуматика подразумевало додатно проширење студије, остало се при cut-off од 5%.

Табела 5.7. Сажети приказ улазних токова материја

Фаза	Врста материјала		РТГ дизалица		Терминалски трактор	
			Маса [kg]	%	Маса [kg]	%
токови материјала у производњи	Легуре	Челик	115.000	88,46%	5.000	68,97%
	железа	Гвожђе	2.550	1,96%	800	11,03%
		Алуминијум	250	0,19%	50	0,69%
		Олово	50	0,04%	20	0,28%
	Нежелезни метали	Бакар	30	0,02%	10	0,14%
		Остали	500	0,38%	150	2,07%
		Термопластика	250	0,19%	200	2,76%
		Еластомери	4.250	3,27%	500	6,90%
		Електричне компоненте	20	0,02%	20	0,28%
		Флуиди	1.500	1,15%	250	3,45%
		Боја и антикорозивна заштита	500	0,38%	80	1,10%
		Стакло	100	0,08%	50	0,69%
		Остали материјали	5.000	3,85%	120	1,66%
		Укупно	130.000	100,00%	7.250	100,00%
Батерије за електрични трактор (LiFePO4) нето маса					2.000	20,00%
Пратеће инсталације (кућиште, електромотор и др.)					1.250	12,50%
токови материјала у употреби	дизел гориво		1.875.000	99,72%	246.000	99,55%
	Моторна уља		3.600	0,19%	960	0,39%
	Расхладни флуид		1.605	0,09%	140	0,06%
	Укупно		1.880.205	100,00%	247.100	100,00%

Када су у питању терминалски трактори ту је однос челика такође доминантан, али постоје разлике између електричног трактора. Код електричног трактора изостаје дизел агрегат те је очекивано већи удео полимера и осталих материјала. Мања маса електро мотора у односу на дизел агрегат је анулирана значајном масом LFP батерија, кућишта, електромотора и пратећих компоненти.

Улазне и излазне вредности фазе производње горива усвојене су на основу података из GaBi 4.0 базе, сагласно принципима GREET методологије за процену утицаја производње горива. Исте садрже улазне вредности материјала (у овом случају сирове нафте). GaBi 4.0 садржи детаљну базу инвентара производње електричне енергије за EU-25 power grid mix [Ferreira, 2008] која је коришћења у истраживању.

Фаза “употребе и одржавања” у овом истраживању подразумева следеће процесе:

- Употребу (или експлоатацију) машина
- Периодично планско одржавање машина

У овој фази улазни и излазни токови су следећи:

Улазни токови:

1. Потрошња фосилног горива
2. Потрошња електричне енергије
3. Потрошња флуида за подмазивање и хлађење дизел агрегата
4. Потрошња материја за редовно и ванредно сервисирање

Нису обрађени пратећи токови:

1. Улазни токови воде за прање машина (посебно трактора)
2. Улазни токови пнеуматика

Излазни токови, или емисије:

1. Емисија дизел агрегата (Емисије у животну средину)
2. Емисије електране која снабдева електричне машине логистичког пара

Нису обрађени пратећи токови:

1. Емисија издувних гасова од сагоревања уља за подмазивање
2. Цурење уља
3. Бука

5.4. Процена утицаја животног циклуса

Приликом избора метода за процену утицаја нагласак је био на заступљености и могућности коришћења добијених података за каснија истраживања. Како су усвојене машине логистичког пара заступљене и на европском и насеверноамеричком континету изабране су две најзаступљеније проблемски оријентисане методе CML 2001 и TRACI 2.1. Прва оријентисана према Европском простору, а друга према САД. Ради заокружења истраживања изабране је и једна референтна штетно оријентисана метода високе заступљености у LCA истраживањима - Есо-

indicator 99. Сагласно изабраним методама CML 2001, TRACI 2.1 и Ecoindicator 99 одређене су и категорија утицаја које су разматране у предметној студији и исте су приказане су у оквиру табеле 5.8.

Табела 5.8. Преглед примењиваних утицајних категорија

Утицајна категорија		Метода	Заступљеност	Значај	Применљивост
GWP	Потенцијал глобалног загревања	CML TRACI	Највиша	Висок	Висока
AP	Потенцијал ацидификације	CML TRACI Eco- indicator	Висока	Висок	Висока
EP	Потенцијал еутрофикације	CML TRACI	Висока	Висок	Висока
ODP	Потенцијал осиромашења озонског омотача	CML	Средња	Средња	Средња
POCP	Потенцијал за стварање фотохемијског озона	CML	Средња	Средња	Средња
-	Смог (зимски)	TRACI	Средња	Средња	Средња
HTP	Потенцијал токсичности за људе	CML	Средња	Висока	Ниска
ETP	Потенција еколошке токсичности	Eco- indicator	Ниска	Средњи	Ниска
ADP	Потенцијал абиотичког осиромашења	CML	Висока	Средњи	Висока
HNCAР	Критеријуми за здравље људи	TRACI	Ниска	Средњи	Ниска
HNCC	Климатске промене (утицај на здравље)	Eco- indicator	Ниска	Средњи	Ниска
-	Респираторни проблеми (органички утицаји)	Eco- indicator	Ниска	Средњи	Ниска
-	Респираторни проблеми (неорганички утицаји)	Eco- indicator	Ниска	Средњи	Ниска

5.5. Интерпретација

Обзиром да се у фази интерпретације обрађују три корака: врши евалуација, тумаче резултати и дају закључци највећи део овог корака LCA студије обрађен је у посебном поглављима „резултати“ и „закључна разматрања“. Из тог разлога сада описију поступци који су коришћени приликом спровођења студије, а односе се на евалуацију која се састоји од: провере потпуности, анализе осетљивости и провере конзистентности у складу са правилима [ISO 14044, 2006].

Потпуност студије је изнад основних захтева дефинисаних правилима [ISO 14040, 2006] и [ISO 14044, 2006] јер је иста подељена на четири фазе, са нагласком на фазу „од извора до резервоара“ која није обавезујућа, али је корисна при упоређивању различитих погонски система који се користе за остварење исте функционалне јединице. Додатно, спроведена је и „what-if“ анализа како би се употпунило истраживање и за фазу „од извора до резервоара“ испитале различите опције сценарија снабдевања електричном енергијом.

Анализа осетљивости спроведена је како за основне сценарије, тако и за алтернативне „what-if“, али искључиво за фазу „употребе и одржавања“ за које је постојало очекивање да је са највећим еколошким отиском од целог животног циклуса [Вујичић и сарадници, 2013], [Вујичић и Зрнић, 2013]. Конзистентност студије потврђује се избором најзаступљенијих и најрелеватнијих метода за процену утицаја животног циклуса CML, TRACI и Ecoindicator [Goedkoop et al., 2000], [Acero et al., 2014], и најзаступљеније софтверске апликације за LCA са највећом базом инвентара GaBi [Ormazabal et al., 2014], [Haselbach & Langfitt, 2015].

5.6. „What if“ сценарио и анализа осетљивости

5.6.1. „What if“ сценарио

Изабраним „what if“ сценариом обухваћено је истраживање исхода резултата само за потенцијале глобалног загревања GWP, ацидификације AP и еутрофикације EP у случају да је претпоставка снабдевања електричном енергијом логистичког пара другачија. Наиме, извршена је измена параметара за снабдевање електричном енергијом са EU-25 на електричну енергију добијену од снабдевача Електропривреде Србије (у даљем тексту: ЕПС).

Симулирање сценарија само за потенцијале глобалног загревања GWP, ацидификације AP и еутрофикације EP условљено је чињеницом да софтверска апликација GaBi 4.0 не поседује параметре везане за категорије утицаја електричне енергије испоручене из Републике Србије. Осим спорадичних информација у вези емисије CO₂/kWh за електричну енергију произведену у Србији [Brander et al. 2011], [IEA, 2012], [Itten et al., 2014] других података о количинама SO₂ и NO_x нема. Из тог разлога потенцијал ацидификације и еутрофикације израчунат је према сопственој једначини која је у наредним редовима презентована, комбиновањем података о утицајима које GaBi 4.0 поседује за електричну енергију произведену у термоелектрама од лигнита и природног гаса и из хидроелектрана са подацима из литературе [Atilgan & Azapagic, 2015].

У доступној литератури и изворима могуће је пронаћи неколико података о емисији CO₂ по произведеном или испорученом 1 kWh електричне енергије у Србији. Исти нажалост нису оптимистични. Еколошки утицај производње електричне енергије у Србији је четврти међу најгорима на свету, одмах иза из Индије, Македоније и Кине [Itten et al., 2012]. Према овом истраживању које засновано на најмеродавнијим подацима из 2008. године за 1 kWh испоручене електричне енергије из система ЕПС-а емитује се од **951 g-CO₂** до **1.143 g-CO₂** у зависности од напона (висок напон и низак напон

репективно). Друго доступно истраживање [Brander et al. 2011] саопштава вредност од **1.549 g-CO₂/kWh**.

У покушају израчунавања сопствених вредности емисије CO₂, SO₂ и PO₄ по 1 kWh коришћени су подаци о капацитетима за производњу електричне енергије доступни од ЕПС-а [ЕПС, 2014] и подаци из литературе [IEA, 2012]. Наведени подаци су затим према енергетском пореклу (термоелектрана, хидроелектрана) и припадајућим емисијама CO₂ уврштени у једначину 5.5.

$$Im_{EPS} = \sum_{i=1}^n f_i \times E_i \times \frac{1}{E_u} \quad (5.5.)$$

Где је:

Im_{EPS} – Просечна вредност емисије референтог гаса по kWh испоручене електричне енергије

f_i – Фактор емисије утицајне категорије референтог гаса за извор електричне енергије (i)

E_i – Испоручена електрична енергије од извора (i)

E_u – Укупна испоручена електрична енергије

Према подацима ЕПС-а укупна снага осам (8) термоелектрана које користе лигнит износи 5.171 MW, хидроелектрана 2.835 MW и термоелектрана на гас 425 MW, односно укупно 8.431 MW [ЕПС, 2014]. Подаци указују да су термоелектране на лигнит са 61,33% доминантне, а хидроелектране имају удео од ~ 33,62%.

Према подацима о производњи електричне енергије система ЕПС-а у 2013. години [ЕПС, 2013] произведено је 39.877 GWh електричне енергије, од чега је у термоелектранама на лигнит произведено 28.690 GWh, хидроелектранама 10.853 GWh, а од осталих извора 334 GWh (на гас 301 GWh). Ако се усвоје фактори емисије према [Atilgan & Azapagic, 2015], [GaBi, 2013] од **1.020 g-CO₂/kWh** за лигнит, **10 g-CO₂/kWh** за хидроенергију и **364 g-CO₂/kWh** за гас и исти уврсте у једначину 5.5. добија се следеће:

$$GWP_{EPS} = \frac{28.690 \times 1.020 + 10.853 \times 10 + 334 \times 364}{39.877} = 739,62 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$$

Урачунавањем губитака за пренос електричне енергије од 8% добија се вредност GWP_{EPS} од $\sim 800 \text{ g-CO}_2/\text{kWh}$.

С обзиром на то да је вредност апроксимације добијена једначином најприближнија извештају [Itten et al., 2012] и [IEA, 2012] где је за GWP_{EPS} од $\sim 951 \text{ g-CO}_2/\text{kWh}$ и да се иста односи на испоруку електричне енергије са високим напоном који се користи у индустрији, што би био и случај са Е-РТГ дизалицом и уређајем за пуњење батерија електричног терминалског трактора претпоставља се вредност $\sim 950 \text{ g-CO}_2/\text{kWh}$.

Даљим уносом вредности референтних гасова за категорије утицаја ацидификације и еутрофикације у једначину 5.5 добија се ефекат ацидификације за 1 kWh произведен електричне енергије из система ЕПС-а:

$$AP_{EPS} = \frac{28.690 \times 10,8 + 10.853 \times 1,88 \times 10^{-5} + 334 \times 0,8}{39.877} = 7,78 \text{ g SO}_2\text{e/kWh}$$

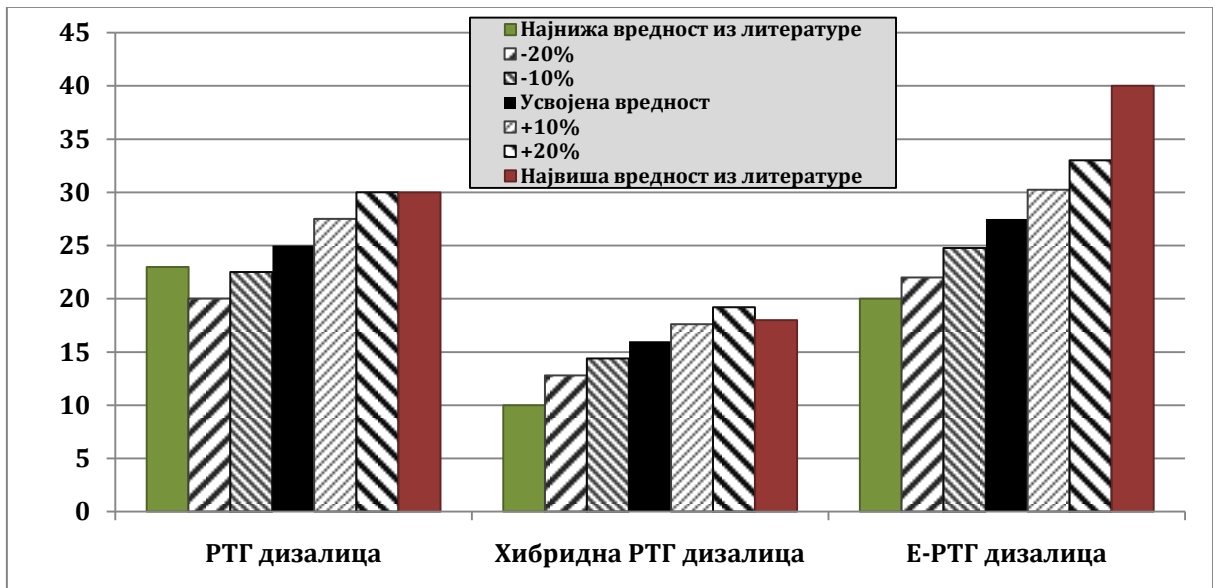
и ефекат еутрофикације

$$EP_{EPS} = \frac{28.690 \times 11,9 + 10.853 \times 1,56 \times 10^{-6} + 334 \times 0,1}{39.877} = 8,56 \text{ g PO}_4\text{e/kWh}$$

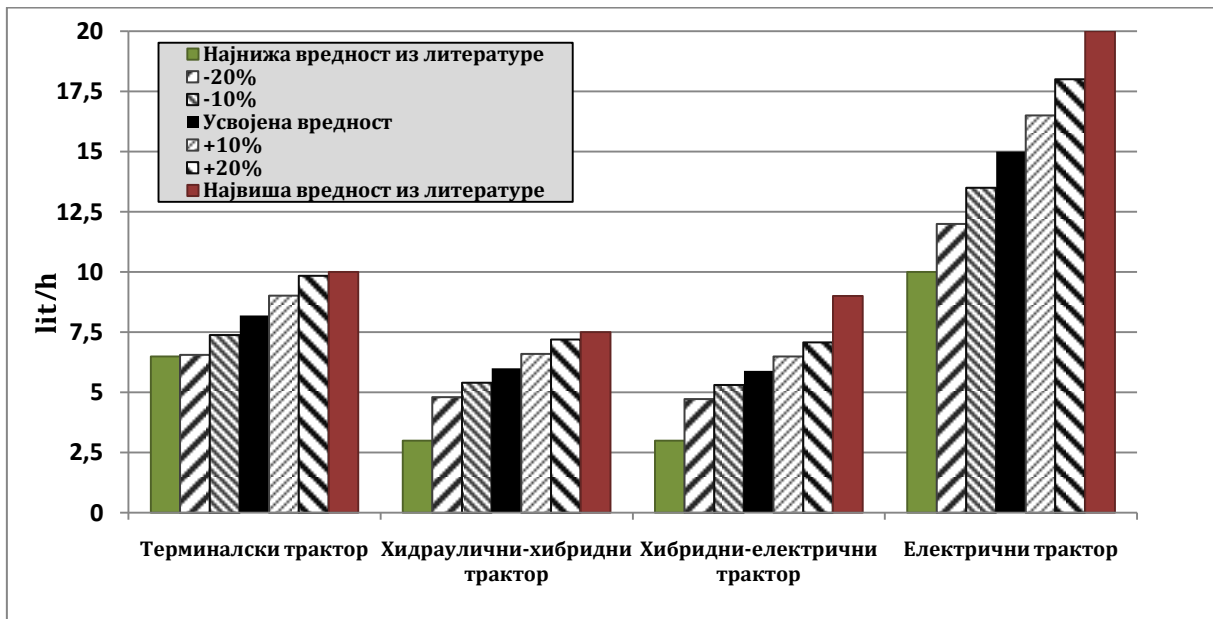
Додавањем губитака који се односе на пренос електричне енергије у систему у износу од 8% на претходни резултат добија се еколошки ефекат испоручене електричне енергије из система ЕПС за утицај потенцијала ацидификације $AP_{EPS} \sim 8,4 \text{ g SO}_2\text{e/kWh}$ и потенцијала еутрофикације од $EP_{EPS} \sim 9,25 \text{ g SO}_2\text{e/kWh}$. Добијене вредности потенцијала ацидификације и еутрофикације уврштене су фазу “од извора до резервоара” и применом „what if” анализе упоређене са основним претпоставкама где је електрична енергије за електричне машине логистичког пара испоручена из електромереже Европске уније (EU-25).

5.6.2. Анализа осетљивости

Анализа осетљивости спроведена је за претпостављене вредности референтног тока функционалне јединице кроз две опције измена за +/- 10% и +/-20%. Затим је извршено испитивање утицаја ове промене на резултате фаза „од извора до резервоара“ и фазе „употребе и одржавања“.



Слика 5.11. Анализа осетљивости за референтни ток РТГ дизалице



Слика 5.12. Анализа осетљивости за референтни ток Терминалског трактора

6. ПРЕЗЕНТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА

У овом поглављу презентовани су еколошки ефекти фаза животног циклуса на основу резултата спроведене процене животног циклуса методом LCA за конвенционалне моделе и еколошке алтернативе изабраних машина логистичког пара за манипулацију с контејнерима на лучком-контејнерском терминалу. Резултати су тумачени по фазама и за цео животно циклуса на начин у складу правилима серије ISO 14044 и презентовани табеларно и графички. Коментари су дати само за идентификована значајна питања.

Прорачун добијених резултата утицаја фаза животног циклуса извршен је уз помоћ GaBi 4 софтверског алата специјализованог за спровођење методе процене животног циклуса и исти су класификовани и квантификовани према две најзаступљеније проблемно оријентисане методе и једне најзаступљеније штетно оријентисане методе:

- **CML 2001** проблемно оријентисана метода,
- **TRACI 2.1.** проблемно оријентисана метода,
- **Ecoindicator 99** штетно оријентисана метода.

Резултати показују да су код свих врста машина логистичког пара еколошки ефекти најизраженији за фазу „употребе и одржавања“ и фазу „од извора до резервоара“. Као значајна питања код обе проблемски оријентисане методе CML 2001 и TRACI 2.1. идентификују се еколошки утицаји исказани кроз потенцијал глобалног загревања, ацидификације, еутрофикације и абиотичког осиромашења ресурса. Код TRACI методе нагласак је и на потенцијал за стварање смога и утицаја на здравље људи од емисија суспендованих честица, што се повезује са сагоревањем дизел горива.

Са становишта испитивања утицаја према штетно оријентисаној методи Eco-Indicator нису идентификована значајна питања. Највећи еколошки отисак односи се на прекомерну ацидификацију воде. Категорија утицаја на здравље људи која се исказују јединицом мере DALY је забележена, али утврђене вредности нису на забрињавајућем нивоу.

6.1. Резултати животног циклуса „од колевке до гроба“

У овом поглављу презентовани су и разматрани резултати за цео животно циклус „cradle to grave“ (обједињено за све четири фазе) изабраних машина логистичког пара. Резултати су презентовани одвојено за РТГ дизалицу и терминалски трактор са посебним образложењем за категорије утицаја и све методе процене утицаја.

6.1.1. Резултати „од колевке до гроба“ за РТГ дизалице

Карактеристичности РТГ дизалице огледане у чињеници да се ради о највећој машини на пнеуматицима, заједно са дужином радном века од 15 година доминантно доприносе укупном резултату и распореду еколошких ефеката по фазама животног циклуса. Резултати показују недвосмислену технолошку превазиђеност конвенционалне РТГ дизалице са становишта еколошке ефикасности. Наиме, осим симболично повољнијег утицаја у фази „од колевке до врата“ и фази „рециклаже и одлагања“ у свим осталим фазама за конвенционалну РТГ дизалицу везује се неповољнији еколошки ефекти. У укупном резултату за категорију утицаја GWP конвенционална РТГ дизалица је за 2,84 пута неефикаснија од Е-РТГ дизалице. Овакав резултат неминовно потиче од природе радног циклуса РТГ дизалице где систем дизел генератор ради при константном броју обртаја без обзира на радно оптерећење. Додатно, код високих оптерећења приликом подизања напуњених контејнера дизел агрегат ради на граници дима уз високе емисије издувних гасова. Управо карактеристике радног циклуса РТГ дизалице погодне су за електрификацију.

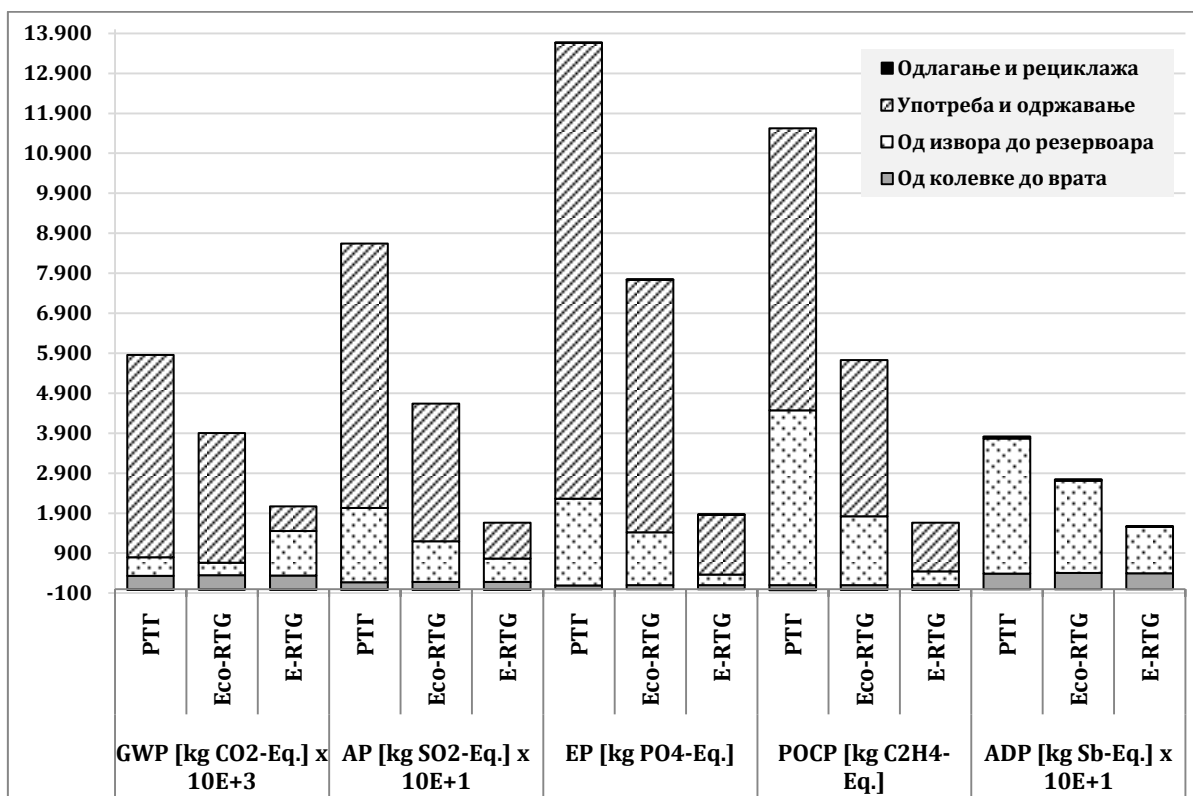
Хибридна РТГ дизалица је еколошки ефикаснија од конвенционалне због система за рекулперацију енергије и дизел агрегата мање радне запремине. Хибридне РТГ дизалице постепено се прихватају као прелазно решење до коначне електрификације терминала, или тамо где електрификација инфраструктурно није могућа. Ипак утврђена је значајна предности електричне РТГ дизалице у односу на хибридную РТГ дизалицу.

Табела 6.1. Еколошки ефекти РТГ дизалица (СМЛ 2001)

CML 2001	РТГ дизалица	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	335.830,77	462.516,04	5.062.504,00	-15.843,96	5.845.006,84
	hybrid	350.533,00	315.999,26	3.241.018,00	-12.910,45	3.894.639,80
	electric	344.437,66	1.111.687,50	615.666,07	-13.625,81	2.058.165,42
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	1.766,85	18.523,79	66.156,41	-200,51	86.246,54
	hybrid	1.891,20	10.148,39	34.401,33	-158,21	46.282,72
	electric	1.837,20	5.898,75	8.959,58	-172,43	16.523,10
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	96,93	2.171,12	11.397,54	0,64	13.666,23
	hybrid	115,77	1.325,99	6.314,24	0,87	7.756,87
	electric	104,92	266,06	1.499,91	0,92	1.871,82
ODP [kg R11-Eq.]	diesel	5,58E-02	2,57E-01	1,68E-02	0,00E+00	3,29E-01
	hybrid	5,89E-02	1,54E-01	7,47E-03	0,00E+00	2,20E-01
	electric	5,79E-02	2,70E-01	4,27E-02	0,00E+00	3,71E-01
POCP [kg C ₂ H ₄ -Eq.]	diesel	100,11	4.372,41	7.052,27	-21,15	11.503,64
	hybrid	104,60	1.719,06	3.906,96	-17,24	5.713,39
	electric	102,78	344,44	1.215,91	-18,19	1.644,93
Radioactive waste (kg)	diesel	745,19	902,34	1,57E+00	-1,86E+00	1.647,23
	hybrid	786,85	631,64	8,68E-01	-1,52E+00	1.417,84
	electric	773,13	3.609,38	295,47	-1,60E+00	4.676,37
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	3.873,18	33.828,40	359,31	-2,52E+01	38.035,73
	hybrid	4.135,92	23.112,17	245,49	-36,24	27.457,34
	electric	4.039,15	11.603,33	123,25	-32,14	15.733,59

Посматрано са становишта категорије утицаја према методи СМЛ 2001 (Табела 6.1) као „значајна питања“ идентификују се глобално загревање, ацидификација, еутрофикација, потенцијали за формирање фотохемијског озона и абиотичког осиромашења ресурса. Иако не спада у експлицитну категорију утицаја, питање радиоактивног отпада препознаје се као један о пратећих ефеката производње електричне енергије у Европској унији EU-25. Наиме, према EU-25 просеку у укупној производњи електричне енергије 32% чини енергија из нуклеарних електрана [Ferreira, 2010]. Из тог разлога занемаривање ефекта радиоактивног отпада без обзира што није дефинисан као стандарди утицај према СМЛ 2001 методи може бити у супротности с правилима ISO 14044. У даљем анализирању резултата нагласак остаје на факторе описане СМЛ 2001 методом, а идентификоване као „значајна питања“. То се односи на факторе: GWP, AP, EP, POCP и ADP.

Подела ових утицаја у укупном животном циклусу по фазама графички је приказана на **Слици 6.1**.



Слика 6.1. Упоредни приказ „значајних питања“ (CML 2001)

Иако се по укупним вредностима GWP исказује као најзначајнији утицај, исти је заправо линеарна пропорција сагоревања горива и ефеката од производње електричне енергије. Међутим, на ову категорију сем кроз смањења потрошње у радном циклусу није могуће утицати. У делу који се односи на утицаје AP, EP, POCP оптимизација је могућа и без директног смањења потрошње дизел горива или електричне енергије. Код дизел РТГ дизалица исто је могуће кроз уградњу еколошки чистијих агрегата намењених за уградњу у друмска теретна возила (Euro 6/Tier IV), а код Е-РТГ дизалице кроз коришћење електричне произведене из обновљивих природних ресурса.

Анализирањем вредности утицаја ADP уочава се сва специфичност концепта еколошке евалуације животног циклуса. Иако се могло очекивати да осиромашење природног ресурса може проистећи из велике масе РТГ

дизалица и учешћа више од 100 тона челика, што би резултирало осиромашењем руде железа, исто није забележено. Наиме, према CML 2001, ADP се исказује у еквиваленту Антимона (1 kg Sb-eq.), док је допринос 1 kg железа (Fe) овом утицају само 8.43×10^{-8} kg Sb-eq. На тај начин преко 95% овог утицаја повезано је са осиромашењем абиотичког ресурса услед производње фосилних.

Код резултата добијених према TRACI 2.1 методи за „значајна питања“ идентификују се добијене вредности потенцијала глобалног загревања и ацидификације. Због малих методолошких разлика у обрачуна резултати се разликују у односу на CML 2001 методу. Ацидификација ваздуха (mol H⁺) резултат је сагоревања дизел горива, који доприноси и потенцијалу за стварање смога.

Табела 6.2. Еколошки ефекти РТГ дизалица (TRACI 2.1.)

TRACI 2.1.	РТГ дизалица	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
AP Air [mol H+Eq.]	diesel	98.489,25	1.032.571,87	3.687.756,69	-11.176,79	4.807.641,03
	hybrid	102.828,36	565.701,88	1.917.633,48	-8.819,04	2.577.344,67
	electric	101.034,99	328.814,02	499.434,02	-9.612,04	919.671,00
EP Water [kg N-Eq.]	diesel	33,16	742,64	3.898,59	0,22	4.674,61
	hybrid	34,46	453,56	2.159,82	0,30	2.648,14
	electric	33,86	91,01	513,05	0,31	638,24
GWP Air [kg CO2-Eq.]	diesel	335.818,04	462.701,04	5.064.529,00	-15.850,30	5.847.197,78
	hybrid	350.519,71	316.125,65	3.242.314,41	-12.915,62	3.896.044,16
	electric	343.206,03	1.112.132,18	615.912,33	-13.631,26	2.057.619,29
HNCAPS [kg PM2,5-Eq.]	diesel	152,66	210,34	2.890,89	-7,55	3.246,35
	hybrid	159,35	143,71	2.224,15	-6,15	2.521,06
	electric	156,02	505,58	382,17	-6,49	1.037,27
Smog (kg NOx)	diesel	940,41	1.295,72	17.807,91	-46,49	19.997,54
	hybrid	981,58	885,26	13.700,75	-37,89	15.529,70
	electric	961,10	3.114,35	2.354,14	-39,99	6.389,60

Од осталих категорија утицаја може се указати и на вредности утицаја „критеријум за здравље људи“ (HNCAPS), који се према TRACI 2.1. исказује у (PM 2,5)²⁵. Добијене вредности захтевају пажњу јер се ради о честицама

²⁵ Суспендоване честице величине 2,5 μm

инхабилне величине, чији су негативни ефекти по здравље људи доказани [Pore et al., 2002]. Овај ефекат код дизалица погоњених дизел моторима може бити умањен SCR катализаторима, али се тада захтева употреба дизел горива с изузетно ниским садржајем сумпора, што би имало импликације на повећање еколошког ефекта фазе „од извора до резервоара“ због сложенијих процеса у рафинерији.

У делу који се односи на резултате фазе са становишта методе Ecoindicator 99, идентификован је утицај ацидификације. Међутим, због потпуно другачијег приступа, директно поређење с методама CML 2001 и TRACI 2.1. није могуће. Према методи Ecoindicator 99 ацидификација се исказује кроз изведену јединицу мере утицаја (**PDF·m²·a**), те је контекст другачији.

Табела 6.3. Еколошки ефекти РТГ дизалица (Ecoindicator 99)

Ecoindicator 99	РТГ дизалица	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
Acidification nutrification [PDF*m2*a]	diesel	2.075,00	88.197,71	901.079,96	-86,46	991.266,21
	hybrid	2.105,09	59.336,16	539.419,62	-87,71	600.773,16
	electric	2.114,43	225.269,99	108.129,60	-88,10	335.425,91
Ecotoxicity [PDF*m2*a]	diesel	724,00	53,40	545,55	3,14	1.326,09
	hybrid	734,50	60,01	545,55	3,18	1.343,24
	electric	737,76	81,83	65,47	2,10	887,16
Climate Change [DALY]	diesel	7,00E-01	1,90E-01	1,94E+00	6,73E-03	2,84E+00
	hybrid	7,10E-01	1,30E-01	1,18E+00	4,81E-03	2,03E+00
	electric	7,13E-01	2,92E-01	2,33E-01	2,94E-03	1,24E+00
Respiratory (inorganic) [DALY]	diesel	5,00E-01	1,51E+00	1,54E+01	4,13E-02	1,74E+01
	hybrid	5,07E-01	7,94E-01	7,22E+00	2,02E-02	8,54E+00
	electric	5,10E-01	2,31E+00	1,85E+00	1,11E-02	4,68E+00
Respiratory (organic) [DALY]	diesel	0,00E+00	1,58E-03	1,61E-02	4,20E-05	1,77E-02
	hybrid	0,00E+00	1,06E-03	9,64E-03	2,54E-05	1,07E-02
	electric	0,00E+00	2,42E-03	1,93E-03	1,03E-05	4,36E-03

Код категорија утицаја који се исказују у јединици мере **DALY** нису добијене вредности које би указале на посебну пажњу. Ипак, утицај на здравље људи у

облику категорије „респираторних проблема“ не сме бити занемарен. Наиме, код конвенционалне дизел верзије РТГ дизалице исти износи 17,4 DALY. Ради образложења става да исти није занемарљив неопходно је анализирати вредност сагласно на принципу исказивања утицаја у јединици DALY.

Добијена вредност импликује на губитак од 17 година живота за укупно становништво изложено овом утицају. Прерачунавањем ове вредности у претпоставку о броју становника и површини која окружује усвојени модел контејнерског терминала терминала, долази се до вредности о скраћењу живота становника за 0,25 дана по свакој РТГ дизалици на терминалу. Ако се прихвати да на терминалу може бити у експлоатацији и више од 20 дизалица говори се о скраћењу живота или инвалидности од најмање 5 дана по становнику. Наведено може осциловати у зависности од претпоставки, али се ради о еколошком ефекту који је ипак евидентан. Остале вредности су знатне ниже и презентоване су ради потпуности истраживања према Ecoindicator 99 методи.

6.1.2. Резултати циклуса „од колевке до гроба“ за Терминалске тракторе

Код животног циклуса терминалског трактора као еколошки најнеповољнији идентификује се конвенционални дизел трактор, али у мањем обим него што је случај разлике конвенционалне РТГ дизалице и модерних еколошких алтернатива РТГ дизалица. Свеукупно еколошки најефикаснији је електрични терминалски трактор, али су код њега приметни изазови који су везани за еколошке ефекте LFP батерија који су регистровани у две фазе. Наиме, неповољни еколошки ефекти производње LFP батерија евидентира се у фази „од колевке до врата“, као и у фази „употребе и одржавања“, јер је предвиђена замена батерија у току животног циклуса, односно у току 6 године експлоатације.

Као индикативан исход приказује се еколошки повољније рангирање хидраулично-хибридног трактора у односу на електро-хибридни трактора у свим категоријама осим глобалног загревања, где је резултат практично

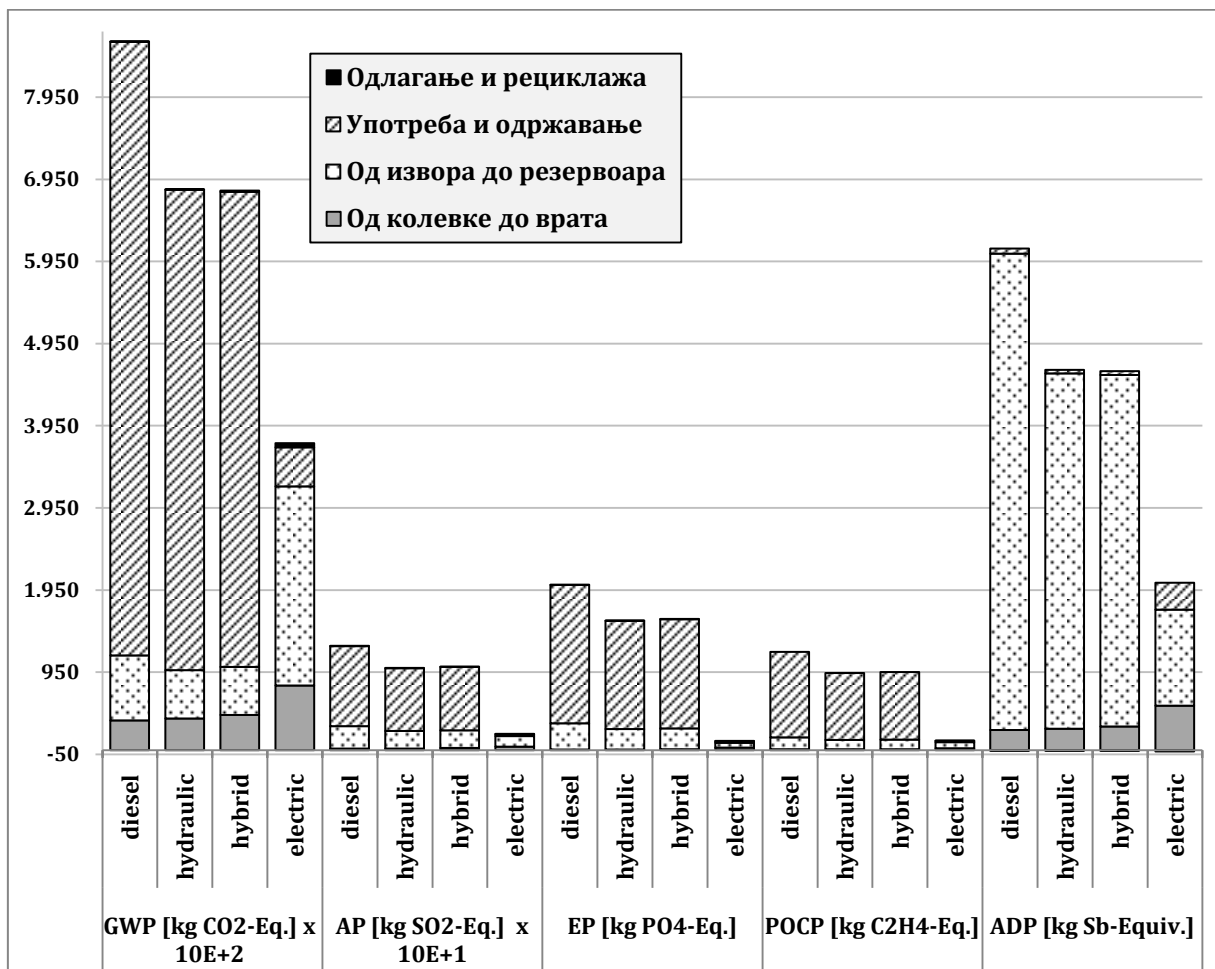
изједначен. Анализа указује да електро-хибридни трактор са еколошког становишта концепта животног циклуса такође оптерећен негативним ефектима производње и рециклаже или одлагања LFP батерија. Код електро-хибридног трактора није предвиђена замена батерија у току радног века. С друге стране, предност хидраулично-хибридног огледа у вишеструко већој специфичној снази [W/kg] хидраулични хибридног система у односу на електрохибридни систем који користи батерије.

Табела 6.4. Еколошки ефекти терминалног трактора (CML 2001)

CML 2001	Терминални трактор	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	36.174,60	79.260,91	746.884,86	246,67	862.567,04
	hydraulic	38.531,87	59.111,25	584.553,77	265,00	682.461,89
	hybrid	42.786,87	58.497,03	578.479,74	1.239,00	681.002,63
	electric	78.641,27	242.550,14	47.446,49	4.950,20	373.588,09
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	191,95	2.733,04	9.760,85	1,31E+00	12.687,15
	hydraulic	210,14	2.139,03	7.639,39	1,00E+00	9.989,56
	hybrid	277,50	2.159,22	7.711,51	3,00E+00	10.151,23
	electric	417,28	1.287,36	251,76	26,27	1.982,66
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	8,66	319,52	1.681,68	5,90E-02	2.009,92
	hydraulic	9,05	250,07	1.316,18	1,80E+00	1.577,10
	hybrid	13,50	252,43	1.328,60	4,00E+00	1.598,54
	electric	30,45	58,05	21,84	4,17E+00	114,50
ODP [kg R11-Eq.]	diesel	8,79E-03	5,50E-04	1,05E-04	0,00E+00	9,45E-03
	hydraulic	8,97E-03	4,86E-04	9,87E-05	0,00E+00	9,55E-03
	hybrid	1,32E-02	4,84E-04	9,28E-05	0,00E+00	1,38E-02
	electric	1,91E-02	5,90E-02	1,15E-02	0,00E+00	8,96E-02
POCP [kg C ₂ H ₄ -Eq.]	diesel	11,21	145,17	1.040,53	0,00E+00	1.196,91
	hydraulic	12,05	113,62	814,38	0,00E+00	940,04
	hybrid	12,84	114,69	822,07	0,00E+00	949,60
	electric	24,37	75,15	1,47E+01	2,47E+00	116,69
Radioactive waste (kg)	diesel	117,45	85,14	0,00	8,01E-01	203,39
	hydraulic	134,82	7,30E+01	0,00E+00	8,41E-01	208,66
	hybrid	140,21	7,27E+01	0,00E+00	1,01E+00	213,92
	electric	255,33	787,50	1,54E+02	1,14E+00	1.198,02
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	245,76	5.797,14	61,67	-6,63E+00	6.097,94
	hydraulic	261,73	4.323,39	45,99	-6,96E+00	4.624,16
	hybrid	290,52	4.278,47	45,52	-6,84E+00	4.607,67
	electric	541,73	1.168,48	3,29E+02	-1,46E+01	2.024,87

Посматрано са становишта категорије утицаја према CML 2001 методи и код терминалског трактора „значајна питања“ се односе на GWP, AP, EP и ADP што се потврђује као карактеристика машина с дугим радним веком (Слика 6.2). Категорија POCP (стварање фотохемијског смога) је вишеструко нижа него код РТГ дизалица. Обзиром да се и код терминалског трактора појављује потрошња електричне енергије евидентира се питање радиоактивног отпада, али у пропорционално мањем обиму у односу од РТГ дизалицу. Осиромашење ресурса - категорија ADP у највећем проценту везује се за производњу дизел горива.

Када је у питању електрични трактор осиромашење природног ресурса настаје услед производње електричне енергије, али се појављује и као ефекат производње LFP батерија.



Слика 6.2. Упоредни приказ „значајних питања“ (CML 2001)

Према резултатима по методи TRACI 2.1 као „значајна питања“ за терминалске тракторе остају ацидификација, еутрофикација и глобално загревање. Приметна је мања вредности емисије PM 2,5 у односу на РТГ дизалице, што одговара пропорционално мањој потрошњи терминалских трактора и повољнијем радном циклусу дизел агрегата који ређе ради при граници дима. С друге стране потенцијал за стварање смога није занемерљив и троструко је већи код дизел трактора него код оних електричних. То се потврђује и у извештајима о стању животне средине у околини лучко-контејнерских терминала где је висок ниво емисије азотних-оксида (NO_x) повезиван са терминалским тракторима.

Табела 6.5. Еколошки ефекти ТТ по фазама и утицајима (TRACI 2.1.)

TRACI 2.1.	Терминалски трактор	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
Acidification Air [mol H+Eq.]	diesel	10.699,69	152.347,78	544.099,22	72,96	707.219,66
	hydraulic	11.713,92	119.235,88	425.842,42	55,74	556.847,96
	hybrid	15.468,68	120.361,58	429.862,79	167,23	565.860,29
	electric	23.260,45	71.761,31	46.995,07	1.464,17	143.481,00
Eutrophication Water [kg N-Eq.]	diesel	65,66	934,85	3.338,76	4,48E-01	4.339,71
	hydraulic	71,88	731,67	2.613,10	0,34	3.416,99
	hybrid	94,92	738,57	2.637,77	1,03	3.472,29
	electric	142,73	440,35	288,38	8,98	880,44
Global Warming Air [kg CO2-Eq.]	diesel	36.189,07	79.292,62	747.183,61	246,77	862.912,06
	hydraulic	38.547,28	59.134,89	584.787,60	265,11	682.734,87
	hybrid	42.803,98	58.520,43	578.711,13	1.239,50	681.275,03
	electric	78.672,72	242.647,16	47.421,56	4.952,18	373.693,63
HHCAPS [kg PM2,5-Eq.]	diesel	19,57	26,97	370,63	-9,68E-01	416,20
	hydraulic	21,43	21,57	313,30	-0,82	355,49
	hybrid	28,30	21,87	318,00	-0,86	367,31
	electric	20,15	64,82	49,00	-0,83	133,13
Smog (kg NO _x)	diesel	120,56	166,12	2.283,07	-5,96E+00	2.563,79
	hydraulic	125,97	1,33E+02	1,93E+03	-5,04E+00	2.183,76
	hybrid	188,00	1,35E+02	1,96E+03	-5,29E+00	2.276,29
	electric	124,10	399,28	301,81	-5,13E+00	820,06

Према методи Ecoindicator 99 осим ацидификације за које су исказане знатне вредности услед сагоревања дизел горива, други утицај (еколошка токсичност) који се исказује преко јединице (PDF·m²·a) је знатно нижи. У делу који се односи на категорије утицаја који се исказују у јединици мере (DALY) све су на ниском нивоу. Утицај на здравље људи у облику категорије „респираторних проблема“ који је регистрован код конвенционалне дизел верзије РТГ дизалице, за конвенционални дизел терминалски трактор износи 2,78 DALY. Не треба занемарити да је број терминалских трактора знатно већи од РТГ дизалица, па на терминалима се може наћи и до 100 трактора, те тада овај утицај свакако треба урачунати.

Табела 6.6. Еколошки ефекти ТТ по фазама и утицајима (Ecoindicator 99)

Ecoindicator 99	Терминалски трактор	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
Acidification nutrification [PDF*m2*a]	diesel	285,31	15.768,90	150.179,99	-3,46E+00	166.230,75
	hydraulic	318,12	12.567,86	119.693,95	-3,50E+00	132.576,43
	hybrid	357,89	11.827,71	121.309,81	1,17E+00	133.496,58
	electric	518,75	79.042,10	6.021,83	4,70E+00	85.587,38
Ecotoxicity [PDF*m2*a]	diesel	99,55	9,17	87,29	-4,66E-02	195,96
	hydraulic	111,00	7,30	69,57	-4,46E-02	187,83
	hybrid	124,87	6,87	70,51	4,80E-01	202,74
	electric	181,00	41,57	3,50	5,37E-01	226,60
Climate Change [DALY]	diesel	9,63E-02	3,26E-02	3,11E-01	-1,04E-03	4,39E-01
	hydraulic	1,07E-01	2,60E-02	2,48E-01	-9,05E-04	3,80E-01
	hybrid	1,21E-01	2,45E-02	2,51E-01	9,41E-04	3,97E-01
	electric	1,75E-01	1,48E-01	1,25E-02	7,97E-04	3,36E-01
Respiratory (inorganic) [DALY]	diesel	6,88E-02	2,59E-01	2,46E+00	-6,63E-03	2,78E+00
	hydraulic	7,67E-02	2,06E-01	1,96E+00	-5,33E-03	2,24E+00
	hybrid	8,62E-02	7,61E-02	7,80E-01	2,24E-04	9,43E-01
	electric	1,25E-01	1,17E+00	3,87E-02	3,17E-03	1,34E+00
Respiratory (organic) [DALY]	diesel	0,00E+00	2,71E-04	2,58E-03	-6,77E-07	2,85E-03
	hydraulic	0,00E+00	2,16E-04	2,05E-03	-5,39E-07	2,27E-03
	hybrid	0,00E+00	2,03E-04	2,08E-03	5,43E-07	2,29E-03
	electric	0,00E+00	1,23E-03	1,03E-04	3,16E-07	1,33E-03

6.2. Резултати фазе „од колевке до врата“

У овој фази описани су најзначајнији процеси везани за производњу изабраних машина логистичког пара. Резултати ове фазе указују на неповољније еколошке ефекте електричних и хибридних машина у односу на конвенционалне машине логистичког пара, посебно електричног терминалског трактора. У овом поглављу дати су коментари само за резултате према CML 2001 методи.

6.2.1. Резултати фазе „од колевке до врата“ за РТГ дизалице

Фаза животног циклуса „од колевке до врата“ која обухвата процесе од екстракције сировина, преко производње материјала и компонената до финалне монтаже учествује у укупном резултату категорије GWP од 5,75% за конвенционалну дизалицу, 9,00% за хибридную и 16,74% за Е-РТГ дизалицу.

Табела 6.7. Процентуални удео фазе у укупном животног циклусу

РТГ дизалица	Утицај (CML 2001)						
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP
diesel	5,75%	2,05%	0,71%	16,94%	0,87%	45,24%	10,17%
hybrid	9,00%	4,09%	1,49%	26,73%	1,83%	55,50%	15,02%
electric	16,74%	11,12%	5,61%	15,61%	6,25%	16,53%	25,56%

С обзиром на то да су апсолутне вредности утицаја фазе производње приближне за све три дизалице, процентуалне вредности учешћа ове фазе у укупном резултату заправо зависе од ефеката из других фаза. Из тог разлога је процентуални удео ове фазе највећи за Е-РТГ дизалицу, а најмањи за конвенционалну РТГ дизалицу.

Најповољнији еколошки ефекат у фази производње односи се на хибридную РТГ дизалицу, али су разлике у односу на остале дизалице минималне. Ово произилази из технологије производње хибридне дизалице, где је иста заправо конвенционална дизалица са додатком ултракондензатора.

Табела 6.8. Еколошки ефекти производње по компонентама РТГ дизалице

CML 2001	РТГ дизалица	Портал	Средер, колица и сл.	Систем дизел генератор (Genset)	Хибридна/ Е-РТГ инсталација	Остале пратеће компоненте	Од колевке до врата
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	245.969,28	61.457,03	18.786,33	0,00	9.618,12	335.830,77
	hybrid	245.969,28	61.457,03	15.826,73	17.661,83	9.618,12	350.533,00
	electric	245.969,28	61.457,03	15.098,70	12.294,52	9.618,12	344.437,66
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	1.241,46	323,33	151,45	0,00	50,60	1.766,85
	hybrid	1.241,79	323,42	127,62	147,75	50,62	1.891,20
	electric	1.241,73	323,40	124,30	97,16	50,61	1.837,20
ODP [kg R11-Eq.]	diesel	3,53E-02	7,53E-03	5,33E-03	0,00E+00	7,13E-03	5,58E-02
	hybrid	3,53E-02	7,53E-03	4,87E-03	4,12E-03	7,13E-03	5,89E-02
	electric	3,53E-02	7,53E-03	4,64E-03	3,32E-03	7,13E-03	5,79E-02
POCP [kg C ₂ H ₄ -Eq.]	diesel	63,27	13,52	17,23	0,00	6,09	100,11
	hybrid	63,27	13,52	15,14	6,58	6,09	104,60
	electric	63,27	13,52	14,78	5,12	6,09	102,78
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	68,11	17,74	8,31	0,00	2,78	96,93
	hybrid	68,11	17,74	6,97	20,19	2,76	115,77
	electric	68,11	17,74	6,79	9,52	2,76	104,92
Radioactive waste (kg)	diesel	523,60	136,37	63,87	0,00	21,34	745,19
	hybrid	523,60	136,37	54,44	51,10	21,34	786,85
	electric	523,60	136,37	53,02	38,80	21,34	773,13
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	2.721,46	708,79	332,00	0,00	110,93	3.873,18
	hybrid	2.721,46	708,79	279,69	315,05	110,93	4.135,92
	electric	2.721,46	708,79	272,42	225,55	110,93	4.039,15

Како је претпоставкама усвојено да је резултат хибридне РТГ дизалице заправо збир резултата конвенционалне дизалице с агрегатом мање радне запремине и резултата еколошког утицаја надограђених делова неповољнији резултат је очекиван. Код Е-РТГ дизалице усвојена је претпоставка уградње дизел агрегата још мање радне запремине и затим придодат еколошки ефекат инсталације компоненти за пријем електричне енергије (бочна троле) који је симболичан.

Резултати фазе „од колевке до врата“ код све три врсте дизалица показују да је највећи еколошки отисак последица потрошње енергије за производњу челичних компоненти. То се односи првенствено на компоненте портала, средера и колица чија производња чини преко 90% укупног утицаја

категорије GWP. Ове компоненте имају доминантан утицај и идентичне су вредности за све три врсте дизалица, а сагласно усвојеним претпоставкама.

Важно је нагласити да предметним истраживањем еколошких ефеката производње РТГ дизалице у обзир нису узети еколошки ефекти прилагођавања терминала за коришћење РТГ дизалице, те да у овом случају се ради само о нето-ефекту саме машине.

6.2.2. Резултати фазе „од колевке до врата“ за Терминалске тракторе

Фаза животног циклуса терминалског „од колевке до врата“ учествује у укупном резултату за категорију GWP од 4,19% за конвенционални дизел терминалски трактор, до чак 19,06% за електрични терминалски трактор. Учешћу ове фазе у укупном резултату је приближно за све тракторе с дизел мотором због сличних ефеката фазе производњи. Одступање учешћа за електрични трактор потиче због значајно неповољнијег резултата у овој фази, али и укупно мањег еколошког отиска у осталим фазама. Обрачун учешћа ове фазе у укупном животног циклусу по категоријама утицаја приказан је у Табели 6.9.

Табела 6.9. Процентуални удео фазе у укупном животног циклусу

Терминалски трактор	Категорије утицаја (CML 2001)						
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP
diesel	4,19%	1,51%	0,43%	93,07%	0,94%	57,75%	4,03%
hydraulic	5,65%	2,10%	0,57%	93,88%	1,28%	64,61%	5,65%
hybrid	6,28%	2,73%	0,84%	95,81%	1,35%	65,54%	6,29%
electric	21,05%	21,15%	26,59%	21,33%	20,88%	21,31%	26,50%

Најнеповољнији еколошки ефекти у овој фази везују се за електрични терминалски трактор, а последица су еколошког ефекта производње LFP батерија. Код електричног терминалског трактора неповољни еколошки ефекти односе се за све категорије утицаја. За категорију утицаја GWP исти је већи чак за 89% у односу на конвенционални трактор. Резултат се потврђује и чињеницама из литературе, где је однос утицаја GWP код производње

дизел мотора и литијумских батеријама за потребе просечног путничког возила до 1:20 [Zackrisson et al., 2010]. Код хибридних терминалских трактора неповољнији је утицај електро-хибридног у односу на хидраулични, опет због LFP батерија.

Табела 6.10 Еколошки ефекти производње по компонентама трактора

CML 2001	Терминалски трактор	Шасија и компоненте вешања	Кабина и пратеће компоненте	Погонска група	Хибридни систем/ (LFP) Батерије	Остале пратеће компоненте	Од колевке до врата
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	16.218,13	9.487,61	8.265,18	0,00	2.203,68	36.174,60
	hydraulic	16.218,13	9.487,61	8.265,18	2.357,27	2.203,68	38.531,87
	hybrid	16.218,13	9.487,61	8.265,18	6.612,27	2.203,68	42.786,87
	electric	16.218,13	9.487,61	3.471,38	47.446,49	2.017,67	78.641,27
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	86,06	50,34	43,86	0,00	11,69	191,95
	hydraulic	86,06	50,34	43,86	18,19	11,69	210,14
	hybrid	86,06	50,34	43,86	85,55	11,69	277,50
	electric	86,06	50,34	18,42	251,76	10,71	417,28
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	3,88	2,27	1,98	0,00	0,53	8,66
	hydraulic	3,88	2,27	1,98	0,39	0,53	9,05
	hybrid	3,88	2,27	1,98	4,84	0,53	13,50
	electric	3,88	2,27	1,98	21,84	0,48	30,45
ODP [kg R11-Eq.]	diesel	3,94E-03	2,31E-03	2,01E-03	0,00E+00	5,36E-04	8,79E-03
	hydraulic	3,94E-03	2,31E-03	1,92E-03	2,61E-04	5,36E-04	8,97E-03
	hybrid	3,94E-03	2,31E-03	2,54E-03	3,85E-03	5,36E-04	1,32E-02
	electric	3,94E-03	2,31E-03	8,44E-04	1,15E-02	4,90E-04	1,91E-02
POCP [kg C ₂ H ₄ -Eq.]	diesel	5,02	2,94	2,56	0,00E+00	0,68	11,21
	hydraulic	5,02	2,94	2,56	8,38E-01	0,68	12,05
	hybrid	5,02	2,94	2,56	1,63E+00	0,68	12,84
	electric	5,02	2,94	1,08	1,47E+01	0,63	24,37
Radioactive waste (kg)	diesel	52,66	30,80	26,84	0,00E+00	7,15	117,45
	hydraulic	52,66	3,08E+01	2,68E+01	1,74E+01	7,15	134,82
	hybrid	52,66	3,08E+01	2,68E+01	2,28E+01	7,15	140,21
	electric	52,66	30,80	11,27	1,54E+02	6,55	255,33
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	110,18	64,46	56,15	0,00E+00	14,97	245,76
	hydraulic	110,18	64,46	56,15	1,60E+01	14,97	261,73
	hybrid	110,18	64,46	56,15	4,48E+01	14,97	290,52
	electric	110,18	64,46	23,91	3,29E+02	13,90	541,73

Осим „значајног питања“ који је се односи на еколошки ефекат LFP батерија, производња челичних компоненти попут шасије, доњег построја и кабине чини нешто мање од 70% утицаја по GWP за конвенционални трактор. Важно је нагласити да се упркос примењеном „cut-off“ критеријуму, резултати производње шасије, кабине и сличних компоненти остају у оквирима блиским пропорцијама из литературе где су спроведене студије LCA за путничка возила [Schweimer & Levin, 2006],[Renault, 2011]. Код наведених извора удео производње ових компоненти је преко 55%, што одговара мањој маси возила из навођених истраживања.

У делу који се односи на еколошке ефекте погонске групе, резултати производње дизел мотора су у складу с пропорцијама радне запремине. За три терминалског трактора који користе дизел агрегат резултат је идентичан јер су претпоставкама усвојени идентични агрегати. Код електричног трактора овај утицај не постоји јер нема дизел агрегата, али је остао утицај производње осталих компоненти, попут аутоматске трансмисије, карданског вратила, погонских осовина и која су идентична као код осталих трактора.

6.3. Резултати фазе „од извора до резервоара“

Резултати ове фазе која се често истражује одвојено указују на еколошке ефекте производње дизел горива и производње електричне енергије, чиме је омогућено квалитетно упоређивање изабраних машина логистичког пара.

6.3.1. Резултати фазе „од извора до резервоара“ за РТГ дизалице

Фаза „од извора до резервоара“ учествује у укупном резултату за категорију утицаја GWP износи 7,91% за конвенционалну дизалицу, 8,11% за хибридную и 54,01% за електричну РТГ дизалицу. Сви еколошки ефекти производња електричне енергије која се користи у фази употребе приказују се у овој фази што условљава резултат за електричну дизалицу. Из тог разлога забележен

је висок удео радиоактивног отпада. Обрачун учешћа ове фазе у укупном животном циклусу по категоријама утицаја приказан је у Табели 6.11.

Табела 6.11. Процентуални удео фазе у укупном животном циклусу

РТГ дизалица	Утицај (CML 2001)						
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP
diesel	7,91%	21,48%	15,89%	77,95%	38,01%	54,78%	88,87%
hybrid	8,11%	21,93%	17,09%	69,88%	30,09%	44,55%	83,96%
electric	54,01%	35,70%	14,21%	72,87%	20,94%	77,18%	73,43%

Посматрано по врстама дизалица најнеповољнији еколошки ефекат односи се на електричну РТГ дизалицу. Овај резултат условљен је чињеницом да се укупан еколошки ефекат производње електрична енергије исказује у овој фази. Код РТГ дизалица које користе искључиво дизел гориво у овој фази утицај је знатно нижи. Ипак, да процена фазе „од извора до резервоара“ није спроведена – претходно наведени ефекат не би био идентификован. Производња дизел горива оставља еколошки отисак у знатној мери и исти у предметном случају за конвенционалну и хибридную РТГ дизалицу износи око 8% од укупног ефекта GWP животног циклуса. Овај резултат одговара еколошком ефекту производње дизел горива који се креће до 10% укупне емисије CO₂ емитоване услед сагоревања дизел горива.

Важно је нагласити да се 54% утицаја GWP електричне РТГ дизалице односи само на производњу електричне енергије. Наиме, еколошки ефекат производње дизел гориво које електрична РТГ дизалица користи у периодима када није прикључена на електромеру износи мање од 1%. Тако низак утицај је занемарен, сагласно усвојеном „cut-off“ критеријуму.

Табела 6.12 Еколошки ефекти производње горива и ел.енергије

CML 2001	РТГ дизалица	Производња електричне енергије	Дистрибуција електричне енергије	Производња сирове нафте	Процеси у рафинерији	Транспорт и остали процеси	Од извора до резервоара
		Електрична енергија		Дизел гориво			
GWP [kg CO2-Eq.]	diesel	2.312,58	185,01	416.316,70	27.750,96	15.950,79	462.516,04
	hybrid	1.580,00	126,40	284.435,04	18.959,96	10.897,87	315.999,26
	electric	1.022.752,50	88.935,00	0,00	0,00	0,00	1.111.687,5
AP [kg SO2-Eq.]	diesel	92,62	7,41	16.673,51	1.111,43	638,83	18.523,79
	hybrid	50,74	4,06	9.134,70	608,90	349,99	10.148,39
	electric	5.426,85	471,90	0,00	0,00	0,00	5.898,75
Radioact. waste (kg)	diesel	4,51	0,36	812,21	54,14	31,12	902,34
	hybrid	3,16	0,25	568,55	37,90	21,78	631,64
	electric	3.501,09	108,28	0,00	0,00	0,00	3.609,38
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	169,14	13,53	32.636,36	811,88	197,49	33.828,40
	hybrid	1.155,61	92,45	21.208,19	554,69	101,23	23.112,17
	electric	11.255,23	348,10	0,00	0,00	0,00	11.603,33

6.3.2. Резултати фазе „од извора до резервоара“ за Терминалске тракторе

Учешће ове фазе у укупном резултату ефекта GWP креће се од 9,19% за конвенционални дизел терминалски трактор до 67,95% за електрични терминалски трактор. Слично резултатима код РТГ дизалице, ова разлика потиче од производње електричне енергије за терминалски трактор за фазу „употребе и одржавања“. Обрачун учешћа ове фазе у укупном животном циклусу по категоријама утицаја приказан је у Табели 6.13.

Табела 6.13. Процентуални удео фазе у укупном животном циклусу

Терминалски трактор	Утицај (CML 2001)						
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP
diesel	9,19%	21,54%	15,90%	5,82%	12,13%	41,86%	94,95%
hydraulic	8,66%	21,41%	15,86%	5,09%	12,09%	34,98%	93,34%
hybrid	8,59%	21,27%	15,79%	3,52%	12,08%	33,98%	92,70%
electric	64,92%	64,93%	50,70%	65,80%	64,40%	65,73%	57,16%

За разлику од РТГ дизалице која користи и помоћни дизел агрегат, електрични терминалски трактор нема директне емисије у фази „употребе и одржавањ“. Код електричног терминалског трактора еколошки ефекат коришћења кроз потрошњу електричне енергије заправо је пренесен у фазу „од извора до резервоара“.

Табела 6.14 Еколошки ефекти производње горива и ел.енергије

CML 2001	Терминалски трактор	Производња електричне енергије	Дистрибуција електричне енергије	Производња сирове нафте	Процеси у рафинерији	Транспорт	Од извора до резервоара
		Електрична енергија		Дизел гориво			
GWP [kg CO2-Eq.]	diesel	396,30	31,70	71.343,78	5.242,39	2.246,74	79.260,91
	hydraulic	295,56	23,64	53.206,80	3.909,67	1.675,57	59.111,25
	hybrid	292,49	23,40	52.653,94	3.869,05	1.658,16	58.497,03
	electric	223.146,13	19.404,01	0,00	0,00	0,00	242.550,14
AP [kg SO2-Eq.]	diesel	13,67	1,09	2.460,04	180,77	77,47	2.733,04
	hydraulic	10,70	0,86	1.925,37	141,48	60,63	2.139,03
	hybrid	10,80	0,86	1.943,54	142,81	61,21	2.159,22
	electric	1.184,37	102,99	0,00	0,00	0,00	1.287,36
Radioact. waste (kg)	diesel	0,43	0,03	76,64	5,63	2,41	85,14
	hydraulic	0,37	0,03	65,71	4,83	2,07	73,00
	hybrid	0,36	0,03	65,44	4,81	2,06	72,70
	electric	763,88	23,63	0,00	0,00	0,00	787,50
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	28,99	2,32	5.218,08	383,43	164,33	5.797,14
	hydraulic	21,62	1,73	3.891,54	285,95	122,55	4.323,39
	hybrid	21,39	1,71	3.851,11	282,98	121,28	4.278,47
	electric	1.133,43	35,05	0,00	0,00	0,00	1.168,48

6.4. Резултати фазе „употребе и одржавања“

6.4.1. Резултати фазе „употребе и одржавања“ за РТГ дизалице

Фаза „употребе и одржавања“ РТГ дизалице која обухвата експлоатацију дизалица и њихово одржавање представља најдужу фазу у животном циклусу. Сагласно карактеристичности машина са дугим радним веком ова фаза учествује у укупном резултату за категорију утицаја GWP са 86,61% за конвенционалну дизалицу, 83,22% за хибридную и 29,91% за електричну РТГ дизалицу. Учешће у осталим категоријама приказано је у табели 6.15.

Табела 6.15. Процентуални удео фазе у укупном животном циклусу

РТГ дизалица	Утицај (CML 2001)						
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP
diesel	86,61%	76,71%	83,40%	5,11%	61,30%	0,10%	0,94%
hybrid	83,22%	74,33%	81,40%	3,39%	68,38%	0,06%	0,89%
electric	29,91%	54,22%	80,13%	11,52%	73,92%	6,32%	0,78%

Код фазе употребе, најнеповољнији еколошки ефекат оставља конвенционална РТГ дизалица, услед мале ефикасности система дизел-генератора, изостанка рада у режиму променљивог броја обртаја и нерегулисаног третмана издувних гасова који су карактеристични за вандрумске моторе. Хибридна дизалица показује унапређење еколошке ефикасности, док је утицај електричне РТГ дизалице у овој фази изузетно повољан. Једини период директног загађење од електричне РТГ дизалице у овој фази потиче од коришћења дизел агрегата у случајевима промена места коришћења (промена оперативног блока) када се прекида напајање с мреже. Утицај који се односи на одржавање дизалица износи око 2% за конвенционалну дизалицу и хибридную РТГ дизалицу са становишта категорије утицаја GWP и око 6,5% за електричну РТГ дизалицу. Овај резултат произилази из готово занемарљиве потрошње дизел горива електричне РТГ дизалице, код које је стварни ефекат коришћења исказан у фази „од извора до резервоара“.

Табела 6.16. Еколошки ефекти употребе и одржавања РТГ дизалица

CML 2001	РТГ дизалица	Еколошки ефекат сагоревања дизел горива		Редовно одржавање дизалице	Употреба и одржавање
		Коришћење		Одржавање	
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	4.966.316,42		96.187,58	5.062.504,00
	hybrid	3.167.592,37		73.425,63	3.241.018,00
	electric	575.420,22		40.245,85	615.666,07
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	64.899,44		1.256,97	66.156,41
	hybrid	33.441,81		959,52	34.401,33
	electric	8.433,65		525,93	8.959,58
ODP [kg R11-Eq.]	diesel	11.180,99		216,55	1,14E+04
	hybrid	6.148,93		165,31	6,31E+03
	electric	1.409,30		90,61	1,50E+03
POCP [kg C ₂ H ₄ -Eq.]	diesel	0,02		0,00	0,02
	hybrid	0,01		0,00	0,01
	electric	0,04		0,00	0,04
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	6.918,28		133,99	7.052,27
	hybrid	3.804,67		102,28	3.906,96
	electric	1.159,84		56,06	1.215,91
Radioactive waste (kg)	diesel	1,54		0,03	1,57
	hybrid	0,85		0,02	0,87
	electric	295,46		0,01	295,47
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	352,49		6,83	359,31
	hybrid	240,28		5,21	245,49
	electric	120,39		2,86	123,25

6.4.2. Резултати фазе „употребе и одржавања“ за Терминалске тракторе

За ову фазу везује се и највећи еколошки утицај за све моделе трактора погоњене дизел мотором. Учешће ове фазе у укупном резултату за референти утицај ГВП износи око 86% код за три модела терминалског трактора с дизел мотором.

Табела 6.17. Процентуални удео фазе у укупном животном циклусу

Терминалски трактор	Утицај (CML 2001)						
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP
diesel	86,59%	76,93%	83,67%	1,11%	86,93%	0,00%	1,01%
hydraulic	85,65%	76,47%	83,46%	1,03%	86,63%	0,00%	0,99%
hybrid	84,95%	75,97%	83,11%	0,67%	86,57%	0,00%	0,99%
electric	12,70%	12,70%	19,07%	12,87%	12,60%	12,86%	16,11%

Потпуно другачију слику резултат је за електрични терминалски трактор са учешћем од само 12,70% утицаја GWP у укупном резултату. Наведено је последица чињенице да су еколошки ефекти производње електричне енергије пренети у фазу „од извора до резервоара“, а да је регистровани ефекат повезан са LFP батеријама. Резултати намећу преиспитивање појма „нулте емисије“ са становишта концепта животног циклуса, чак и за фазу употребе.

Табела 6.18. Еколошки ефекти коришћења и одржавања трактора

CML 2001	Терминалски трактор	Еколошки ефекат сагоревања дизел горива	Редовно одржавање	Замена LFP батерија	Употреба и одржавање
		Коришћење	Одржавање		
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	710.694,00	36.190,86	0,00	746.884,86
	hydraulic	552.886,77	31.667,00	0,00	584.553,77
	hybrid	550.612,78	27.866,96	0,00	578.479,74
	electric	0,00	0,00	47.446,49	47.446,49
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	9287,88	472,97	0,00	9.760,85
	hydraulic	7225,54	413,85	0,00	7.639,39
	hybrid	7347,33	364,19	0,00	7.711,51
	electric	0,00	0,00	251,76	251,76
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	1600,19	81,49	0,00	1.681,68
	hydraulic	1244,88	71,30	0,00	1.316,18
	hybrid	1265,86	62,75	0,00	1.328,60
	electric	0,00	0,00	21,84	21,84
ODP [kg R11-Eq.]	diesel	9,99E-05	5,09E-06	0,00E+00	1,05E-04
	hydraulic	9,42E-05	4,45E-06	0,00E+00	9,87E-05
	hybrid	8,89E-05	3,92E-06	0,00E+00	9,28E-05
	electric	0,00E+00	0,00E+00	1,15E-02	1,15E-02
POCP [kg C ₂ H ₄ -Eq.]	diesel	990,11	50,42	0,00E+00	1.040,53
	hydraulic	770,26	44,12	0,00E+00	814,38
	hybrid	783,25	38,82	0,00E+00	822,07
	electric	0,00	0,00	1,47E+01	14,70
Radioactive waste (kg)	diesel	0,00	0,00	0,00	0,00
	hydraulic	0,00	0,00	0,00	0,00
	hybrid	0,00	0,00	0,00	0,00
	electric	0,00	0,00	1,54E+02	154,05
ADP [kg Sb-Eq.]	diesel	58,68	2,99	0,00E+00	61,67
	hydraulic	43,38	2,61	0,00E+00	45,99
	hybrid	43,21	2,30	0,00E+00	45,52
	electric	0,00	0,00	3,29E+02	329,28

Ако се упореде резултати који се односе на два хибридна дизел трактора, уочава се нешто повољнији резултат електро-хибридног за вредности GWP од 1%, али и лошији за 1% код AP и EP. Овакав резултат може се образложити тиме што је просечна потрошња електро хибридног трактора нижа за 1,5% у претпостављеном циклусу, али је виша за 9% при оптерећењима дизел мотора близу границе максималне снаге. Због веће специфичне снаге хидрауличног-хибридног система у односу на електро-хибридни систем дизел агрегат хидрауличног-хибридног трактора је у експлоатацији даље од „границе дима“ у односу на електро-хибридни. У тим режимима рада дизел агрегата веће су емисије гасова (NO_x, SO₂) које се повезују са ефектима AP и EP. Примећује се и непостојање радиоактивног отпада код свих модела терминалског трактора с дизел мотором.

6.5. Резултати краја животног циклуса

Обзиром да су добијени резултати ове фазе за све категорије утицаја мањи од граница према „cut-off“ критеријумима, исти би се у посматрању укупног животног циклуса могли занемарити. Из тог разлога резултати су приказани у сажетом облику за РТГ дизалицу и терминалски трактор обједињено. Позитивни доприноси ове фазе укупном животном циклусу износе мање од 1% и потичу од потенцијала за рециклажу челичних компонената.

Табела 6.19. Процентуални удео фазе у укупном животном циклусу

Машина логистичког пара	Утицај (CML 2001)							
	GWP	AP	EP	ODP	POCP	RW	ADP	
РТГ дизалица	diesel	-0,27%	-0,23%	0,00%	0,00%	-0,18%	-0,11%	-0,07%
	hybrid	-0,33%	-0,34%	0,01%	0,00%	-0,30%	-0,11%	-0,13%
	electric	-0,66%	-1,04%	0,05%	0,00%	-1,11%	-0,03%	-0,20%
Терминалски трактор	diesel	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,39%	-0,11%
	hydraulic	0,04%	0,01%	0,11%	0,00%	0,00%	0,40%	-0,15%
	hybrid	0,18%	0,03%	0,25%	0,00%	0,00%	0,47%	-0,15%
	electric	1,33%	1,32%	3,64%	0,00%	2,12%	0,10%	-0,72%

6.6. Резултати „what if“ анализе

Код „what if“ анализе извршено је испитивање утицаја алтернативног сценарија снабдевања електричном енергијом, уместо претпостављеног снабдевања према EU-25. Анализом је обухваћено истраживање исхода резултата само према CML 2001 методи и то за најзаступљеније категорије утицаја: потенцијал глобалног загревања GWP, ацидификације AP и еутрофикације EP. Извршена је измена параметара за снабдевање електричном енергијом са просека EU-25 на електричну енергију из система ЕПС-а. Ове измене односе се искључиво на електричне машине логистичког пара и фазу „од извора до резервоара“.

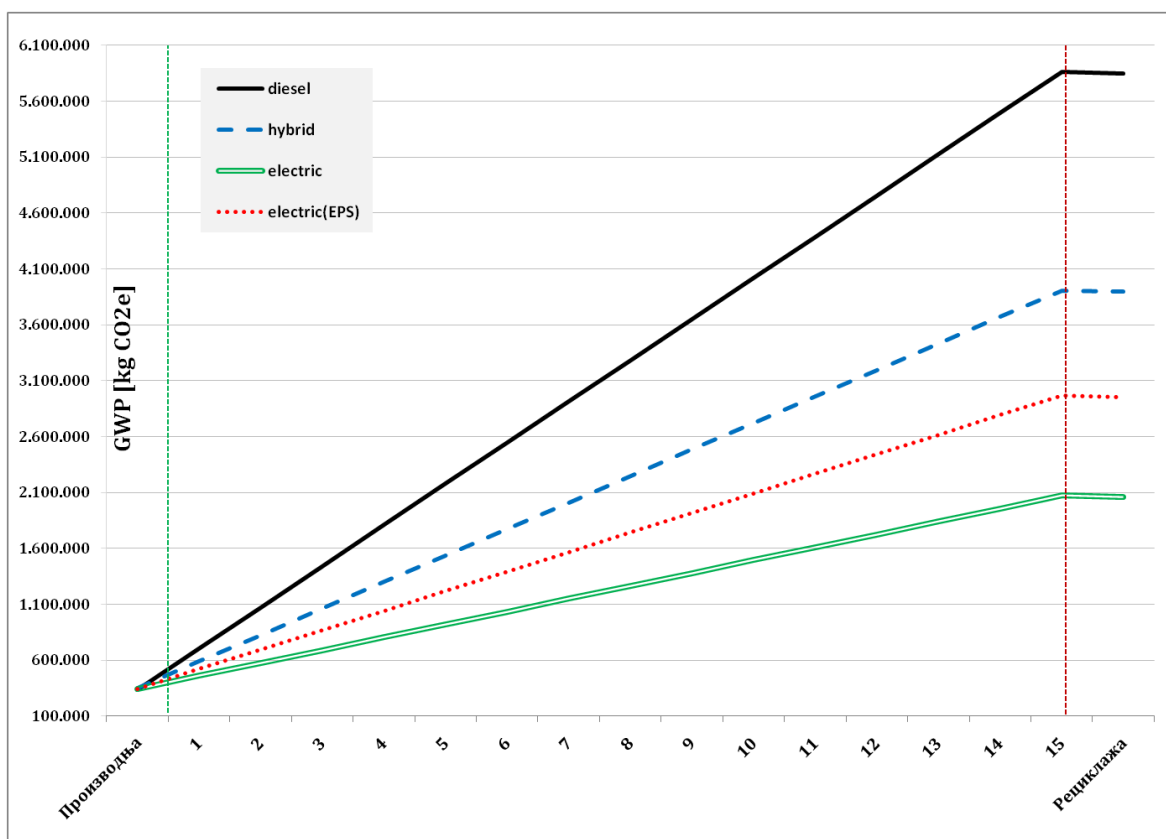
6.6.1. Резултати „what if“ анализе за РТГ дизалице

Резултати указују на значај избора снабдевача електричном енергије када се анализирају еколошки ефекти машина на електрични погон. Транзицијом снабдевања електричне енергије са електромреже Европске уније (EU-25) на снабдевање електричном енергијом из система ЕПС-а, код електричне РТГ дизалице забележено је повећање свих посматраних категорија GWP, AP и EP.

Табела 6.20. Резултати „what if“ анализе за РТГ дизалице

CML 2001	РТГ дизалица	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
GWP [kg CO2-Eq.]	diesel	335.830,77	462.516,04	5.062.504,00	-15.843,96	5.845.006,84
	hybrid	350.533,00	315.999,26	3.241.018,00	-12.910,45	3.894.639,80
	electric	344.437,66	1.111.687,50	615.666,07	-13.625,81	2.058.165,42
	electric EPS	344.437,66	1.959.375,00	615.666,07	-13.625,81	2.905.852,92
AP [kg SO2-Eq.]	diesel	1.766,85	18.523,79	66.156,41	-200,51	86.246,54
	hybrid	1.891,20	10.148,39	34.401,33	-158,21	46.282,72
	electric	1.837,20	5.898,75	8.959,58	-172,43	16.523,10
	electric EPS	1.837,20	17.325,00	8.959,58	-172,43	27.949,35
EP [kg PO4-Eq.]	diesel	96,93	2.171,12	11.397,54	0,64	13.666,23
	hybrid	115,77	1.325,99	6.314,24	0,87	7.756,87
	electric	104,92	266,06	1.499,91	0,92	1.871,82
	electric EPS	104,92	19.078,13	1.499,91	0,92	20.683,88

Категорија утицаја GWP на крају целог животног циклуса електричне РТГ дизалице у алтернативном сценарију у односу на референтни сценарио повећана је за 43,52%, а у фази „извора до резервоара“ за 76,25%. Без обзира на значајно повећање ефекта GWP, електрична РТГ дизалица остаје за ову категорију ефикаснија од осталих дизалица у значајној мери (слика 6.3). Ацидификација (AP) је такође је повећана, и то за цео животно циклуса за 69,15%, а у фази „извора до резервоара“ за 193%. Када је у питању еутрофикација (EP) сви негативни ефекти доминантног ископавања лигнита за потребе термоелектрана ЕПС-а долазе до изражаја, те је повећање потенцијала еутрофикације забрињавајуће и износи чак 11 пута. Електрична РТГ дизалица остаје еколошки ефикаснија у односу на остале без обзира на сценарио снабдевања електричном енергијом. То наводи на закључак да је процес електрификације РТГ дизалица и контејнерског терминала оправдан и еколошки исплатив.



Слика 6.3. Утицај GWP за за животно циклус РТГ дизалице („what if“ анализа)

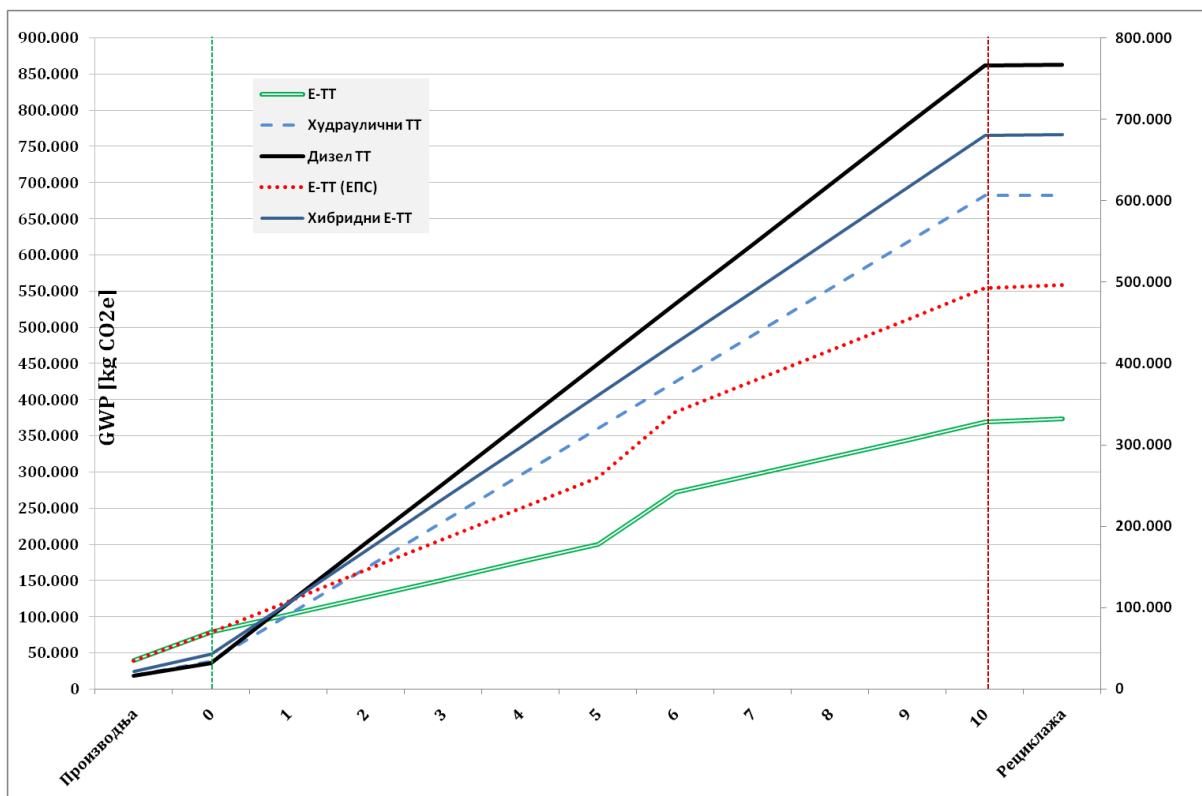
6.6.2. Резултати „what if“ анализе за Терминалске тракторе

Када су у питању ефекти измене сценарија снабдевања електричном енергијом терминалског трактора са електромреже Европске уније (EU-25) на снабдевање електричном енергијом из система ЕПС-а, добијени резултати намећу на другачије закључке у односу на РТГ дизалицу. За терминалски трактор забележено је повећање свих посматраних категорија GWP, AP и EP, а вредности су довољно близу резултатима хибридних модела трактора те се еколошка ефикасност електрификације у овом случају може преиспитати.

Табела 6.21. Резултати „what if“ анализе за терминалске тракторе

CML 2001	Терминалски трактор	Од колевке до врата	Од извора до резервоара	Употреба и одржавање	Одлагање и рециклажа	Од колевке до гроба
GWP [kg CO ₂ -Eq.]	diesel	36.174,60	79.260,91	746.884,86	246,67	862.567,04
	hydraulic	38.531,87	59.111,25	584.553,77	265,00	682.461,89
	hybrid	42.786,87	58.497,03	578.479,74	1.239,00	681.002,63
	electric	78.641,27	242.550,14	47.446,49	4.950,20	373.588,09
	electric EPS	78.641,27	427.500,25	47.446,49	4.950,20	558.538,20
AP [kg SO ₂ -Eq.]	diesel	191,95	2.733,04	9.760,85	1,31E+00	12.687,15
	hydraulic	210,14	2.139,03	7.639,39	1,00E+00	9.989,56
	hybrid	277,50	2.159,22	7.711,51	3,00E+00	10.151,23
	electric	417,28	1.287,36	251,76	26,27	1.982,66
	electric EPS	417,28	3.781,06	251,76	26,27	4.476,36
EP [kg PO ₄ -Eq.]	diesel	8,66	319,52	1.681,68	5,90E-02	2.009,92
	hydraulic	9,05	250,07	1.316,18	1,80E+00	1.577,10
	hybrid	13,50	252,43	1.328,60	4,00E+00	1.598,54
	electric	30,45	58,05	21,84	4,17E+00	114,50
	electric EPS	30,45	4.162,50	21,84	4,17	4.218,95

Потенцијал глобалног загревања (GWP) на крају целог животног циклуса електричног терминалског трактора у случају да је електрична енергија испоручена од ЕПС-а виши је за 49,50%, а за фазу „од извора до резервоара“ за 76,25%. Ацидификација је повећана за 125,77%. Потенцијал еутрофикације повећан је за 36,84 пута у односу када је електрична енергија испоручена према EU-25 просеку. То указује да при повећању ефикасности хибридног трактора за 20%, електрични трактор није еколошки најефикасније решење (слика 6.4).



Слика 6.4. Утицај GWP у животном циклусу терминалског трактора („what if“ анализа)

6.7. Резултати анализе осетљивости

Анализа осетљивости спроведена је за претпостављене вредности референтног тока функционалне јединице. Извршена је измена претпостављеног референтног тока (потрошње горива или електричне енергије) кроз повећање за 10% и 20% и смањење за 10% и 20%. Затим је извршено испитивање утицаја ове промене на резултате фаза „од извора до резервоара“ и фазе „употребе и одржавања“ и укупан резултат животног циклуса РТГ дизалице и терминалског трактора.

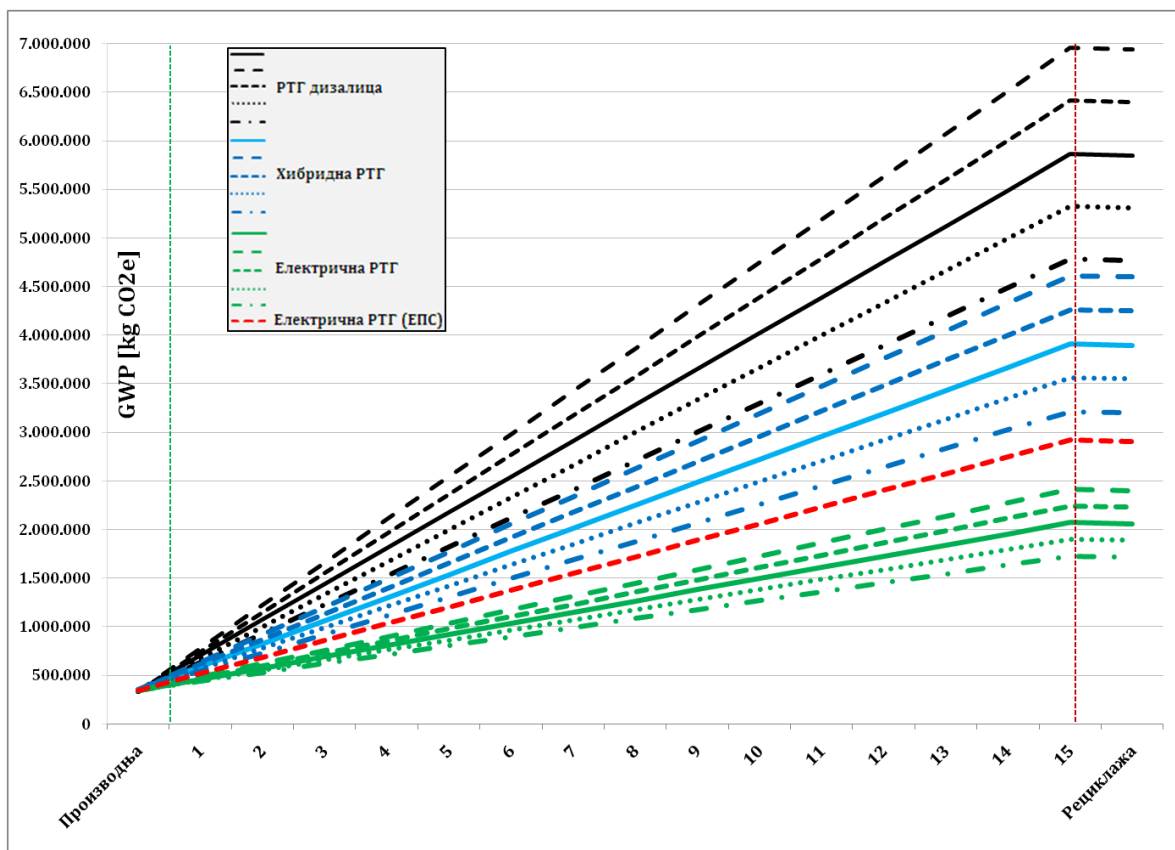
С обзиром на дужину радног века и удео фаза „од извора до резервоара“ и фазе „употребе“ у укупном резултату, јасно је да се утицај промена вредности референтног тока на ове фазе **пропорционално преноси** на укупан резултат. Важно је нагласити да се осциловањем претпостављених вредности референтног тока за +/-10% и +/-20% остаје у границама

вредности потрошње горива или енергије за машине логистичког пара чије су граничне вредности исказане у доступној литератури.

6.7.1. Резултати анализе осетљивости за РТГ дизалице

Резултати показују да без обзира на промене референтног тока за вредности +/-10% и +/-20% електрична РТГ дизалица остаје најефикасније решење. Исто важи и за поређење између електричне РТГ дизалице где је снабдевање ел. енергијом из система ЕПС-а и хибридне дизалице код које је постигнуто смањење референтног тока за 20%.

Разлике у референтном току између конвенционалне и хибридне довољно су велике да и поред осциловања вредности референтног тока хибридна дизалица је еколошки прихватљивије решење. Овим се потврђују добијени резултати и резултати за „what if“ анализу, као и закључак да је конвенционална РТГ дизалица превазиђена са становишта еколошке ефикасности, а хибридна дизалица представља прелазно решење до електрификације терминала, или крајње решење тамо где електрификација није инфраструктурно могућа.



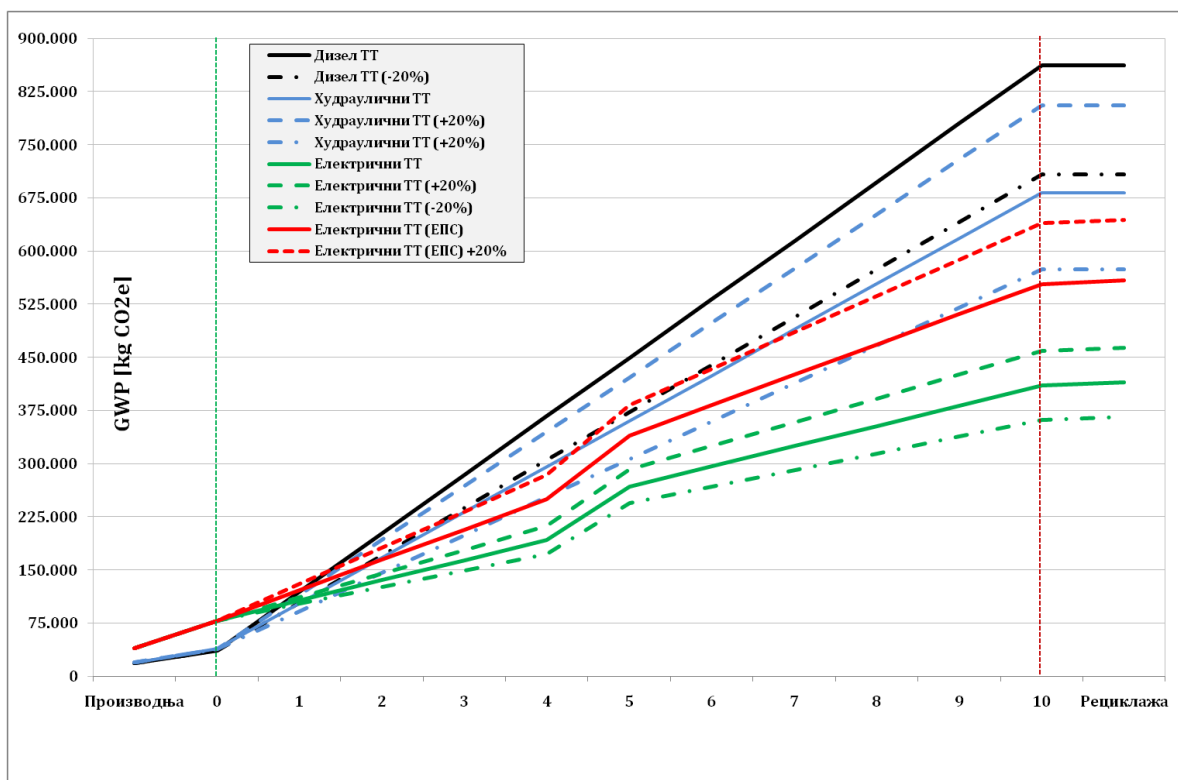
Слика 6.5. Утицај GWP у животном циклусу RTG дизалица
(анализа осетљивости референтног тока)

6.7.2. Резултати анализе осетљивости за Терминалски трактор

Изменама референтног тока терминалског трактора у опсегу од +/-10% до +/-20% укупни резултати се мењају тако да се електрични трактор за категорију утицаја GWP може приближити хибридном. Наиме, у случају оптимизације референтног тока хибридних трактора за 20%, исти је ефикаснији од електричног трактора снабдеваног електричном енергијом из система ЕПС-а.

У случају да је референтни ток електричног трактора виши за 20%, а остаје се у сценарију снабдевања ЕПС-а, резултат се приближава конвенционалном трактору код кога је референтни ток оптимизован за 20%. На тај начин може се извести закључак да је електрични трактор еколошки ефикасно решење само код снабдевања електричном енергијом где је потенцијал GWP по испорученом kWh мањи од 750kg CO₂eq./kWh.

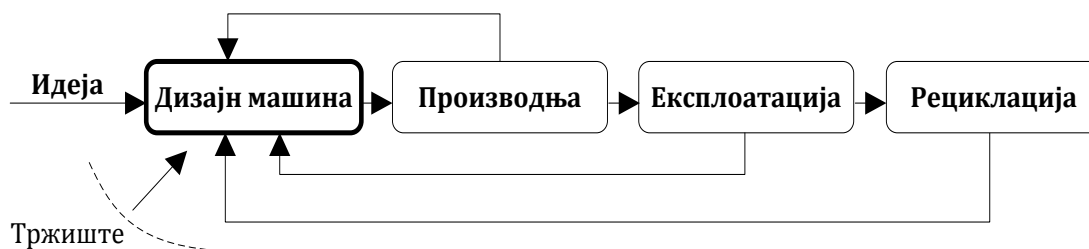
С друге стране, хибридни терминалски трактори (хидраулични и електрични) ефикаснији су од конвенционалног дизел терминалског трактора и у случају оптимизације за 20%. Тамо где електрификација терминалских трактора није адекватно решење због електричне енергије која се производи у термоелектрана, једноставно алтернативно решење може бити хидраулични-хибридни терминалски трактор. На слици 6.6. крива животног циклуса показује да је хидраулични трактор са оптимизованим референтним током од 20% ефикаснији од електричног трактора који се снабдева енергијом из електромерже ЕПС-а.



Слика 6.6. Утицај GWP у животном циклусу терминалског трактора (анализа осетљивости референтног тока)

6.8. Могућности оптимизације фаза животног циклуса применом методологије DfX

Процена животног циклуса сматра се најпрецизнијом, научно верификованом методом која се може користити као помоћни инструмент у процесу одлучивања приликом дизајна еколошки ефикаснијих фаза животног циклуса производа [Kota & Chakrabarti, 2010]. Такође, процена животног циклуса (LCA) често се назива проценом „од колевке до гроба“, што по самој формулацији искључује истраживање фазе дизајна и развоја производа у оквиру саме методе. Из тог разлога фаза дизајна и развоја производа није покривена у резултатима истраживања јер се сматра да није у директном методолошком оквиру LCA. Ипак, јасна релација између дизајна и развоја производа и фаза животног циклуса јесте дефинисана и приказана је на слици 6.7.



Слика 6.7. Фазе у животном циклусу – развоју и коришћењу производа
[Огњановић, 2014]

Разматрање оквира интеракције DfX и LCA са напретком обе методологије се додатно актуелизује [Uchil & Chakrabarti, 2013], [Pigosso et al., 2015]. Интерпретација резултата дефинисана је стандардом ISO 14044, али стављањем истих у контекст DfX проширују се могућности коришћења резултата за подршку процесу одлучивања, било код развоја производа, оптимизације фазе употребе или дефинисања стратегија третмана на крају животног циклуса. Овим приступом превазилази се објективна

једностраност резултата која се сматра извесним ограничењем LCA [Domingo et al., 2013].

Основни подстицај за разматрање резултата у циљу формирања предлога за унапређења код развоја нових РТГ дизалица и терминалских трактора у овом истраживању је еколошки. То може бити у извесној супротности са економским подстицајима који су најчешћи када су у питању иновације и развој нових производа, али се одржава дискурс дисертације. С обзиром да не постоји опште решење којим је могуће унапредити својства машина тако да се резултати сваке фазе унапреде, разматрање резултата и одабир приступа из контекста DfX извршен је за сваку фазу посебно. Такође, с обзиром на обимност података и поделу према методама CML, TRACI и Eco-indicator разматрана су само „значајна питања“ сваке фазе и посматран опште прихваћен утицај потенцијала глобалног загревања (GWP). Сматра се да је највећи простор за еколошку оптимизацију у оним областима које генеришу еколошки најнеповољније резултате. Како је подстицај еколошки одмах се може дати одређење према методологији дизајна за животну средину (Design for Environment - DfE), док је детаљнија подела дата у табели 6.22. Наиме, ове методологија подразумева релацију у односу на концепт животног циклуса, јер је циљ DfE је да умањи или избрише негативне еколошке ефекте из животног циклуса („од колевке до гроба“) неког производа [Cushman-Roisin, 2011].

Приликом избора метода за еколошку оптимизацију одређене фазе животног циклуса важно је имати у виду унапређење неког својства у једној фази не подразумева поправљање резултата сваке фазе животног циклуса. То управо и резултати спроведене LCA студије показују, посебно код електричних терминалских трактора. Иако је унапређена еколошка ефикасност у фази употребе, иста је знатно погоршана у фази производње. Из тог разлога приликом доношења одлука о оптимизацији неопходно је у обзир узети све фазе и њихов допринос резултатима животног циклуса.

Табела 6.22. Одабир метода DfX у зависности од фазе животног циклуса

Фаза животног циклуса	"од колевке до врата" (cradle-to-gate)	"од извора до резервоара" (well-to-tank)	"фаза употребе и одржавања" (use phase)	"крај животног циклуса" (end-of-life)
Опис фазе	Екстракција сировина	Екстракција сировина	Радни циклус механизације на терминалу	Припрема
	Производња материјала	Производња електричне енергије	Складиштење контејнера	Растављање
	Производња делова и компоненти	Производња дизел горива	Хоризонтални транспорт контејнера	Сепарација
	Транспорт	Дистрибуција	Одржавање машина	Уситњавање
	Монтажа			Рециклирање
				Одлагање
"Значајна питања" према резултатима LCA	Производња портала и спредера код РТГ	Производња дизел горива и ефекти дистрибуције горива	Висока потрошња дизел горива и негативни ефекти сагоревања дизел горива код РТГ	Негативни ефекти одлагања LFP батерија код електричног трактора
	Производња LFP батерија код електричног трактора	Производња електричне енергије у систему ЕПС-а	дизалице и терминалског трактора	
	Производња шасије и погонских склопова код терминалских трактора		Замена LFP батерија код електричног трактора	
Методe DfX	Design for Environment			
	Design for logistics	Design for logistics	Design for maintainability	Design for recycling
	Design for assembly		Design for serviceability	
	Design for manufacturability		Design for repair-reuse-recyclability	
	Design against corrosion			
	Design for reliability			

6.8.1. Могућности оптимизације фазе „од колевке до врата“

За фазу „од колевке до врата“ резултати показују ограничен простор за оптимизацију код РТГ дизалица и објективне могућности за оптимизацију код терминалских трактора (посебно електричних). Посматрано по категорији утицаја GWP код РТГ дизалица производња портала и спредера чини преко 91,5% фазе „од колевке до врата“. Технолошки поступак производње ових компоненти, бар када је портал у питању није значајно мењан у последњих 30 година. С обзиром да је удео челика у производњи

ових компоненти неизоставан, као и да је еколошки отисак прихватљив и за фазу „одлагања и рециклаже“ промена избора материјала за ове компоненте није очекивана. Могући простор за оптимизацију производње компоненти РТГ дизалица може се тражити и у продужења радног века кроз додатну заштиту од корозије [Darley & Liang, 1998]. Имајући у виду да се исте користе на лучким терминалима близу морске обале која је корозивно окружење примена дизајна против корозије (Design against corrosion) је оправдана.

Када је у питању оптимизација еколошке ефикасности фазе „од колевке до врата“ за терминалске тракторе, ту се највећи простор за оптимизацију односи на електрични трактор. Резултати ове фазе показују да производња LFP батерија чини око 60,33% утицаја GWP. То указује да највећи простор за оптимизацију се налази у технолошком унапређењу производње батерија. Технологија производње батерија са литијумском основом у последњих 15 година знатно је напредовала. Бележи се повећање специфичног капацитета Wh/kg и смањује маса батерија. Са повећањем специфичног капацитета батерија смањује се еколошки отисак, те је могуће очекивати унапређење резултата у знатном проценту у наредним годинама. Технолошки напредак условљен је развојем батерија за више области од аутомобилске индустрије до произвођача информатичке опреме. Тиме је испуњен кључни економски подстицај, који намеће сталне иновације и развој нових производа [Огњановић, 2014]. Осим унапређења саме производње батерија могућа оптимизација се налази у логистичком ланцу (Design for logistics) јер је литијумске батерије најчешће производе у Кини [Gifford, 2015], одакле се допремају до места уградње, као што је усвојено у претпоставкама студије.

Када је у питању оптимизација производње осталих компоненти терминалског трактора, опет највећи простор се односи на електричне тракторе. Технологија производња шасије, кабине и склопова погонске групе није значајно мењана у последњих 15 година. Међутим, када су у питању електрични трактори простор за оптимизацију произилази управо из конструкционих карактеристика. Приликом производње електричног трактора задржава се значајан број компоненти од конвенционалног дизел

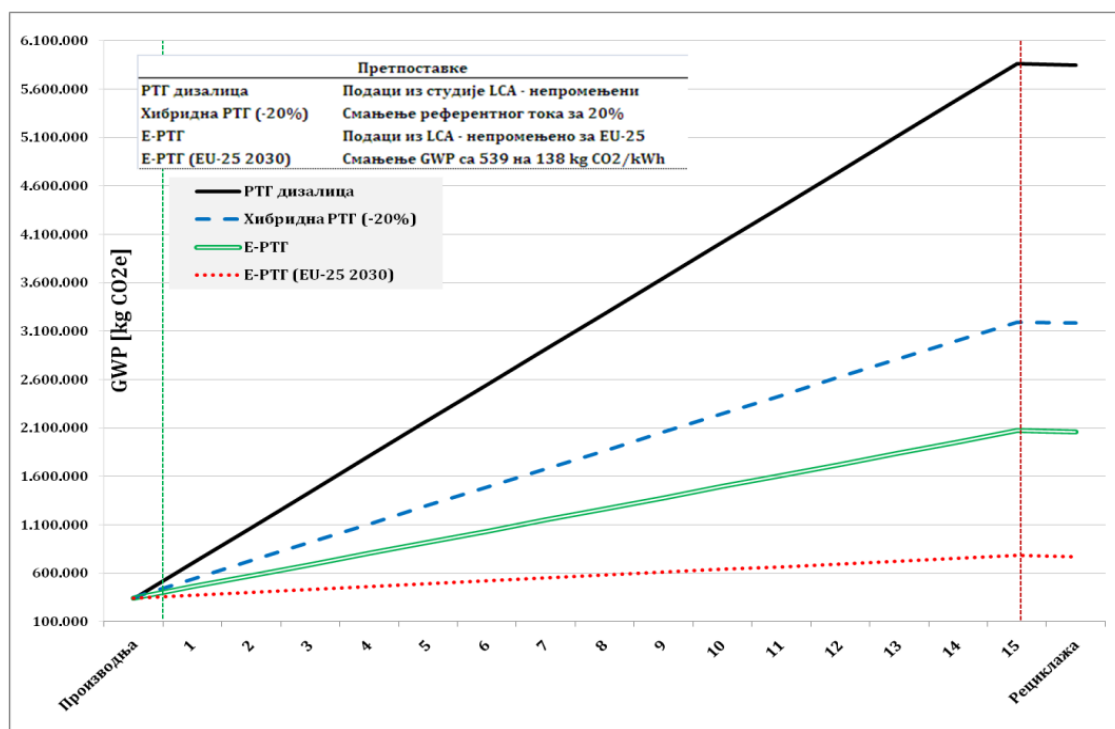
трактора. То се првенствено односи на склопове за пренос снаге, попут трансмисије с претварачем обртног момента, карданско вратило и погонска вратила. Набројане компоненте су неопходне због карактеристика рада мотора СУС, али ако је исти замењен електромотором који је подразумева потпуно друге карактеристике рада те је склопове могуће изоставити или заменити ефикаснијим. Наиме, већина електричних возила који су дизајнирани од самог почетка као такви, користе потпуно друге системе преноса снаге (без потребе за трансмисијом) у односу на возила са СУС мотором. Ако се претходном дода предвидиви радни циклус терминалског трактора и ограничена максимална брзина кретања на терминалу, јасно је да за електрични трактор оправдано преиспитивање коришћења трансмисије уопште, а посебно с претварачем обртног момента. Другачија конструкциона изведба уградње електромотора или коришћење електромотора у главчини точка може искључити коришћење и склопова за пренос снаге (карданских и погонских вратила, диференцијала). Евентуално ограничење овакве конструкције може проистећи у облику прегревања електромотора, што је такође конструкционо решиво.

6.8.2. Могућности оптимизације фазе „од извора до резервоара“

Еколошка оптимизација производње електричне енергије и дизел горива је од високог значаја јер фаза „од извора до резервоара“ са становишта утицаја GWP у укупном резултату доприноси и до 65% (за електрични трактор). С обзиром да је резултатима и „what if“ анализом показано да еколошка ефикасност Е-РТГ дизалице и електричног терминалског трактора у знатној мери зависи од еколошког отиска производње електричне енергије. Сматра се да је овом питању потребно обратити посебну пажњу, али да су могућности за унапређење у овом делу најизвеснији.

Наиме, према [Ferreira, 2010], [European Commission, 2012] очекује се оптимизација производње електричне енергије у државама чланицама Европске уније кроз повећање удела обновљивих извора. Према овим пројекцијама до 2030. године могуће је за првих 25 чланица Европске уније у

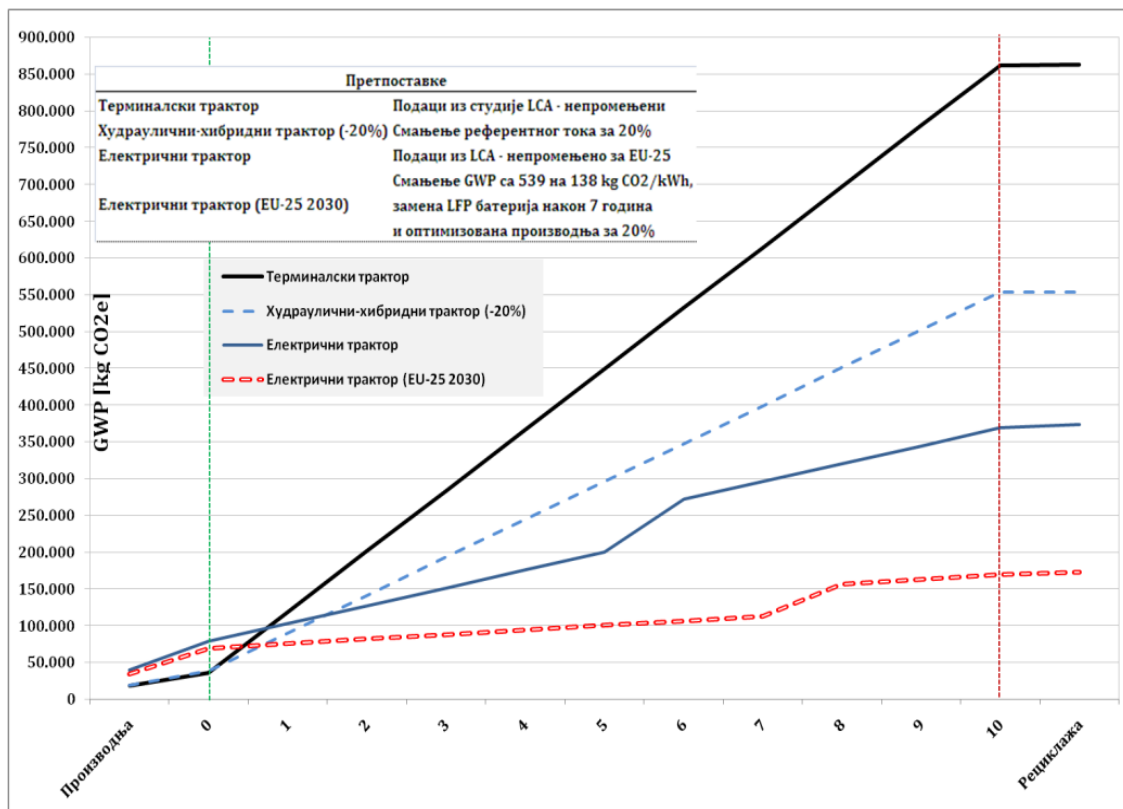
потпуности избацити коришћење лигнита у производњи електричне енергије. Лигнит чини 17% укупне производње према EU-25 [Ferreira, 2010] и очекивана је замена овог извора електричном енергијом добијеном из ветрогенератора, хидроелектрана и соларних електрана. У случају реализације овог сценарија очекује се смањење утицаја GWP са 539 kg CO₂ eq. на 138 kg CO₂ eq. Утицаји могуће оптимизације производње електричне енергије на резултате животног циклус дати су на **слици 6.8.** и **слици 6.9.** Побољшање еколошких ефеката очекује се и код утицаја ацидификације и еутрофикације који су изузетно изражени у производњи електричне енергије у термоелектранама које користе лигнит или црни угаљ [Atilgan & Azaragic, 2015].



Слика 6.8. Кретање резултата након оптимизације (РТГ дизалица)

Када је у питању производња дизел горива резултати фазе „од извора до резервоара“ указују да производња сирове нафте чини око 89% укупног еколошког ефекта који се везује за дизел гориво, ако се посматра утицаја GWP, те да је оптимизацију могуће тражити у овом делу. Удео логистике у

овом делу није висок, али се може размотрити оптимизација применом дизајна за логистику.



Слика 6.9. Кретање резултата након оптимизације (терминалски трактор)

6.8.3. Могућности оптимизације фазе „употребе и одржавања“

За машине логистичког пара које користе дизел агрегате еколошки ефекти ове фазе одређени су еколошким последицама сагоревања дизел горива који су у одређеној пропорцији са референтним током функционалне јединице. Еколошки ефекти одржавања, посматрано преко категорије утицаја GWP код РТГ дизалице чине мали удео фазе (2%), а код терминалског трактора одржавање чини 5% фазе. За електрични трактор укупан утицај у овој фази се односи на замену LFP батерија, јер је еколошки ефекат употребе који се односи на потрошњу електричне енергије практично у фази „од извора до резервоара“. Из тог разлога код електричног трактора оптимизацијама у производњи батерија и еколошки ефикаснијом производњом унапређују се и

резултати фазе „употребе и одржавања“. Овде је од посебног значаја унапређење технологије производње литијумских батерија које би омогућиле радни век батерија дужи од радног века терминалског трактора.

Већи простор за оптимизацију еколошке ефикасности фазе „употребе и одржавања“ може се пронаћи у смањењу потрошње горива и енергије, односно референтног тока функционалне јединице. То може подразумевати конструктивне корекције које ће омогућити бољу искоришћеност радног циклуса и смањење потрошње горива и енергије и смањење емисије азотних оксида и чађи за машине с дизел агрегатима. Радни циклус обе машине логистичког пара подразумева значајне период када су оне у мировању (45% радног сата код РТГ дизалице и 40% радног сата код терминалског трактора). Између осталог овакав радни циклус препоручује елиминисање конвенционих РТГ дизалица и терминалских тракторе из даље употребе. На терминалима где електрификације терминала није могућа, остаје употреба хибридних машина.

Код хибридних машина конструктивне корекције које могу допринети унапређењу еколошке ефикасности код РТГ дизалица углавном се могу односити на уградњу дизел агрегата мање радне запремине (downsizing) и веће ефикасности који би испуњавали захтеве стандарда за емисије које важе за моторе који се уграђују у друмска возила (Euro 6, ULEV). Код хибридних терминалских трактора, повећање ефикасности и система преноса снаге и система за рекуперацију енергије кроз одабир решења које највише одговарају радном циклусу трактора додатно може смањити референтни ток. Такође, неопходно је експериментално и кроз LCA истраживање испитати ефикасност примене погона на алтернативна горива код лучко-контејнерске механизације. Ту већ постоје неке иницијативе, али оне још увек нису општи тренд индустрије [Calstart, 2008], [Kliucininkas et al., 2012], [Rose et al., 2013] [Sapiña et al., 2014].

6.8.4. Могућности оптимизације фазе „одлагања и рециклаже“

Фаза „краја животног циклуса“ посматрано са становишта утицаја GWP за РТГ дизалицу нема негативних ефеката на укупан резултат, а за терминалски трактор учествује у укупном резултату животног циклуса са 0,03% (за конвенционални трактор). Еколошки отисак нешто је неповољнији за електрични трактор (због рециклаже LFP батерија) и учествује у укупном резултату са 1,33%. Све наведене вредности су мање од границе утврђене „cut-off“ критеријумом. Ови резултати углавном произилазе због знатне масе челичних делова РТГ дизалице (портала, спредера и др.) и терминалског трактора (шасија, кабина и др.).

Ипак за оптимизацију ове фазе исправно је преиспитивање могућности за оптимизацију применом дизајна за рециклажу (Design for Recycling). Ово је посебно значајно код преиспитивања процеса рециклаже литијумских батерија, јер је њихов допринос одредио резултат фазе „одлагања и рециклаже“ за хибридни и електрични терминалски трактор.

7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

У ери повећаног интересовања за стање животне средине, одрживог развоја и привредних ограничења потврђених светском економском кризом, транспортни и индустријски сектори ангажовани око контејнеризације налазе се пред двоструким изазовом. У периоду економске кризе неопходно је повећати број контејнерских операција и приходе, а истовремено смањити негативан утицај на животну средину повећањем еколошке ефикасности. Јасно је да се ради о два супротстављена изазова који у значајној мери могу одредити опстанак концепта контејнерског транспорта који је представљао техничко-технолошку основу за развој глобализоване размене. Еколошка питања, која су се раније углавном запостављала пред економским захтевима, данас добијају на значају кроз све чешће доношење законских регулатива које ограничавају ниво еколошког отиска транспортног сектора, па и контејнерског.

7.1. Закључна разматрања

Обзиром на растућу понуду технолошких решења за унапређење еколошке ефикасности, неопходно је утврдити која су решења примењива на контејнерски сектор, односно на активности на лучким-контејнерским терминалима. Такође, избор најисправнијег начина или методе којом би се та провера спровела је од суштинског значаја. Сагласно наведеном, указује се да је **циљ дисертације утврђивање еколошке ефикасности савремених технолошких решења коришћених за машине лучке-контејнерске механизације**. За спровођење провере ефикасности одабран је најмеродавнији приступ - **метода процене животног циклуса LCA**, а као предмет провере узете су две најзаступљеније машине на контејнерском терминалу: **РТГ дизалица и терминалски трактор**.

Упоредно је испитана еколошка ефикасност недавно развијених (еколошки ефикасних) **хибридних модела и електричних модела** (нулте емисије) **са конвенционалним дизел моделима** РТГ дизалице и терминалског трактора. Обзиром да се ради о поређењу различитих технолошких решења система погона логистичког пара, избор методе LCA, може се сматрати крајње оправданим. Ова метода пружа довољно широк угао посматрања и огроман извор информација о томе колико која фаза животног циклуса машине може имати утицаја на животну средину. Наведено је од неизоставног значаја код упоредних анализа различитих технолошких решења, јер указује на скривене изазове прерасподеле еколошких утицаја [Heiskanen, 2002].

У дисертацији су обрађени проблеми транзиције са дизел погона код машина логистичког пара на хибридни или електрични, кроз анализу свих фаза животног циклуса. Од фазе производње и монтаже, производње горива и електричне енергије, преко фазе употребе и одржавања до краја животног циклуса (одлагање и рециклажа). **Установљена су еколошка ограничења у примени електрификације терминалских трактора у односу на већу оправданост електрификације РТГ дизалице у зависности од избора извора снабдевања електричном енергијом.** Тиме је оправдано додатно спровођење „what if“ анализе, као и инсистирање на интеграцији **фазе „од извора од резервоара“** у испитивање, **јер је доказано да за машине лучке-контејнерске механизације нема универзалних решења.**

Анализом литературе из ове области, утврђено је да **проблем успостављања ефикасне методологије за испитивање еколошких ефеката лучке-контејнерске механизације** до сада није довољно истраживан, што се може потврдити следећим:

- Број истраживања из области еколошког утицаја лучке-контејнерске механизације је релативно скроман, јер су у питању наменски конструисане машине, специјалне намене, чија производња није (РТГ дизалица) или је ретко (терминалски трактор) серијска и углавном је прилагођена захтевима наручиоца;

- Досадашњи радови који су посвећени **утицају лучке-контејнерске механизације на животну средину** или **су део годишњих извештаја** лучких управа или истраживања које је су спроводиле државне агенције за заштиту животне средине. Из научне перспективе истраживања су неконзистентна и евентуално се тичу релација везаних само за еколошке ефекте радног циклуса машина (без осталих фаза животног циклуса), или повећање продуктивности и то углавном обједињено за све машина на контејнерском терминалу.
- Када је у питању сама метода LCA питање литературе је нешто другачије. Наиме, концепт животног циклуса у последње две деценије доживео је потпуну афирмацију, а метода LCA је генерално прихваћена. **Бројна су истраживања у којима је презентована примена методе LCA на склопове или машине. Ово је посебно изражено код аутомобилске индустрије** [Schweimer & Levin, 2006], [Renault, 2011]. Обзиром да су лучке-контејнерске машине специјалне намене и вансеријске производње, важно је нагласити непостојање истраживања примене ове методе на област лучке-контејнерске механизације. **Осим једног истраживања апроксимативне (чак и сажете) процене животног циклуса терминалског трактора** [Kim et. al., 2012], **нема примера потпуних LCA студија за машине лучке-контејерске механизације** (за контејнерске дизалице, слагаче или виљушкарe).

Сублимирајући претходно, са високим степеном поузданости може се закључити да процена животног циклуса извршена у овом раду, према сазнањима аутора, представља **први теоријски покушај да се применом методе LCA идентификује и одреди еколошка ефикасност** машина логистичког пара **РТГ дизалице и терминалског трактора** за сваку фазу животног циклуса.

Иако су за предмет истраживања одабране две најзаступљеније машине на контејнерским терминалима, њихове еколошке перформансе и интеракција са животном средином нису биле предмет експерименталних мерења, а посебно за све фазе животног циклуса. За разликују од еколошких

карактеристика моторних возила, за које је постоје (и јавни) резултати студија LCA или конкретна мерења, за машине лучке-механизације иста не постоје или су тешко доступна.

Јасно је да експериментално мерење еколошког утицаја није економски оправдано, или да надалеко превазилази могућности научног истраживања у датом контексту. Када су експериментална мерења у питању, осим економског ограничења, извесно се могу појавити ограничења у делу односа са управама лука или произвођачима опреме који ће исказати своје захтеве или неслагања с независним еколошким испитивањима. То намеће закључак, да услед изостанка експериментално утврђених еколошких ефеката машина лучке-контејнерске механизације, **одговор је једино могуће потражити у формирању модела** који ће представљати „супституцију“ за недостајуће податке.

Сложеност целог проблема повећава се захтевом да се упореде еколошки ефекти конвенционалне технологије са модерним алтернативама које произвођачи промовишу као еколошки прихватљиве. Како поједине модерне технологије примењене на машине лучке-контејнерске механизације подразумевају транзицију са погона преко мотора СУС на електромоторе или хибридне системе погона, директно поређење може бити дискутабилно, а добијени резултати могу указивати на погрешне закључке. Снажно је уверење да у том случају, посматрање и еколошко валидирање, може бити исправно само ако је извршено из перспективе концепта животног циклуса. Премиса је еколошка евалуација применом методе LCA. **Применом методе LCA обезбеђује се супститут за експериментално мерење и решење за еколошко поређење различитих система погона.**

Метода LCA подразумева холистички приступ, који дозвољава другачију перспективу посматрања из које се лакше могу открити еколошка ограничења нових технологија. Такође, софтверска решења која подржавају спровођење LCA студија садрже релевантне базе инвентара еколошких утицаја, чиме је један од услова за спровођење квалитетног еколошког истраживања испуњен.

Значајан део простора у истраживању дат је формирању исправних претпоставки, што ближе свакодневној стварности експлоатације таквих машина на контејнерском терминалу. **Нагласак при формирању претпоставки дат је на функционалне јединице и граница система** које су од суштинског значаја код LCA студија. **Ради провере, анализа осетљивости спроведена је за референтни ток функционалне јединице**, јер је исти мерилу неопходних излаза и формирање инвентара је у сразмери са референтним током. Тиме су евентуална одступања код формирања претпоставки преиспитана, а кредибилност истих потврђена.

Код пионирских радова који су холистички обрађивали појам животног циклуса, све до LCA студија у средњем периоду развоја овог концепта, постојала је често прихваћена пракса преиспитивања кредибилности модела или база инвентара на основу којих су резултати добијени. То намеће питање верификације модела који је предмет студије и саме LCA студије. Међутим, оно што повећава степен поузданости и кредибилност истраживања је чињеница да је изабрана **метода LCA институционализована кроз међународну серију стандарда ISO 14040 и ISO 14044**, те је у оквиру истих поступак спровођења истраживања детаљно описан и одређен. Инсистирање на поузданости спроведене студије потврђено је чињеницом да је стандард ISO 14044, 2006. године издвојен из као посебан критеријум намењен само евалуацији студије. Овај стандард подразумева захтеве у вези са поузданошћу кроз **провере потпуности, осетљивости и конзистентности** [ISO 14044, 2006], те се може сматрати да су кораци намењени верификацији интегрисани и планирани у истраживању.

Важно је нагласити и то да осим научног корпуса који је у континуираном процесу учествовао у стварању и унапређивању методе LCA као централног дела концепта животног циклуса, у развоју исте на располагању су били и ресурси међународних организација ранга US EPA, UNEP и сл. Даље, репутација коришћеног софтверског алата GaBi 4.0, његова заступљеност и референтност (Volkswagen, Daimler-Benz, Bosch и др.), повећавају кредибилност базе инвентара која је доступна корисницима апликације –

што представља објективну верификацију изабране софтверске апликације у истраживању.

У делу у коме **софтверска апликација GaVi 4.0 непосредује податке**, а то је производња и електродистрибуција електричне енергије преко ЕПС-а, коришћени су подаци ЕПС-а о структури производње електричне енергије и аналогно упоређени са релевантним изворима у литератури. Формирањем једноставне једначине, опет аналогно подацима из апликације GaVi 4.0 и сличних LCA студија, одређени су еколошки утицаји произведеног и испорученог kWh из система ЕПС-а за три основне категорије утицаја на животну средину – глобално загревање, ацидификација и еутрофикација. Ти утицаји коришћени су за „what-if“ анализу.

Процена животног циклуса спроведена је посредством три основне фазе и једну пратећу фазу. Испитани су еколошки ефекти фазе „од колевке до врата“, који подразумевају екстракцију сировина, производњу компоненти, делова, и монтажу машина. **За ову фазу утврђен је неповољан еколошки отисак хибридних и електричних модела логистичког пара у односу на конвенционалне моделе.** Овакав резултат посебно је исказан за електрични и електро-хибридни терминалски трактор због неповољног еколошког ефекта производње литијумских (LFP) батерија.

Затим је презентована пратећа фаза животног циклуса машина - „од извора до резервоара“ (well-to-tank). Предност не тако уобичајеног увођења четврте фазе „од извора до резервоара“ огледа се у чињеници да иста **код поређења различитих технологија погона за исте врсте машина са идентичним функционалним јединицама може указати на разлике које се код приступа са три фазе животног циклуса спонтано прикрију.** Наиме, у случају машина са дугим радним веком, ако се у фазу употребе или фазу „од врата до гроба“ која је сама по себи доминатна постави и питање еколошког утицаја снабдевања енергијом, прикрива се значајна број фактора. Индикативно је то што је овај пример показао, као и студија из аутомобилске индустрије [Maheu-Bettez, 2011] да је ова фаза са неповољнијим утицајем од утицаја који произилази од одржавања машина.

Спајањем ова два фактора у једну фазу, може доћи до прикривања утицаја који износи од 5% до 10% укупног утицаја фазе која описује употребу. Успостављањем фазе „од извора до резервоара“ утврђени су утицаји (еколошки ефекти) који би у случају поделе животног циклуса на три уобичајене фазе били прикривени, и то:

- Ефекат осиромашења природног ресурса нафте
- Ефекат производње и дистрибуције дизел горива
- Ефекат преноса електричне енергије

Трећа фаза „употребе и одржавања“ (use phase) потврђује утицај дугог радног века обе машине на укупан резултат. Овде је **констатована технолошка превазиђеност конвенционалних модела РТГ дизалице и терминалског трактора са становишта заштите животне средине**. Високи потенцијали глобалног загревања, ацидификације и еутрофикације утврђени су према методи CML 2001 i TRACI 2.1., а изразит потенцијал зимског смога само за последњу. У овој фази еколошка ефикасност електричне РТГ дизалице значајно је изражена, а електричног терминалског трактора констатована. Наиме, еколошки баласт замене LFP батерија који улази у резултат ове фазе компромитује резултат електричног терминалског трактора и идентификује као значајно питање. Неочекивано регистрована је већа еколошка ефикасност хидрауличног хибридног трактора у односу на електро-хибридни трактор, што се може образложити специфичностима радног циклуса трактора и већој специфичној снази хидрауличног система у односу на електро-хибридни са LFP батеријама.

Четврта фаза која се односи на рециклажу и одлагање (end of life), у односу на укупан резултат животног циклуса занемарљива је. Ипак запажа се значајан степен могућности за рециклажу компонената машина, посебно портала РТГ дизалице и шасије терминалског трактора. **Утврђено је да за електрични терминалски трактор (и у мањој мери електро-хибридни), значајно питање представља крај животног циклуса LFP батерија.**

Сагласно резултатима последње две фазе, може се приметити да је **шире прихватање електричних трактора условљено технолошким напретком процеса везаних за литијумске батерије или друге системе за складиштење електричне енергије**. Јер ако би се замена или ремонт батерија могли одложити на период дужи од радног века трактора (више од 10 или 12 година), еколошка оправданост електричних трактора добија значајно повољнију перспективу.

При анализи осетљивости референтног референтног тока, вредности су вариране у реално могућем опсегу, до граничних вредности евидентираних у литератури, у одређеним случајевима објективно достижних у експлоатацији. Варијације вредности референтног тока до конструкционих граница погонског система које се тешко могу остварити у пракси нису тестиране јер су са холистичког становишта концепта животог циклуса безначајне. Наиме, у радном веку машине од 15 година, неколико остварења граничних вредности потрошње у трајању мереном минутима занемарљиво утиче на укупан резултат, а сигурно мање од 1% до 3%, што се код LCA углавном већ одбацује „cut-off“ критеријумом. **Анализом осетљивости референтног тока функционалне јединице дошло се до следећих закључака:**

1. Варирање вредности референтног тока код терминалског трактора може створити разлику довољну за различито опредељење ефикасности хидрауличног-хибридног трактора у односу на електрични-хибридни трактор;
2. У случају алтернативног снабдевања електричном енергијом према „what-if“ сценарију и варирања вредности референтног тока постоје могућности да се електрични трактор одреди као еколошки мање ефикасан од хибридних трактор;
3. Електрична РТГ дизалица је еколошки нејефикаснија без обзира на резултате анализе осетљивости, а конвенционална дизел РТГ дизалица, је еколошки неефикасна и технолошки застарела. Хибридна РТГ дизалица је прелазно решење у било ком сценарију и за све резултате анализе осетљивости референтног тока.

Спроведеном „what if“ анализом за алтернативни сценарио снабдевања електричном енергијом дошло се до следећих закључака:

1. Питање извора електричне енергије за снабдевање електричног терминалског трактора остаје као пресудно у одређивању еколошке ефикасности овог модела у односу на хибридне дизел верзије. То се конкретно потврђује у промени претпостављеног извора електричне са електромреже Европске уније EU-25 на електромрежу ЕПС-а.
2. Извесно се намеће и следећи закључак. У транзицији са фосилних извора енергије ка обновљивим изворима, где би се емисија CO₂/KWh смањила далеко од референтне вредности од 500g CO₂/KWh као могућих 100 до 200g CO₂/KWh еколошка ефикасност електричног терминалског трактора постаје недостижна за било која друга технолошка решења. Наведено је неспорно чак и са детаљног становишта преиспитивања скривених еколошких утицаја које метода LCA омогућава, јер са смањењем удела електричне енергије произведене у термоелектранама на фосилна горива долази до значајног смањења ацидификације, еутрофикација и потенцијала за стварање смога.
3. Резултати добијени за РТГ дизалицу указују да што је дужи радни век потрошача и његово коришћење енергетски захтевније преломна тачка се помера навише као вредности од ~ 1000 g CO₂/KWh, али само са становишта утицаја GWP. Овде се не узимају у обзир други позитивни ефекти електрификације који подразумевају да се емисија издувних гасова одвија на једном месту, где је мања опасност по здравље људи и животну средину. Јер, ако су све емисије лоциране на лучком терминалу (tail-pipe emissions) који је притом у непосредној близини урбане области, тада су ефекти мерени методом Ecoindicator 99 методом изражено неповољнији.

7.2. Предлог правца даљих истраживања

Предлог за даља истраживања може се одвијати у два правца блиска проблему истраживања и два која се препоручују сагласно резултатима истраживања, али су само посредни у односу на проблем истраживања. Први правац се односи на даље праћење развоја еколошке ефикасности машина лучке-контејнерске механизације и њиховог утицаја на животну средину. Други се односи на потпуну интеграцију размишљања о животном циклусу (*life cycle thinking*) са припадајућим методама, попут *LCA* у ране фазе развоја машина лучке-контејнерске механизације. Јасно је да се ради о два правца где је велики број места за интеракцију из које ће се обе позиције унапредити. Са даљим продором и прихватањем методе *LCA* у објективно интровертној индустрији лучке-контејнерске механизације, створиће се предуслови за боље разумевање еколошких ефеката ових машина. С друге стране, сама метода *LCA* може се додатно специјализовати и прилагодити захтевима ове индустрије. То би довело до стварања квалитетних база инвентара о процесима блиским животном циклусу ових машина, посебно у делу производње које сада пратично није описана. Место спајања два правца је верификација базе инвентара *LCA* за машине лучке-контејнерске механизације кроз експериментална мерења која би се обавила на самом контејнерском терминалу у реалним условима експлоатације. Конкретан, предлог истраживања може бити испитивање модела лучке контејнерске механизације са погоном на алтернативна горива (телескопски слагач контејнера с погоном на природни гас).

Резултати указују и на један правац истраживања који се намеће као изузетно значајан и неодложан, иако није из непосредног дискурса истраживања дисертације. Наиме, непостојање званичне базе инвентара процеса производње електричне енергије у систему ЕПС-а, онемогућава истраживања у којима се испитује животни циклус било ког производа који се користи у Србији или је код нас произведен. Значај наведеног не треба тражити ван следећих формулације. Према [Aguirre et al., 2012] преломна тачка до које је електрични аутомобил еколошки ефикаснији од

конвенционалног (са мотором СУС) је код производње електричне енергије где је емисија мања од 847g CO₂/kWh. Обзиром да је утврђена просечна вредности емисије CO₂ у систему ЕПС-а од 950g CO₂/kWh, само посматрањем ове категорије може се закључити да електрична возила немају никакву еколошку оправданост у Србији. Ако би се томе додали резултати за категорије ацидификације и еутрофикације релација је још неповољнија.

Врло блиско претходном ставу - резултати добијени разматрањем свих фаза животног циклуса изабраних машина откривају скривене еколошке изазове. Један од тих изазова који је идентификован за производњу електричне енергије из система ЕПС-а, може се дефинисати кроз термин „*прекограничног ограничења одрживости*“ (*cross border sustainability limitations*). Предложени термин именује иницијативу за даља научна истраживања еколошке ефикасности и примењивости савремених технолошких решења у државама у којима инфраструктура није прилагођена или није довољног капацитета да задовољи захтеве одрживог развоја.

-
- [1] Acero, A., Rodríguez, C. & Ciroth, A. (2014). *Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories*. Berlin: GreenDelta GmbH.
- [2] Aguirre, K., Eisenhardt, L., Lim, C., Nelson, B., Norring, A., Slowik, P. & Tu, N. (2012). *Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle*. Sacramento: California Air Resources Board.
- [3] Atilgan, B. & Azapagic, A. (2015). Life cycle environmental impacts of electricity from fossil fuels in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 106, 555-564.
- [4] Ayres, R. U. & Kneese, A.V. (1969). Production, Consumption & Externalities. *American Economic Review*, 59 (3), 282-296.
- [5] Ayres R. U. (1995). Life cycle analysis: A critique. *Resources, Conservation and Recycling*, 14, 199-223.
- [6] Bailey, D. & Solomon, G. (2004). Pollution prevention at ports: Clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, 24 (7), 749-774.
- [7] Bailey, D., Plenys, T., Solomon, G. M., Campbell, T.R., Ruderman F. G., Masters J. & Tonkonogy B. (2004a). *Harboring pollution: Strategies to clean up US ports*. Natural Resources Defense Council: New York.
- [8] Bailey, D, Plenys, T., Solomon, G. M., Campbell, T.R., Ruderman, F. G., Masters J. & Tonkonogy. (2004b). *Harboring pollution: The dirty truth about US ports*, Natural Resources Defense Council: New York.
- [9] Balqon corporation. (2009). *Nautilus XE-20: Zero emission all-electric terminal tractor*. Technical specifications. Balqon corporation: Harbor City.
- [10] Balqon corporation. (2015). *Model Nautilus XE-20 – Zero Emission All Electric Terminal Tractor*. Technical specification Specifications. Harbor City Balqon corporation: Harbor City.
- [11] Bare, J.C., Norris, G.A., Pennington, D.W. & McKone T. (2003). TRACI: The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts. *Journal of Industrial Ecology*, 6 (3), 49-78.
- [12] Bernhofen, D. M., El-Sahli, Z. & Kneller, R. (2013). Estimating the effects of containerization on world trade. Research paper series: *Globalisation, Productivity and Technology*, 2, 7-15. The University of Nottingham.
- [13] Böse, J. W. (2011). *Handbook of Terminal Planning*. Springer.
- [14] Boustead, I. & Hancock, G. F. (1979). *Handbook of industrial energy analysis*. Hemstead: Ellis Horwood.
- [15] Brander, M., Sood, A., Wylie, C., Houghton, A. & Lovell J. (2011). *Electricity-specific emission factors for grid electricity - Technical Paper*, Ecometrica
- [16] Braunschweig, A., Büchel, K., Dinkel, F., Frischknecht, R., Maillefer, C., Ménard, M., Peter, D., Pohl, C., Ros, M., Sturm, A., Waldeck, P. & Zimmermann, P. (1996). *Life Cycle Assessment (LCA) - Quo vadis?* Schaltegger S. (ed.). Swiss Priority Programme, Environment of the Swiss National Science Foundation Synthesis. Basel: Birkhäuser Verlag AG.
- [17] Brinkmann, B. (2011). Operations Systems of Container Terminals: A Compendious Overview. *Handbook of Terminal Planning*, Böse J. W. (ed.), Chapter 2, 25-39, Springer

- [18] Brinkman, N., Wang, M., Weber, T. & Darlington T. (2005). *Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems — A North American Study of Energy Use, Greenhouse Gas Emissions, and Criteria Pollutant Emissions*. Argonne National Laboratory
- [19] Browning, L. Bailey, K. (2006). Current Methodologies and Best Practices for Preparing Port Emission Inventories. *Proceedings of 15th International Emission Inventory Conference in New Orleans*. Durham: US Environmental protection agency.
- [20] Buño, J. L. A., Gutierrez, B. C. (2010). *Life Cycle Assessment of Two Parts of a Crane - Supporting member, crane member*, M.Sc. Thesis. Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, Division of Manufacturing Systems Engineering. Luleå: University of Technology.
- [21] Van Ham, J.C. & Rijsenbrij, J.C. (2012). *Development of Containerization*. Delft: Delft University Press.
- [22] Van Duinen, N. D. (2009). *Handbook to Explain LCA Using the GaBi EDU Software Package*. PE Americas, 2009
- [23] Vandermeulen J. H. (1996). Maritime Policy & Management: The flagship. *Journal of international shipping and port research*, 23 (1).
- [24] Вељковић, Н. (2006) *Индикатори одрживог развоја и управљање водним ресурсима*. Посебна издања. Београд: Задужбина Андрејевић.
- [25] Guinée, J.B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. de, Oers, L. van, Wegener-Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., Bruijn, H. de, Duin, R. van & Huijbregts, M.A.J. (eds). (2002). *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- [26] Vezzoli, C. & Manzini, E. (2008). *Design and Innovation for Sustainability*, Milano: Politecnico di Milano. INDACO Department. Springer.
- [27] Вујичић, А. (2010). *Процена животног циклуса машина и уређаја прекидног транспорта*. Магистарска теза. Београд: Машински факултет
- [28] Вујичић А., Зрнић Н. & Јерман Б. (2013). Ports Sustainability: A life cycle assessment of Zero Emission Cargo Handling Equipment. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 59, (9), 547-555.
- [29] Вујичић, А., Зрнић, Н. & Јерман, Б. (2012). Ports sustainability: trends in CHE industry. *Proceedings of 20th International Conference of Material Handling, Constructions and Logistics „MHCL'12“*. Belgrade: Faculty of mechanical engineering. 395-401.
- [30] Вујичић, А.: (2015). Future of containerisation sustainability - Shifting from green to smart port. *Proceedings of 21th International Conference of Material Handling, Constructions and Logistics „MHCL '15“*. Vienna: University of Technology. 395-401.
- [31] Wang, D. & Niu, Y. (2015). Lightweight Technology Path Analysis for New Energy Source Electric Bus. *Advanced Material Engineering: Proceedings of*

- the 2015 International Conference on Advanced Material Engineering*. Liu Y., Peng Y., (eds). Singapore: World scientific publishing. 662-671.
- [32] Watanabe, Y. (2004). Evaluation of Carbon Dioxide Emissions from Container Ports. *Journal of International Logistics and Trade*, 2 (1). 85-93.
- [33] World Bank. (2014). *Container port traffic (TEU: 20 foot equivalent units)*. Data Table.
- [34] WSC. (2014). *Survey Results for Containers Lost At Sea – 2014 Update*. Washington: World Shipping Council.
- [35] WSC. (2015). *Top 50 World container ports*. Washington: World Shipping Council.
- [36] GaBi. (2013). *Database Upgrade 2013: Upgrades and improvements*. Stuttgart: PE International.
- [37] Galbraith, V., Curry, L., Loh, C. (2008). *Green Harbours: Hong-Kong & Shenzhen Reducing maritime and port-related emissions*. Civic exchange.
- [38] Geerlings, H. & van Duin, R. (2011). A New Method for Assessing CO₂-emissions from Container Terminals: A Promising Approach Applied in Rotterdam. *Journal of Cleaner Production*, 19 (6-7), 657—666.
- [39] Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*, London (Cambridge): Harward University Press.
- [40] Giménez, J. A. (2013). *Greencranes public demonstration day*. Part of Green Technologies and Eco-Efficient Alternatives for Cranes and Operations at Port Container Terminals Project. Valencia: TEN-T project.
- [41] Gifford, J. (2015). Panasonic largest li-ion battery cell producer. *Photovoltaic Magazine*, 8. Berlin.
- [42] Glockner, H. & Neef, A. (2013). *The 20 most important megatrends*. Altendorf: Z-Punkt GmbH.
- [43] Goedkoop, M., Effting, S. & Collignon M. (2000) *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for LCA – Manual for Designer.* , Hague: PRé Consultants & Ministry of Spatial Planning and Environment of Netherlands
- [44] Goedkoop M. & Spriensma R. (2000). *The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment - Methodology Report*. Amersfoort: PRé Consultants.
- [45] Golfarelli M., Rizzi S. & Proli A. (2006). Designing What-if Analysis: Towards a Methodology. *Proceedings 9th International Workshop on Data Warehousing and OLAP*. (51-58) Arlington.
- [46] Guerrero, D. & Rodrigue, J.-P. (2014). The Waves of Containerization: Shifts in Global Maritime Transportation. *Journal of Transport Geography*, 34, 151-164.
- [47] Darley P. M. & Liang J. (1998). *Crane Modernization – Why and How?* Terminal Operations Conference Asia. Shangai.
- [48] Domingo L., Brissaud D. & Mathieux F. (2013). Communicating Life Cycle Assessment Results To Design Decision Makers: Need For An Information Visualization Approach. *Proceedings of International Conference on Engineering Design - ICED13*. Seoul:Sungkyunkwan University.

- [49] Драговић, Б. & Зрнић, Н. (2014). *Лучка средства*. Београд: Машински факултет.
- [50] Драговић, Б., Зрнић, Н. & Парк, Н.К. (2011). *Container terminal performance evaluation, Research Monograph*. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering.
- [51] Drewry. (2012). *Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030*. OECD Publishing & Drewry Shipping Consultants.
- [52] Drewry. (2015). *Global Container Terminal Operators Annual Review and Forecast 2015*. Drewry Shipping Consultants.
- [53] Ђорђевић, М., Зрнић, Н. & Јерман, Б. (2015). *Simplified Life Cycle Assessment of a Belt Conveyor*, Proceedings of XXI Material Handling Constructions and Logistic - MHCL 2015 Conference. Vienna: Technical University. 199-206.
- [54] Ebeling, C. E. (2009). Evolution of a Box. *Invention and Technology*, 23 (4), 8-9
- [55] ЕПС. (2014). *Годишњи извештај ЕПС 2013*. Београд: ЈП „Електропривреда Србије“.
- [56] Eshani, S. (2008). *Fuel Quality and Vehicle Emission Standards in GCC countries. Partnership for Clean Fuels and Vehicles*. New York: United nations Environmental programe.
- [57] European Commission. (2012). *Energy roadmap 2050*. Oettinger G. H. (foreword). Luxembourg: Publications Office of the European Union,
- [58] Eckle, M. (2010). *Solutions for Ports & Container Handling: RTG Electrification*. Weil am Rhein: Conductix-Wampfler.
- [59] Eyre, J. L. (1964). *Shipping Containers in the Americas. In Recent Developments in the Use and Handling of Unitized Cargoes*. Washington: Pan American Union.
- [60] Zackrisson, M., Avellána, L., Orlenius J. (2010). Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles - Critical issues. *Journal of Cleaner Production*, 18, (15), 1519-1529.
- [61] Зрнић, Н. (2005). *Утицај кретања колица на динамичко понашање обалских контејнерских дизалица*, Докторска дисертација. Београд: Машински факултет.
- [62] Зрнић, Н. & Вујичић А. (2011). Reduction of RTG cranes CO2 emission by using hybrid technology. , *Shaping Climate Friendly Transport in Europe: Key findings & Future. Proceedings of 2011 REACT*, (180-188). Radmilović Z., Čišić D. (eds). Belgrade: Faculty of Transport and Traffic Engineering.
- [63] Зрнић, Н. & Вујичић, А. (2012). Evaluation of environmental benefits of CHE emerging technologies by using LCA. *Progress in Material Handling Research: 2012*, (713-731), Carrano, A., Koster, R., Montreuil, B., Gue K., Ogle M., Smith J. (eds.). Charlotte: Material Handling Industry of America.
- [64] Зрнић, Н. & Вујичић, А. (2014). Life-Cycle Approach to Characterizing Environmental Impact of Logistics Equipment in Container Ports: An example of Yard Trucks. *Lecture Notes in Logistics 2014, Efficiency and*

- Innovation in Logistics*, (135-146). Uwe, C., Hompel, M., Meier, F. (eds.). Dortmund: Springer.
- [65] Зрнић Н. & Ђорђевић М. (2012). *Дизајн и екологија - одрживи развој производа*. Београд: Машински факултет.
- [66] IEA. (2012). *Electricity Information 2012 – Report*. Paris: International Energy Agency.
- [67] IPCC, (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. New York: UN Intergovernmental Panel of Climate Change.
- [68] Iqbal, B. A. & Ghauri, F. N. (2011). Climate change: The biggest challenge in 21st century. *Proceedings of the 1st International Technology, Education and Environment Conference*, (497–508). African Society for Scientific Research.
- [69] ISO 14040. (2006). *Environmental management - Life Cycle Assessment, Principles and Framework - ISO 14040:2006*. Geneva: International Organization for Standardization.
- [70] ISO 14044. (2006). *Environmental management - Life Cycle Assessment, Requirements and guidelines - ISO 14044:2006*. Geneva: International Organization for Standardization.
- [71] Ishihara, K., Kihira, N., Terada, N. & Iwahori T. (2001). *Environmental Burdens of Large Lithium-Ion Batteries Developed in a Japanese National Project*. Tokyo: Central Research Institute of Electric Power Industry.
- [72] Itten, R., Frischknecht, R., Stucki, M. (2014). *Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid, Version 1.3.*, Uster: Paul Scherrer Institut (PSI).
- [73] Jiménez-González, C., Kim, S. & Overcash, M. (2000). Methodology for developing gate-to-gate Life cycle inventory information. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5, 153–159.
- [74] Yang, Y.-C. & Chang W.-M. (2013). Performance Analysis of Electric-Rubber Tired Gantries from a Green Container Terminal Perspective. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 9 (212).
- [75] Yang, Y.-C. & Lin, C.-L. (2013). Performance analysis of cargo-handling equipment from a green container terminal perspective, *Transport and Environment: Transportation Research*, Part D, 9-11.
- [76] Kalmar Ottawa. (2012). *Maintenance Manual Ottawa 4x2 & 6x4*, Cargotec Solutions LLC.
- [77] Kalmar Ottawa. (2014). *Kalmar Terminal Tractors Operator's Manual*. Cargotec Solutions LLC.
- [78] Kargul, J. (2008). *Hydraulic Hybrid Yard Hostlers*. Advanced Technology Division Office of Transportation and Air Quality. U.S. Environmental Protection Agency.
- [79] Kartnig, G., Grösel, B. & Zrnić, N. (2012). Past, State-of-the-Art and Future of Intralogistics in Relation to Megatrends. *FME Transactions* 40, (4), 193-200. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering.
- [80] Kota S., Chakrabarti, A. (2010). A method for estimating the degree of uncertainty with respect to Life Cycle Assessment during design. *Journal of Mechanical Design*, 132, (9).

- [81] Keesom, B., Blieszner J. & Unnasch S. (2012). *EU Pathway Study: Life Cycle Assessment of Crude Oils in a European Context*, Alberta Petroleum Marketing Commission. Jacobs Consultancy.
- [82] Kliucininkas L., Matulevicius J. & Martuzevicius D. (2012). *The life cycle assessment of alternative fuel chains for urban buses and trolleybuses*. Journal of Environmental Management Vol. 99, pp. 98–103.
- [83] Konecranes Inc. (2012). *Rubber Tyred Gantry Stacking crane – Maintenance Manual*. Konecranes Inc.
- [84] Kim, J., Rahimi, M. & Newell, J. (2012). Life-Cycle Emissions from Port Electrification: A Case Study of Cargo Handling Tractors at the Port of Los Angeles. *International Journal of Sustainable Transportation*, 6,(6), 321-337.
- [85] Klöpffer, W. & Grahl B. (2014). *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [86] KPMG. (2014). *Future State 2030: The global megatrends shaping governments*. KPMG International. Доступно на интернет страници: (<http://www.kpmg.com/ID/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Future-State-2030.pdf>)
- [87] Lam, J. S. L. & Notteboom, T. (2014). The Greening of Ports: A Comparison of Port Management Tools Used by Leading Ports in Asia and Europe. *Transport Reviews*, 34, (2), 169-189.
- [88] Levinson, M. (2006). *The Box: How the Shipping Container Made the World Smaller and the World Economy Bigger*. Princeton University Press.
- [89] Lirn, T.-C., Wu, Y.-C. J. & Chen Y. J. (2013). Green performance criteria for sustainable ports in Asia, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 43 No. 5/6, pp. 427-451, 2013.
- [90] Lin, K., Meier, C., Nelson, J. & Papar, Z. (2014)- *The Greening of Rubber-Tired Gantry Cranes in Ports*, Environmental Defense Fund Logistics Project, Laboratory for Sustainable Business & Port of Oakland.
- [91] Liu, Z, Qiu-Hong J. & Hong-Chao Z. (2013). LCA-Based Comparative Evaluation of Newly Manufactured and Remanufactured Diesel Engine. *Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, (663-667). Singapore, Springer.
- [92] Longo, F., Bruzzone, A., Nicoletti, L., Massei, M. & Spadafora, F. (2014). An advanced and flexible simulation tool for environmental impact evaluation and sustainability enhancement in marine ports. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 6, (3), 70-84.
- [93] Luhr, D. R. (2004). Design and Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements for Container Terminals. *Proceedings of Ports 2004: Port Development in the Changing World*. Curtis S. A. (ed.), ASCE, Reston (1–10).
- [94] Ma, D., Ding, Y., Yin, H., Huang, Z. & Wang H.L. (2014). Outlook and status of ships and port emission control in China. *Environment and Sustainable Development*, 39, (6), 40-44.
- [95] Majeau-Bettez, G., Hawkins, T. & Strømman, A. (2011). Life cycle environmental assessment of lithium-ion and nickel metal hydride batteries

- for plug-in hybrid and battery electric vehicles. *Environmental Science & Technology*, 45, (10), 4548-4554.
- [96] Maslin, M. (2014). *Climate Change: A Very Short Introduction*. Oxford: University Press.
- [97] More, C. (2000). *Understanding the Industrial Revolution*. London: Routledge.
- [98] Nikitakos, N. (2012). Green Logistics - The concept of Zero Emissions Port. *FME Transactions*, 40, (4), 201-206. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering.
- [99] Ng, A. K. Y., Becker, A., Cahoon, S., Chen, S.-L., Earl, P. & Yang, Z. (eds). (2016). *Climate Change and Adaptation Planning for Ports*, Studies in transport analysis. Abington: Routledge.
- [100] Notteboom, T. E. & Rodrigue, J.-P. (2005). Port regionalization: towards a new phase in port development. *Maritime Policy & Management*, 32, (3), 297-313.
- [101] Notteboom T. E. & Rodrigue J.-P. (2008). Containerisation, Box Logistics and Global Supply Chains: The Integration of Ports and Liner Shipping Networks. *Maritime Economics & Logistics*, 10, 152-174.
- [102] Notteboom, T. E. & Rodrigue, J.-P. (2009). The future of containerization: Perspectives from maritime and inland freight distribution. *Geojournal*, 74, (1), 7-22.
- [103] Огњановић М. (2014) *Иновативни развој техничких система*, Универзитет у Београду. Београд: Машински факултет.
- [104] Oreskes, N. (2004). Beyond the ivory tower: The Scientific Consensus on Climate Change. *Science*, 306, (5702).
- [105] Ormazabal, M., Jaca, C. & Puga-Leal R. (2014). Analysis and Comparison of Life Cycle Assessment and Carbon Footprint Software. *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management*, (1521-1530). Xu, J., Cruz-Machado, V. A., Lev B., Nickel S. (eds.). Springer.
- [106] Ostad, H. & Collado-Ruiz, D. (2011). Tool for the Environmental Assessment of Cranes Based on Parameterization. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, (5), 392-400.
- [107] Ostad, H., Collado-Ruiz, D. & Wimmer, W. (2009). Towards Integrating LCA into CAD. *Proceedings of the 17th International Conference on Engineering Design*, (301-310). Norell, M., Grimheden, M., Skogstad, P. (eds). Springer.
- [108] Pavlič B., Cepak F., Sučić B., Peckaj, M. & Kandus, B. (2014). Sustainable port infrastructure, practical implementation of the green port concept. *Thermal Science*, Vol. 18, (3), 935-948.
- [109] Park N.-K. & Dragović B. (2009). A Study of Container Terminal Planning. *FME Transactions*, 37, 203-209. Belgrade: Faculty of Mechanical Engineering.

- [110] PE International. (2009). *GaBi 4.0 LCA Handbook*. PE International AG & Universiteat Stuttgart.
- [111] Perez, C. (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing Limited.
- [112] Pigosso, D. C. A., McAloone, T.C. & Rozenfeld, H. (2015). Characterization of the State-of-the-art and Identification of Main Trends for Ecodesign Tools and Methods: Classifying Three Decades of Research and Implementation. *Journal of the Indian Institute of Science*, 95, (4).
- [113] Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M. J.; Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K. & Thurston, G. D. (2002). Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *Journal of American Medical Association*, 287, (9), 1132-1141.
- [114] Радовановић, Р. (1994). *Горива*. Београд: Машински Факултет.
- [115] Renault (2011). *Fluence and Fluence zero emission Life Cycle Assessment report*. Boulogne-Billancourt: Renault S.A.
- [116] Reprisk. (2014). *Special Report on MINT Countries: ESG Issues in Mexico, Indonesia, Nigeria & Turkey*. Zurich: RepRisk.
- [117] Rodrigue, J.-P. & Notteboom, T. E. (2009). The Geography of Containerization: Half a Century of Revolution, Adaptation and Diffusion. *GeoJournal*, 74, (1), 1-5.
- [118] Rodrigues, A. M., Bowersox, D. & Calantone, R. (2005). Estimation of Global and National Logistics Expenditures: 2002 Data Update, *Journal of Business Logistics*, 26, (2), 1-16.
- [119] Rose L., Hussaina M., Ahmeda S., Malek K., Costanzo R. & Kjeanga E.: (2013). A comparative life cycle assessment of diesel and compressed natural gas powered refuse collection vehicles in a Canadian city. *Energy Policy*, 52, 453–461.
- [120] Saanen, Y., Johnson, D. & DeWaal, A. (2010). How simulation modeling can support environmental initiatives at container terminals. *Port technology international*, 45, 66-69.
- [121] Saltelli, A., Chan, K. & Scott, E. M. (2008). *Sensitivity Analysis*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [122] Sapiña, R., Giménez, J. A., Pérez, E., García, R., Calduch, D. & Ferrús, G. (2013)- *Report on Port Container Terminals Energy Profile – Port Valencia*. Green Technologies and Eco-Efficient Alternatives for Cranes and Operations at Port Container Terminals, Project Code:2011-EU-92151-S, TEN-T project.
- [123] Singh, S. (2014). *Top 20 Global Mega Trends and Their Impact on Business, Cultures and Society*. Frost & Sullivan.
- [124] Starcrest. (2003). *The Port of New York and New Jersey Emission Inventory for Container Terminal Cargo Handling Equipment, Automarine Terminal Vehicles, and Associated Locomotives*. Houston: Starcrest Consulting Group LLC.
- [125] Starcrest. (2004). *Port of New York & New Jersey CHE Emissions Inventory Update*. Houston: Starcrest Consulting Group LLC.

- [126] Starcrest. (2005). *The Port of Los Angeles, Port-Wide Baseline Air Emission Inventory – Final Report 2004*. Houston: Starcrest Consulting Group LLC.
- [127] Starcrest. (2009). *Rubber Tired Gantry (RTG) Crane Load Factor Study, Port of Los Angeles*. Houston: Starcrest Consulting Group LLC.
- [128] Starcrest. (2014). *The Port of Los Angeles, Port-Wide Baseline Air Emission Inventory – Final Report 2013*. Houston: Starcrest Consulting Group LLC.
- [129] Stranddorf, H. K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. (2005). *Impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental news No. 78, Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment.
- [130] SUT. (2016). *Containerticker 2015*. Schiffahrt, Hafen, Bahn und Technik, Vol.35. No.2. Sankt Augustin: SUT Verlags GmbH
- [131] Schweimer, G, Levin, M. (2006). *Life Cycle Inventory for the Golf A4*. Wolfsburg: Volkswagen AG.
- [132] Terberg. (2012). *Terberg YT202-EV Technical specifications*. Ijsselstein: Terberg Special Vehicles.
- [133] Tsinker, G. P. (2004). *Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- [134] Theofanis, S., Boile, M. (2009). Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies. *GeoJournal*, 74, (1), 51-65.
- [135] TransPower. (2015). *Electric yard tractor demonstration project*. Final report and final operations report for City of Los Angeles Harbor Department Agreement Number 13-3146,
- [136] Udo de Haes H.A. (1996). *Towards a Methodology for Life Cycle Impact assessment*. Brussels: SETAC-Europe.
- [137] UNCTAD. (2015). *Container port throughput, annual report, 2008-2014*, United nations Conference on Trade and Development, Division on Technology and Logistics (dostupno na internet stranici: <http://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=13321>)
- [138] UNPD. (2012). *United Nations Population Division: World Urbanization Prospects – The 2011 Revision*, (dostupno na internet stranici: <http://esa.un.org/unup/>)
- [139] US EPA. (2004). *Progress report on Clean and Efficient Automotive Technologies under development of EPA*, Interim Technical Report, Office of Transportation and Air Quality. United states Environmental Protection Agency.
- [140] US EPA. (2007). *An Environmental Management System (EMS) - Example for Ports: Advancing Port Sustainability*, United states Environmental Protection Agency.
- [141] Uchil, P. & Chakrabarti A. (2013). Communicating Life Cycle Assessment Results To Design Decision Makers: Need For An Information Visualization Approach. *Proceedings of International Conference on Engineering Design - ICED13*. Seoul: Sungkyunkwan University.

- [142] Ferreira, S. (2010). *Environmental impact of the electricity mix (EU) – Full report*, Leonardo energy & PE International project. Brussels: European Copper Institute.
- [143] Ferreira, S. (2008). *Eco-sheet: 1 kWh generated using different energy sources*, European Copper Institute, Leonardo energy, European Copper Institute.
- [144] Flynn, M. M., McMullen, P. & Solis O. (2008). Saving energy using flywheels, *IEEE Ind. Applied Magazine*, (14), 6, 69-76.
- [145] Folsom, R. G., (2001). *The Paceco Container Crane. Dedication program first Container Crane*. Alameda: The American Society of Mechanical Engineers.
- [146] Franklin W.E. (1995). Life Cycle Assessment a remarkable tool in the era of sustainable resource and environmental management, *Resources, Conservation and Recycling*, 14.
- [147] Freeman, C., Louçã, F. (2001). *As Time Goes By: From the Industrial Revolutions to the Information Revolution*, Oxford: University press.
- [148] Frischknecht, R. (1998). *Life Cycle Inventory Analysis For Decision-Making Scope-dependent inventory system models and Context-specific joint product allocation*. Doctoral dissertation. Zurich: Swiss Federal Institute Of Technology.
- [149] Furmans, K., Trenkle, A., Seibold, Z., Hochstein, M. & Stoll, T. (2015). Plug & Play Material Handling systems as a contribution to Industry 4.0, challenges and achievements, *Proceedings of XXI Material Handling Constructions and Logistic - MHCL 2015 Conference* (1-6). Vienna: Technical university.
- [150] Haselbach, L. & Langfitt Q. (2015). *Life Cycle Assessment Learning Module Series*. Washington: State University.
- [151] Hartmann, D. L.; Klein Tank, A. M. G.; Rusticucci, M. (2013). *Observations: Atmosphere and Surface*. New York: UN Intergovernmental Panel of Climate Change.
- [152] Heijungs, R, Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, RM., Udo de Haes, H.A., Sleeswijk, A.W., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., van Duin, R. & de Goede, H.P. (1992). *Environmental life cycle assessment of products. I Guide; II Backgrounds*. Leiden: CML.
- [153] Heiskanen, Eva. (2002). The institutional logic of life cycle thinking, *Journal of Cleaner Production*, 10, 427-437.
- [154] Horne, R., Grant, T. & Verghese, K. (2009). *Life Cycle Assessment: Principles, Practice, and Prospects*. Colinwood: Csiro Publishing.
- [155] Calstart. (2011). *Hybrid yard hostler demonstration and commercialization project - Final report*. Pasadena: Calstart Inc.
- [156] Calstart: (2008). *Liquefied Natural Gas (LNG) Yard Hostler Demonstration and Commercialization, Project - Final Report*. Pasadena: Calstart Inc.
- [157] Cannon, J. S. (2008). *U.S. Container Ports and Air Pollution: A Perfect Storm*, Hinesburg: Energy Futures, Inc.
- [158] Cannon, J. S. (2009). *Container Ports and Air Pollution*, Hinesburg: Energy Futures, Inc.

-
- [159] CARB. (2005). *Emissions inventory methodology*. Sacramento: California Air Resources Board.
- [160] Caterpillar. (2006). *C11, C13, C15 and C18 Industrial Engines, Troubleshooting & Maintenance Manual*, Peoria: Caterpillar Inc.
- [161] Corbetta, L. (2015). Ports & Container Handling – RTG Crane Electrification. *Proceedings of TOCA Europe conference*. Cavotec E-RTG Solutions.
- [162] Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P. & Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8, (5).
- [163] Cooper, J., Kilmer, J. & Wands, B. (2003). *Stacking Shipping Containers on Land for an Off-Axis Detector*. Batavia: Fermi National Accelerator Laboratory.
- [164] Cummins. (2007). *ISB medium-duty diesel Owner's Manual*, Columbus: Cummins Inc.
- [165] Cushman-Roisin, B. (2011). *Design for Environment (DfE) – Lecture notes*, Dartmouth Engineering Faculty.
- [166] Chevalier, J.-P. (2009). Product Life Cycle Design: Integrating Environmental Aspects into SMEs - Product Design and Development Process, *Proceedings of EVER (Ecologic vehicles and Renewable energies) conference in Monaco*, (177-186).
- [167] Chin, A.T.H. & Low, J.M.W. (2010). Port performance in Asia: does production efficiency imply environmental efficiency. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15, (8), 483-488.
- [168] Choi, H.R., Byeon, S.I. & Park C.H. (2015). Development of Ports Carbon Emission Estimation System. *International Journal of u- and e- Service, Science and Technology*, 8, (8), 235-242.

Биографија мр Андрија М. Вујичић

Андрија М. Вујичић, рођен је 21.05.1978. године у Београду. Основну школу „Стеван Дукић“ у Београду завршио је 1993. године, а Математичку гимназију у Београду 1997. године.

Машински факултет Универзитета у Београду уписао је школске 1997/1998. године и на смеру Машинске конструкције и механизација дипломирао 28.03.2003. године. На истом факултету и смеру уписао је последипломске студије школске 2003/2004. године. Магистарску тезу под насловом „Процена животног циклуса машина и уређаја прекидног транспорта“, одбранио је 03.09.2010. године.

Прво радно искуство од јуна 2004. године стиче као шеф постпродаје у једној од филијала Ценерал моторса у Београду. У периоду од јула до септембра 2005. године похађао је летњу школу немачког језика у Франкфурту. На Институту за Механизацију, Машинског факултета у Београду у периоду од децембра 2005. до септембра 2006. године, био је Члан Организационог одбора међународне конференције из области транспорта, конструкција и логистике „MHCL 2006“.

Искуство из области финансија и управљања ризицима, стиче у огранку „Steiermärkische Sparkasse“ за Србију, где је од октобра 2006. до августа 2007. године, прво радио на месту менаџера продаје, а касније менаџера за управљање ризицима. У истом предузећу био је коаутор корпоративног приручника „Leasing Handbuch“.

Радни однос у Компанији „Дунав Осигурање“ а.д.о., заснива у августу 2007. године, на радном месту специјалисте у Сектору за подршку Дирекције за заједничке послове у осигурању. У Дирекцију за продају неживотних осигурања прелази у мају 2011. године, на место вишег специјалисте и саветника Члана Извршног одбора за продају осигурања и накнаду штета. Био је руководилац неколико тимова за имплементацију софтвера за основну делатност „Фадата-Инсис“. Као сертифициковани тренер за поменути

софтвер био је члан тима за обуку кључних корисника и координатор системске подршке.

За Генералног директора контролисаног Друштва „Дунав ауто“ д.о.о. одлуком Надзорног одбора Друштва именован је 07.02.2013. године.

Представник је Републике Србије у међународној организацији за техничке прегледе „СИТА“ (Comité International de l'inspection Technique Automobile) у којој је ангажован и као Члан Радне групе за стандардизацију регулатива. Члан је Удружења за право осигурања Србије (АИДА Србија), а од марта 2013. године и Члан Редакцијског одбора стручног часописа из области осигурања „Токови осигурања“.

Ожењен је и отац двоје деце. Говори енглески и немачки језик.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а АНДРИЈА М. ВУЈИЧИЋ

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ЕКОЛОШКИ ЕФЕКТИ ФАЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЛУЧКЕ-КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 27. Април 2016. године

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора АНДРИЈА ВУЈИЧИЋ

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада ЕКОЛОШКИ ЕФЕКТИ ФАЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА
ЛУЧКЕ- КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ

Ментор проф. др НЕНАД ЗРНИЋ

Потписани/а АНДРИЈА ВУЈИЧИЋ

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 27. Април 2016. године

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ЕКОЛОШКИ ЕФЕКТИ ФАЗА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА

ЛУЧКЕ- КОНТЕЈНЕРСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 27. Април 2016. године
