

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

Милош Д. Ђорђевић

**УТИЦАЈ ЕКОДИЗАЈНА НА УНАПРЕЂЕЊЕ
ЕКОЛОШКИХ КАРАКТЕРИСТИКА
ТРАКАСТИХ ТРАНСПОРТЕРА КРАТКИХ
ДЕОНИЦА**

Докторска дисертација

Београд, 2026.

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

Милош Д. Ђорђевић

**УТИЦАЈ ЕКОДИЗАЈНА НА УНАПРЕЂЕЊЕ
ЕКОЛОШКИХ КАРАКТЕРИСТИКА
ТРАКАСТИХ ТРАНСПОРТЕРА КРАТКИХ
ДЕОНИЦА**

Докторска дисертација

Београд, 2026.

**UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

Miloš D. Đorđević

**THE INFLUENCE OF ECODESIGN ON THE
IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL
PERFORMANCE OF SHORT-FLIGHT BELT
CONVEYORS**

Doctoral dissertation

Belgrade, 2026.

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Ментор:

др Ненад Зрнић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

Чланови комисије:

др Срђан Бошњак, професор емеритус
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Александар Јововић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Ненад Косанић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Небојша Гњатовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Мирјана Кијевчанин, редовни професор
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Датум одбране:

*Захваљујем се, пре свега, својој породици,
затим ментору, Ненаду Зрнићу, члановима комисије
и свим пријатељима на подршци и вери у мене.*

*Посебно се захваљујем Милици Перић,
без чије помоћи овај рад не би могао бити реализован.*

САЖЕТАК

Наслов докторске дисертације: Утицај екодизајна на унапређење еколошких карактеристика тракастих транспортера кратких деоница

Тракасти транспортери представљају један од најраспрострањенијих система непрекидног транспорта. Утврђено је да највећи утицај на животну средину остварују у фази употребе, пре свега услед потрошње електричне енергије. У раду је примењен приступ заснован на оцењивању животног циклуса (LCA), којим се квантитативно сагледавају енергетски и еколошки утицаји током целокупног животног циклуса тракастог транспортера кратке деонице. Циљ истраживања био је идентификација критичних фаза и доминантних утицаја на животну средину, као и предлагање мера за њихово смањење. Спроведене су парцијалне, упрошћене анализе главних компонената са аспекта екодизајна, на основу којих је спроведена и упрошћена анализа животног циклуса комплетног транспортера. Затим је реализована формална LCA студија применом модуларног приступа, интеграцијом дефинисаних компонената и одговарајућих поданализа. Поданализе карактеристичних компонената представљају засебне LCA студије, које су интегрисане у анализу целокупног система. Развијен је модел транспортера и формирана методологија заснована на фамилијама компонената, која омогућава анализу различитих варијантних решења. Применом модуларног приступа могуће је генерисање LCA модела конкретног транспортера варирањем параметара појединачних компонената, при чему свака компонента представља засебан модул. Предложена методологија омогућава свеобухватно сагледавање укупних утицаја, трошкова и користи, чиме се ствара основа за унапређење еколошке и економске одрживости транспортних система.

Кључне речи: Тракасти транспортер кратке деонице, оцењивање животног циклуса, LCA студија, одрживи развој, утицај на животну средину, екодизајн, енергетска ефикасност

Научна област: Машинство

Ужа научна област: Механизација

UDK:

ABSTRACT

Doctoral dissertation title: The influence of ecodesign on the improvement of the environmental performance of short-flight belt conveyors

Belt conveyors represent one of the most widespread continuous transportation systems. It has been established that the greatest environmental impact occurs during the use phase, primarily due to electricity consumption. This study applies an approach based on Life Cycle Assessment (LCA), which quantitatively evaluates the energy and environmental impacts throughout the entire life cycle of a short-flight belt conveyor. The aim was to identify critical phases and dominant environmental impacts, as well as to propose measures for their reduction. Partial, simplified analyses of the main components from an ecodesign perspective were conducted, forming the basis for a simplified life cycle assessment of the complete conveyor. Subsequently, a formal LCA study was carried out using a modular approach, integrating the defined components and corresponding sub-analyses. These sub-analyses of characteristic components represent individual LCA studies, which were incorporated into the overall system analysis. A conveyor model was developed and a methodology based on component families was established, enabling the analysis of various design alternatives. By applying the modular approach, it is possible to generate an LCA model of a specific conveyor by varying the parameters of individual components, with each component treated as a separate module. The proposed methodology enables a comprehensive evaluation of overall impacts, costs, and benefits, providing a foundation for improving the environmental and economic sustainability of transport systems.

Key words: Short-flight belt conveyor, Life cycle assessment, LCA study, sustainable development, environmental impact, ecodesign, energy efficiency

Scientific field: Mechanical engineering

Scientific subfield: Material handling, constructions and logistics

UDK:

САДРЖАЈ

Сажетак.....	ix
Abstract.....	xi
Садржај.....	xiii
Списак слика.....	xvii
Списак табела.....	xix
Номенклатура.....	xxi
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1 Предмет и циљ истраживања.....	1
1.1.1. Припрема за формирање методологије и њен опис.....	10
1.2. Полазне хипотезе.....	13
1.3. Научне методе истраживања.....	14
1.4. Очекивани научни допринос.....	14
1.5. План истраживања и структура рада.....	15
1.5.1. Прва фаза истраживања.....	15
1.5.2. Друга фаза истраживања.....	15
1.5.3. Трећа фаза истраживања.....	15
1.5.4. Четврта фаза истраживања.....	15
1.5.5. Пета фаза истраживања.....	16
2. ПАРЦИЈАЛНЕ АНАЛИЗЕ ГЛАВНИХ КОМПОНЕНАТА	
ТРАКАСТИХ ТРАНСПОРТЕРА КРАТКИХ ДЕОНИЦА.....	17
2.1 Упрошћена LCA анализа ваљка.....	24
2.1.1. Увод и опис.....	24
2.1.2. Претпоставке и упрошћења.....	25
2.1.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат.....	26
2.1.4. Анализа помоћу ЕР.....	28
2.1.5. Дискусија и закључци.....	28
2.2. Упрошћена LCA анализа добоша.....	29
2.2.1. Увод и опис.....	29
2.2.2. Претпоставке и упрошћења.....	31
2.2.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат.....	32
2.2.4. Анализа помоћу ЕР.....	33
2.2.5. Дискусија и закључци.....	33
2.3. Упрошћена LCA анализа гумене траке транспортера.....	34
2.3.1. Увод и опис.....	34
2.3.2. Претпоставке и упрошћења.....	35

2.3.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат.....	35
2.3.4. Анализа помоћу ЕР.....	38
2.3.5. Дискусија и закључци.....	38
2.4. Упрошћена LCA анализа ЕМ транспортера.....	40
2.4.1. Увод и опис.....	40
2.4.2. Претпоставке и упрошћења.....	40
2.4.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат.....	41
2.4.4. Анализа помоћу ЕР.....	42
2.4.5. Дискусија и закључци.....	42
3. УПРОШЋЕНА LCA АНАЛИЗА КОМПЛЕТНОГ ТРАКАСТОГ	
ТРАНСПОРТЕРА.....	47
3.1. Увод и опис.....	47
3.1.1. ВАЉЦИ.....	48
3.1.1.1. Упрошћена анализа лежаја типа 6310 СЗ.....	50
3.1.2. ДОБОШИ.....	52
3.1.3. ТРАНСПОРТНА ТРАКА.....	53
3.1.4. ЕЛЕКТРИЧНИ МОТОР.....	54
3.1.5. ОСТАЛЕ КОМПОНЕНТЕ.....	54
3.1.5.1. Остале компоненте – компоненте погона без ЕМ.....	54
Упрошћена анализа редуктора.....	54
Упрошћена анализа спојнице.....	55
Упрошћена анализа добошасте кочнице.....	56
3.1.5.2. Остале компоненте – затезни механизам.....	56
3.1.5.3. Остале компоненте – додатна опрема.....	58
Упрошћена анализа левка са олуком.....	58
3.2. Унос параметара и анализа помоћу ЕА.....	58
3.2.1. Фаза сировина.....	58
3.2.2. Фаза производње.....	63
3.2.3. Фаза транспорта.....	66
3.2.4. Фаза употребе.....	67
3.2.5. EoL фаза.....	69
3.3. Резултати ЕА и дискусија – анализа осетљивости.....	70
3.4. Анализа помоћу ЕР.....	76
3.4.1. S13 – Смањење потрошње у фази употребе.....	76
3.4.2. S10 – Оптимизација функционалности производа.....	77
3.4.3. S12 – Осигурање еколошки-безбедног рада.....	77
3.4.4. S14 - Избегавање отпада у фази употребе.....	78
3.4.5. S15 – Побољшање одржавања.....	78
3.4.6. Допунске стратегије: S4, S5, S6 и S19.....	79
3.4.7. Додатне препоруке.....	80
3.5. Закључак.....	81
4. LCA АНАЛИЗА КОМПЛЕТНОГ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА...	83
4.1. Анализиране компоненте комплетног транспортера.....	83
4.1.1. Куглични лежај 6310 СЗ.....	85

4.1.2. Ваљци.....	86
4.1.3. Добоши.....	90
4.1.4. Електромотор.....	91
4.1.5. Транспортна трака.....	93
4.1.6. Редуктор.....	98
4.1.7. Спојница, добошаста кочница и левак са олуком.....	99
4.1.8. Затезни уређај.....	101
4.2. Резултати и дискусија.....	101
4.3. Закључак.....	105
5. МЕТОДОЛОГИЈА LCA АНАЛИЗЕ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА	107
5.1. Увод.....	107
5.2. Методологија.....	107
5.2.1. Ваљци.....	107
5.2.2. Добоши.....	111
5.2.3. Транспортна трака.....	112
5.2.4. Електромотор.....	114
5.2.5. Остале компоненте и друге напомене.....	114
6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	117
6.1. Критички осврт на полазне хипотезе.....	121
6.2. Применљивост и значај резултата истраживања.....	122
7. ЗАКЉУЧАК.....	123
7.1. Научни доприноси.....	123
7.2. Могући правци даљих истраживања.....	124
ЛИТЕРАТУРА.....	127
БИОГРАФИЈА АУТОРА.....	135

СПИСАК СЛИКА

1.1. Позиција међутранспортера на багеру SchRs 1201	11
1.2. Међутранспортер (транспортер 2) са компонентама	11
2.1. ЕА класе материјала	18
2.2. ЕоЛ „пирамида приоритета“ интегрисаног управљања отпадом ..	20
2.3. Компоненте ваљка повратног слога тракастог транспортера на роторном багеру SchRs 350	24
2.4. Компоненте конструкције погонског добоша међутранспортера на роторном багеру SchRs 1201	30
2.5. Компоненте лежаја покретног ослонца (лево) и непокретног ослонца (десно) погонског добоша	30
2.6. Попречни пресек гумене траке са текстилним језгром	34
3.1. Олучасти (жлебни) профил траке	48
3.2. Позиција затезног механизма	57
3.3. Делови затезног механизма	57
3.4. Унос података за фазу сировина у првој итерацији	62
3.5. Унос података за фазу производње у првој итерацији	66
3.6. Унос података за фазу употребе у првој итерацији	68
3.7. Унос података за ЕоЛ фазу у првој итерацији	69
3.8. Резултат прве итерације – иницијални резултат (ИР)	70
3.9. Сценарио са највећим штетним утицајем на животну средину (worst case scenario)	74
3.10. Резултат последње итерације – најбоље решење	75
4.1. Параметризован унос података за производњу и употребу транспортера	84
4.2. Параметризован унос података за фазу употребе транспортера ...	85
4.3. Унос података за поданализу лежаја 6310 С3	86
4.4. Унос података за поданализу носећих ваљака	87
4.5. Унос података за поданализу пријемних ваљака	87
4.6. Унос података за поданализу повратних ваљака	88
4.7. Унос података за поданализу челичних делова ваљака типа SR1 ...	88
4.8. Унос података за поданализу челичних делова ваљака типа SR2 ...	89
4.9. Унос података за поданализу гумених дискова	89
4.10. Унос података за поданализу гумених прстенова	89
4.11. Унос података за поданализу добоша	90
4.12. Унос података за поданализу ваљкастих лежајева	91
4.13. Унос података за поданализу ЕМ	92

4.14. Годишња потрошња електричне енергије ЕМ	92
4.15. Унос података за поданализу траке	93
4.16. Унос података за поданализу природног каучука (гуме)	96
4.17. Унос података за поданализу синтетичког каучука (гуме)	97
4.18. Унос података за поданализу гумене смесе (гуме)	98
4.19. Унос података за поданализу редуктора	98
4.20. Унос података за поданализу спојнице	99
4.21. Унос података за поданализу добошасте кочнице	100
4.22. Унос података за поданализу левка са олуком	100
4.23. Унос података за поданализу затезног механизма	101
4.24. Резултати карактеризације за фазе сировина, производње и транспорта тракастог транспортера	102
4.25. Резултати карактеризације за фазу употребе транспортера	104
4.26. Поређење доприноса фаза сировина, производње и транспорта у односу на фазу употребе за одабране категорије утицаја	104

СПИСАК ТАБЕЛА

2.1. Релативна транспортна удаљеност	19
2.2. Преглед потрошње енергије за различите видове транспорта	19
2.3. ЕoL опције дефинисане у ЕА	21
2.4. Задаци и опције у формуларима ЕА	21
2.5. ЕР стратегије унапређења производа	23
2.6. Компоненте ваљка	25
2.7. Груписане компоненте ваљка	26
2.8. Прорачун енергије производње ваљка	27
2.9. Компоненте лежаја, позиције 1÷14 покретни и непокретни, позиције 15 и 16 само непокретни	31
2.10. Упрошћена листа делова добоша	32
2.11. Прорачун енергије производње добоша	32
2.12. Спецификација кавезног ЕМ типа ZKE 315 Mb-4	40
2.13. Прорачун потребне енергије за производњу ЕМ	41
2.14. Сензори за прегревање ЕМ	44
3.1. Делови од челика код ваљака	50
3.2. Делови од гуме код ваљака	50
3.3. Делови кугличног лежаја типа 6310 С3	50
3.4. Специфичне енергије производње за одговарајуће процесе	51
3.5. Подаци за добоше (нормирано према погонском добошу)	53
3.6. Подаци за ЕМ RZKT 280 М-4	54
3.7. Подаци за производњу редуктора ВKF 320	55
3.8. SEC и енергија производње редуктора	55
3.9. Делови затезног механизма	58
3.10. Компоненте транспортера груписане према материјалу	59
3.11. Компоненте транспортера у фази сировина	60
3.12. Подаци за фазу сировина	61
3.13. Енергија производње за челичне делове свих ваљака	63
3.14. Прорачун енергије производње погонског добоша	63
3.15. Енергија производње за делове ЕМ	64
3.16. Прорачун енергије производње осталих компонената	64
3.17. Енергија производње компонената транспортера	65
3.18. Резервни делови и интервали сервисирања	67
3.19. Резервни делови/количина отпада на годишњем нивоу и по употреби	68

3.20. EoL опције	69
3.21. Параметри и опције за избор у оквиру ЕА формулара	71
3.22. Приказ утицаја комбинације параметара у итерацијама на резултат	73
4.1. Природна и синтетичка гума – појмови	94
4.2. Природна и синтетичка гума – производња – упоредни приказ	95
4.3. Резултати карактеризације за фазу производње транспортера	102
5.1. Основне геометријске величине ваљака у зависности од ширине траке (В).....	108
5.2. Комбинације стандардних дужина и пречника ваљака	109
5.3. Комбинације дужина, пречника ваљака и одговарајућих лежајева који се користе у РБ „Колубара“	109
5.4. Масени коефицијент за лежајеве - $k_{m, BB}$	109
5.5. Коефицијенти за скалирање челичних делова ваљака, за ваљак пречника 159 mm	110
5.6. Масени коефицијент за добоше - $k_{m, pulley}$	111
5.7. Масени коефицијент за ваљкасте лежајеве - $k_{m, RB}$	111
5.8. Густина неких врста гуме	113
5.9. Стандардне ширине траке	113
5.10. Маса 1 mm дебљине гумене облоге стандардних транспортних трака по дужном метру - m_R	113
5.11. Физичка и механичка својства неких пластика	114
5.12. Маса 1 mm дебљине језгра стандардних транспортних трака са основом од полиестера и потком од полиамида по дужном метру - m_{EP}	114

НОМЕНКЛАТУРА

Вибродиагностика – дијагностичка техника којом се анализом параметара вибрација идентификују неисправности и процењује техничко стање машинских система.

Водонични („водени“) мотори – мотори погоњени водоником.

Гарланд слог – висећи слог ваљака.

Готов део (екстерни део) – External part – део чија се производња не разматра, већ се уграђује у производ као готова компонента, која се допрема од другог произвођача.

Гумено-техничка роба – Industrial rubber products (Rubber goods) – производи од гуме опште намене, као што су гумени дискови, прстенови, рукавице итд.

Додатна енергија – Overhead energy – у литератури се налази и као енергија помоћних система, режијска, пратећа или општа енергија - обухвата енергију потребну за грејање или хлађење производних хала, као и за њихово осветљење итд.

Екодизајн – Ecodesign – представља холистички, систематски приступ пројектовању производа, процеса или услуга који интегрише еколошке захтеве у све фазе животног циклуса, са циљем смањења негативних утицаја на животну средину. Он обухвата оптимизацију потрошње ресурса и енергије, смањење емисија, отпада и употребе опасних материјала, без нарушавања функционалности, квалитета или безбедности производа.

Еко-ефикасност – Eco-efficiency – еколошко унапређење по најнижој могућој цени.

Енергетска ефикасност – Energy efficiency – представља меру способности система, уређаја или процеса да минималним утрошком енергије оствари задати ниво корисног учинка. Она се дефинише као однос корисно искоришћене енергије и укупно утрошене енергије, при чему већа енергетска ефикасност подразумева мање енергетске губитке и оптималнији рад система.

Енергетски-ефикасна трака – Energy-saving belt – транспортна трака са тако избалансираном подужном и попречном крутошћу, да смањује отпор кретању преко ваљака и отпор савијању траке.

Енергетски-ефикасни лежаји – Energy-saving bearings – квалитетнији лежаји који остварују мањи отпор трењу – „штедљиви“ лежајеви.

Жарне тачке – Hot spots – критична места, подесна за унапређење.

Животни циклус производа – LC – Life Cycle (PRC – Product Life Cycle) – према стандарду SRPS EN ISO 14067: 2019, састоји се из 5 сукцесивних фаза: набавке сировина, производње, дистрибуције, коришћења производа и третмана на крају животног века (циклуса).

Затворени циклус материјала – Closed (material) cycle / loop – концепт у циркуларној економији, који подразумева да се материјали након употребе не одлажу као отпад, већ се рециклирају, обнављају или поново користе унутар истог система производње, без губитка вредности. Циљ је минимизирање отпада и максимална искоришћеност ресурса.

Затезни механизам са полугом – jack-operated take-up device

Затезни механизам са скакавицом (чегртаљком) – ratchet – спречава кретање уназад

Инсинерација – уништавање отпада спаљивањем – EoL опција код ISWM – Коинсинерација – спаљивање отпада уз поврат енергије.

ИР – Иницијални резултат

Језгро (гумене транспортне траке) – састоји се из вучних слојева, који могу бити текстилни или у облику челичне ужади

Карактеризација – корак у LCA студији којим се одређује релативни допринос релевантној категорији утицаја сваког од параметара инвентара. Врши се квантификација утицаја.

Класификација – корак у LCA студији који представља распоређивање параметара инвентара у релевантне категорије утицаја.

Концепт (или стратегија) одржавања – начин обезбеђивања захтеване функционалности и поузданости техничког система током његовог животног века. Постоје реактивно (корективно), превентивно, предиктивно, проактивно и одржавање усмерено на поузданост.

Крива снабдевања – Supply curve – графичка презентација односа између цене добра/услуге и дистрибуираног квантитета за дати временски период.

Ланац снабдевања - скуп свих активности, процеса и учесника укључених у кретање производа или услуга од набавке сировина, преко производње и дистрибуције, до крајњег корисника.

Латекс – Latex – млечнобела течност која се добија цурењем из стабала дрвета гуме (*Hevea brasiliensis*).

Магнетни мотори – мотори засновани на перманентним магнетима.

Мониторинг – надзор.

Надоградња (унапређење) производа – EoL опција којом се продужава радни век производа – обично подразумева замену дотрајалих компонената бољим, захваљујући којима се добија производ бољих карактеристика од оригиналног.

Налеп – наслага, односно слој материјала који се лепи на компоненте транспортера (нпр. ваљке) и омета њихов исправан рад, одржавање и сервисирање.

Нормализација – корак у LCA студији којим се прорачунава допринос резултата индикатора у односу на референтну вредност, односно нормализациону референцу. Нормализација допушта директно поређење вредности различитих категорија утицаја.

Облога (гумене транспортне траке) – штити језгро траке. Разликује се облога радне и нерадне стране траке. Радна је обично дебља.

Одлагање отпада на депонију (депоновање) – Landfill – крајња EoL опција код ISWM.

Одрживи развој – Sustainable development – развој који задовољава потребе данашњих генерација, а не угрожава задовољење потреба будућих генерација.

ОИЕ – Обновљиви Извори Енергије – Renewable Energy Sources (Renewables) – извори енергије који нису на бази фосилних горива.

Окретни слог – Слог ваљака постављен на вертикалну осовину који служи за центрирање траке.

Опасан отпад (или супстанце) – Hazardous waste (substances) – отпад (или супстанце) који због својих физичких, хемијских или биолошких својстава представља ризик по здравље људи и животну средину.

Пирамида приоритета – Pyramid of priority – у оквиру ISWM, на овај начин се сликовито приказују опције за поступање са производом на крају његовог животног циклуса. Оне су графички приказане и сложене од најповољније до најнеповољније.

Пондерисање – корак у LCA студији који омогућава истицање различитих значаја категорија утицаја.

Поправка (сервисирање) – опција у фази коришћења којом се продужава радни век производа, а која подразумева спровођење активности које производ доводе у стање да може исправно испуњавати своју функцију.

Поузданост – вероватноћа да ће производ обављати своју функцију под датим условима употребе у предефинисаном периоду без настанка квара.

Продуктивност – мера ефикасности коришћења ресурса у процесу производње или обављања неке активности.

Радни век – фаза коришћења – време за које производ исправно функционише, односно испуњава своју функцију.

Ревитализација – процес обнављања, унапређења и продужења радног века система, објекта или његових делова, уз задржавање или побољшање његових перформанси.

Регенеративни (или рекуперативни) погон – погони код којих се приликом кочења мотора енергија акумулира и враћа у мрежу.

Резидуална вредност – вредност средства (обично се односи на капиталну опрему) на крају његовог радног века.

Рекондиционирање (транспортне траке) – поступак репарације транспортне траке којим се изабљена транспортна трака доводи у стање да поново може исправно обављати своју функцију.

Репроизводња – Remanufacture – EoL опција код ISWM – обрнут поступак производњи, када се производ раставља на компоненте, које се проверавају; исправне компоненте се користе у поновној производњи истог или сличног производа, а дотрајале улазе у своју EoL фазу.

Реупотреба – Reuse – поновна употреба производа који је на крају свог животног циклуса – EoL опција код ISWM.

Рециклажа – Recycle – прерада отпада уз употребу деструктивне демонтаже ради искоришћења материјала у виду секундарних сировина – EoL опција код ISWM. Разликује се примарна (затворено коло – производ се рециклира у исти такав производ – closed loop или closed cycle), секундарна (отворено коло – производ се рециклира у сличан производ – open loop или open cycle) и терцијална рециклажа (рециклажа у производ који неће бити поново рециклиран).

Самоподесиве компоненте – елементи система који аутоматски прилагођавају своје положаје, параметре или радне услове у циљу одржавања оптималног функционисања без спољне интервенције.

Самочистећи ваљци – self-cleaning rollers – ваљци који својом конструкцијом остварују ефекат самочишћења.

Слог (ваљака) – Idler – Подсклоп тракастог транспортера који се састоји од ваљака у одговарајућој конфигурацији. Најчешће 1, 2, 3 или 5 ваљака чини слог.

Стрела ротора – решеткаста конструкција на предњем делу роторног багера на чијем крају се налази захватни уређај – ротор.

Термографија – Thermography – неконтактна дијагностичка техника – метода снимања и анализе температурног поља на површини тела помоћу инфрацрвеног зрачења.

Тракасти транспортери кратких деоница – тракасти транспортери кратких траса, код којих доминантан утицај имају локални отпори. Поред тракастих транспортера кратких деоница, у односу на дужину трасе и доминантне отпоре, разликују се тракасти транспортери средњих и дутих деоница.

Утицаји на животну средину – Environmental impacts – све промене у животној средини настале деловањем природних процеса или људских активности, које могу бити негативне или позитивне и обухватају измене квалитета ваздуха, воде, земљишта, екосистема и здравља људи.

Фосилна горива – необновљиви енергетски ресурси настали дуготрајним геолошким процесима разлагања органске материје, а обухватају угаљ, нафту и природни гас.

Чађ – Carbon black – врста паракристалног угљеника са високим односом површина-запремина.

42CrMo4 – нисколегирани конструкциони челик за побољшање погодан за високо оптерећене машинске делове као што су осовине, вратила, зупчаници и вијци.

50 NBR 10.1 - гумени материјал на бази нитрил-бутадиен каучука, затезне чврстоће 10,1 МПа, за заптивке, о-прстенове, мембране и друге техничке делове који долазе у контакт са уљима и мастима.

ABS – Acrylonitrile Butadiene Styrene – Акрилонитрил бутадиен стирен – кополимер стирена – врста термопластике

АС – Acidification – Ацидификација – јединица је [kg SO₂ eq].

AD – Abiotic Depletion – Потрошња необновљивих ресурса – јединица је [kg Sb eq].

ADff – Abiotic Depletion fossil fuels –потрошња фосилних горива – јединица је [MJ].

ADP – Abiotic Depletion Potential – потенцијал потрошње необновљивих ресурса. Необновљиви ресурси су они који се не могу обновити у периоду од 100 година.

Anti-friction material – материјал са антифрикционим особинама.

AP – Acidification Potential – потенцијал ацидификације, односно закисељавања.

В – Ширина траке.

BB – Ball Bearing – Куглични лежај.

Belting (или conveyor belt) – транспортна трака.

BR – Butadiene Rubber – бутадиен каучук.

C15E – нискоугљенични челик за цементацију погодан за делове као што су зупчаници, осовине и клинови.

C22 – конструкциони челик за осовине, вратила и машинске делове средњег оптерећења.

CAD – Computer Aided Design – Пројектовање помоћу рачунара.

CE Method – метода LCIA.

CEMA – Conveyor Equipment Manufacturers Association – Удружење произвођача опреме за конвејере/транспортере.

CHP (Cogeneration – синоним) – Combined Heat and Power – Постројење за комбиновану производњу топлоте и електричне енергије – систем који истовремено производи и електричну енергију и корисну топлоту из истог извора енергије. Уместо да се отпадна топлота из производње струје изгуби, она се хвата и користи, најчешће за грејање зграда или индустријске процесе.

Chute – other parts – Левак са олуком.

CK45 – средњеугљенични челик за термичку обраду за осовине, вратила, зупчанике и друге машинске делове изложене већим оптерећењима.

CML-IA baseline V3.02 – метода LCIA – проблемно оријентисана, тј. са приступом „средње тачке“ – midpoint method.

CML/NOGEPА – метода LCIA.

CML 2001 – метода LCIA.

Coupling – other parts – Спојница.

CR - Chloroprene Rubber - неопрен, полихлоропрен – гума на бази хлоропрен-каучука.

Cradle-to-cradle – „од колевке до колевке“ – варијанта LCA студије која разматра све фазе животног циклуса производа, с тим да се у фази краја животног циклуса производа разматра рециклажа и тако се затвара циклус материјала.

Cradle-to-gate – „од колевке до капије“ – варијанта LCA студије која разматра фазе животног циклуса производа закључно са производњом – до „капије фабрике“.

Cradle-to-grave – „од колевке до гроба“ – варијанта LCA студије која разматра све фазе животног циклуса производа.

Cut-off criterion – Критеријум искључивања (правило одстрањивања) – критеријум на основу кога се изузимају процеси из LCA студије који могу бити занемарени ради њеног поједностављења.

DEM – Discrete Element Method – метода дискретних елемената.

Dirt (или sticky) repellent material – материјал за који се тешко лепи транспортовани материјал.

Doppelmaуr RopeCon – систем за транспорт великог капацитета расутог терета на велике удаљености – тракасти транспортер специфичне конструкције.

Double-ECO model – модел, који разматра корелацију између екологије и економије.

DRC – Dry Rubber Content – проценат суве материје (каучука) у природном латексу; што је већи, то је бољи квалитет.

Drum brake – other parts – Добошаста кочница.

DTC – Direct Torque Control – директна контрола обртног момента.

DTT – Distance-To-Target – метода са приступом „из даљине ка циљу“.

Ebruš – енергија брушења куглица и прстенова лежајева.

E_{hom.} – енергија хомогенизације гумене смесе на двоваљцима.

E_{El} – електрична енергија потребна за производњу тракастог транспортера $E_{El} = E_{El, traka} + E_{zat. meh.}$

E_{IM} – енергија производње бризгањем под притиском.
 $E_{IM, traka}$ – енергија производње језгра траке бризгањем под притиском.
 E_{jez} – енергија производње језгра траке.
 $E_{kal.}$ – енергија обраде траке на каландеру.
 E_{kav} – енергија производње кавеза лежаја.
 $E_{koč}$ – енергија производње кочнице.
 $E_{konf.}$ – енергија конфекционирања траке.
 E_{kov} – енергија ковања куглица лежаја.
 E_{kug} – енергија производње куглица лежаја.
 E_{lev} – енергија производње левка са олуком.
 $E_{mix.}$ – енергија производње гумене смесе у миксерском постројењу.
 E_{pr} – енергија производње спољашњег и унутрашњег прстена лежаја.
 E_{rez} – енергија производње спољашњег и унутрашњег прстена лежаја.
 E_{SP} – енергија производње челичних делова (Steel Parts).
 E_{spoj} – енергија производње спојнице.
 E_{trake} – енергија производње траке.
 E_T – термичка енергија потребна за производњу тракастог транспортера
 $E_T = E_{valjci} + E_{doboši} + E_{IM, traka} + E_{EM} + E_{ostalo}$; $E_{ostalo} = E_{reduktor} + E_{spojnica} + E_{kočnica} + E_{levak}$.
 $E_{valjaka}$ – енергија производње ваљака.
 $E_{vulk.}$ – енергија вулканизације траке.
 EA – Ecodesign Assistant – алатка за спровођење упрошћених LCA анализа, тј. „online“ платформа Техничког факултета у Бечу (TUW), доступна на www.ecodesign.at – алатка је комплементарна са EP.
 EAL – Environmentally Acceptable Lubricant – Еколошки прихватљив лубрикант – лубрикант који остварује мањи утицај на животну средину од стандардног лубриканта, без погоршања триболошких карактеристика.
 $Eco-indicator '99$ – метода LCIA са приступом оријентисаним ка штети, тј. приступом крајње тачке – endpoint method.
 $Ecoinvent 3.0$ – база података за LCA студије – верзија 3.0.
 $Ecotoxicity$ – Екотоксичност – термин који означава штетне ефекте хемијских, физичких или биолошких агенаса на екосистеме, односно на флору и фауну у посматраном екосистему.
 ECS – Excavator-Conveyor-Spreader – Багер-Транспортер-Одлагач (БТО систем).
 $ECSY$ – Excavator-Conveyor-StockYard – Багер-Транспортер-Депонија (БТД или БТУ систем).
 EEI – Eco-Efficiency Improvement – концепт побољшања еко-ефикасности.
 EL – Environmental Load – оптерећење животне средине.
 EM – Electric Motor – Електрични мотор или електромотор.
 $Embodied energy$ – заробљена енергија, варијанта упрошћене LCA анализе.
 EMS – Environmental Management System – систем менаџмента заштите животне средине.
 EoL – End of Life – фаза краја животног циклуса производа.
 EP – Ecodesign PILOT – алатка за спровођење упрошћених LCA анализа, тј. „online“ платформа Техничког факултета у Бечу (TUW), доступна на www.ecodesign.at –

алатка је комплементарна са ЕА – базира се на 19 стратегија за унапређење еколошких карактеристика производа.

EPD – Environmental Product Declaration – декларација о еколошкости производа.

EPS – Environmental Priority Strategies – метода за оцењивање утицаја производа на животну средину базирана на еколошким стратегијама (метода LCIA).

ESIdler™ – концепт слога са два централна ваљка.

ET – Eutrophication – Еутрофикација – „цветање воде“ – јединица [kg PO₄ eq].

External recycling - Екстерно рециклирање – процес у коме се отпадни материјали из једног система, процеса или компаније рециклирају ван тог система, односно у другом предузећу или организацији.

FET – Fresh water aquatic ecotoxicity – слатководна екотоксичност – јединица је [kg 1,4-DB eq].

Flexure resistance – отпор који се јавља услед савијања (превијања) траке.

FOR LPD 2 – лубрикант са литијумском базном масти за дуготрајно подмазивање машинских склопова, посебно лежајева.

Gate-to-gate – „од капије до капије“ - варијанта LCA студије која разматра фазу производње, или један одређени процес.

Gate-to-grave – „од капије до гроба“ - варијанта LCA студије која разматра фазе животног циклуса производа након производње – од „капије фабрике“ до краја животног циклуса, дакле укључује фазу употребе и EoL.

Gearbox – other parts – Редуктор.

Gearbox oil – Уље редуктора („Редуктол“)

GHG – GreenHouse Gases – гасови стаклене баште – утичу на ефекат стаклене баште, односно биланс зрачења у Земљиној атмосфери (нпр. CO₂ – угљен-диоксид, SO₂ – сумпор-диоксид, NO_x – оксиди азота).

GW – Global Warming – глобално загревање – повишење глобалне температуре у површинском слоју Земљине атмосфере – тропосфери.

GWP – Global Warming Potential – потенцијал глобалног загревања.

GWP100a – Global Warming Potential – потенцијал глобалног загревања за период од 100 година – јединица [kg CO₂ eq].

HDPE – High-Density Polyethylene – Полиетилен високе густине – врста термопластике.

HPM – High Performance Machines – машине високих перформанси.

HT – Human Toxicity – Токсичност по људе – јединица је [kg 1,4-DB eq].

IE1 ÷ IE4 – Класа енергетске ефикасности ЕМ према IEC стандарду.

IEC – International Electro-technical Commission – Међународна електро-техничка комисија.

IM – Injection molding – Бризгање под притиском.

Impact 2002+ – метода LCIA са приступом оријентисаним ка штети, тј. приступом крајње тачке – endpoint method.

Indentation rolling resistance – отпор кретању траке услед преласка преко ваљака – набирање траке – локалне деформације траке на месту контакта са ваљцима и добошима.

In-house recycling – Рециклажа на месту производње.

IPCC 2007 – метода LCIA.

ISEP – Index of Service-Energy Performance – индекс ефикасности и функционалности за тракасте транспортере.

ISWM - Integrated Solid Waste Management - Интегрисано управљање чврстим отпадом.

$K_{m, BB}$ – Масени коефицијент за скалирање кугличних лежајева.

$K_{m, O}$ – Масени коефицијент за скалирање дужине осовине ваљака.

$K_{m, P}$ – Масени коефицијент за скалирање дужине плашта ваљака.

$K_{m, pulley}$ – Масени коефицијент за скалирање добоша.

$K_{m, pulley, all. steel}$ – Масени коефицијент за скалирање делова добоша од легираног челика.

$K_{m, pulley, steel}$ – Масени коефицијент за скалирање делова добоша од челика.

$K_{m, pulley, rubber}$ – Масени коефицијент за скалирање гумене облоге добоша.

$K_{m, RB}$ – Масени коефицијент за скалирање ваљкастих лежајева.

„Klixon“ - комерцијални назив за термичке заштитне уређаје (биметалне термопреклопнике) компаније „Sensata Technologies“, који се у пракси користи као општи назив за термостатске прекидаче малих димензија.

L_{10} – номинални век трајања при коме 90% лежајева из једне серије може да ради без отказа, при задатим условима оптерећења и рада.

L_p – Дужина плашта ваљка.

L_o – Дужина осовине ваљка.

L – Дужина (траке).

LCA – Life Cycle Assessment – оцењивање животног циклуса производа – алат који омогућава израчунавање утицаја на животну средину за време различитих фаза животног циклуса.

LCI – Life Cycle Inventory – анализа инвентара животног циклуса производа – друга фаза LCA студије.

LCIA – Life Cycle Impact Assessment – оцена утицаја животног циклуса производа – трећа фаза LCA студије.

LCT – Life Cycle Thinking – размишљање на бази животног циклуса - холистички приступ сагледавању животног циклуса производа, који представља језгро Екодизајна.

Lubricating oil – Лубрикант (Мазиво).

$m_{all. steel}$ – маса делова од легираног челика (код добоша).

m_B – маса траке (Belting).

m_{EP} – маса језгра (вучних слојева) траке.

m_{EP}'' – маса једног милиметра дебљине језгра стандардних транспортних трака са основом од полиестера и потком од полиамида по дужном метру.

m_{EP}''' – маса дужног метра језгра стандардних транспортних трака са основом од полиестера и потком од полиамида по једном милиметру дебљине и једном метру ширине траке.

m_{jez} – маса језгра траке.

m_{kav} – маса кавеза лежаја.

m_R – маса гумених облога траке.

m_R'' – маса једног милиметра дебљине гумене облоге стандардних транспортних трака по дужном метру.

$m_{R''}$ – маса дужног метра гумене облоге стандардних транспортних трака по једном милиметру дебљине и једном метру ширине траке.

m_{RD} – маса гуменог диска (Rubber Disc).

m_{RR} – маса гуменог прстена (Rubber Ring).

m_{rubber} – маса гумене облоге (код добоша).

m_{steel} – маса делова од челика (код добоша).

MET – Marine aquatic ecotoxicity – морска, водена екотоксичност – јединица је [kg 1,4-DB eq].

METSO MRC Cable Belt – систем за транспорт великог капацитета расутог терета на велике удаљености – тракасти транспортер специфичне конструкције.

NBR – Nitrile Butadiene Rubber – нитрил-бутадиен каучук/гума.

NR (српеће се и ознака N) – Natural Rubber – природни каучук/гума – термин гума се односи на готов производ на бази природног каучука.

OD – Ozone layer depletion – Општећење озонског омотача – јединица је [kg CFC-11 eq].

Open-Pit Mine methods and systems – методи рударења на површинским коповима.

Operational level optimization (operational decisions) – оптимизација у фази употребе.

P – Површина (траке).

PA (PA6 и PA66) – Polyamide – Полиамид („најлон“) – врста тврде термопластике.

PA6 GF30 – Полиамид ојачан са 30% стаклених влакана (Glass Fiber).

PAHs – Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – Полициклични ароматични угљоводоници.

PC – Polycarbonate – Поликарбонат – врста термопластике.

PET – Polyethylene Terephthalate – Полиетилен-терефталат – врста термопластике.

PETP – Polyethylene Terephthalate Polyester – Полиетилен-терефталат полиестер – термопластични полиестер.

PM2.5 – Particulate Matter 2.5 μm – означава честице суспендоване у ваздуху пречника мањег од 2,5 микрометара ($\leq 2,5 \mu m$). То су такозване *фине* честице. Поред њих најчешће разматране категорије су PM10 ($\leq 10 \mu m$) – *сирове* или *крупније* честице, PM1 ($\leq 1 \mu m$) – *веома fine* честице и UFP – Ultrafine particles ($\leq 0,1 \mu m$) – *ултраfine* честице.

PMMA – Polymethyl Methacrylate – Полиметил-метакрилат – термопластични полимер познат као акрилно стакло (често под трговачким именима типа Плексиглас).

POC – Photochemical oxidation – Фотохемијска оксидација – јединица је [kg C₂H₄ eq].

POCP – Photochemical Ozone Creation Potentials – потенцијал стварања озона у тропосфери.

Polyester (EP) – врста термоактивне пластике.

POM – Polyoxymethylene – Ацетал или полиацетал – врста термопластике.

PP – Polypropylene – Полипропилен – врста термопластике.

PP MA-4 – врста термопластике.

Primary waste separation – Сепарација отпада на извору, или сепарација на месту настанка је одвајање различитих врста отпада на месту његовог генерисања.

PTFE – Polytetrafluoroethylene – Тефлон – врста термопластике

Pulley – Добош (Бубањ)

PVC – Polyvinyl Chloride – Поливинил хлорид – врста термопластике.

RB – Roller Bearing – Ваљкасти лежај.

RD – Rubber Disc – Гумени диск.

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) – регулатива Европске уније којом се контролише производња и промет хемијских супстанци ради заштите здравља људи и животне средине – обавезује произвођаче и увознике да региструју, евалуирају и, ако је потребно, ограниче или добију дозволу за опасне супстанце.

RMEE – Relative Mass-Energy-Economic value method – релативни маса-енергија-економска вредност метод.

Roller – carrying – Носећи ваљак.

Roller – impact – Пријемни (или амортизујући) ваљак.

Roller – return – Повратни ваљак.

RR – Rubber Ring – Гумени прстен

RTD – Resistance Temperature Devices – Сензор отпора - Мери температуру на основу промене отпора у металном сензору (најчешће платини) - висока тачност (± 0.1 до ± 0.5 °C) – Стабилан и поуздан током времена, спорији одзив у односу на термопаре и термисторе, већа цена у односу на термисторе – Чест избор за мерење температуре намотаја електромотора и лежајева, посебно у индустрији (стандардно: PT100 сензори); идеални за континуирано праћење температуре у критичним системима.

S235JRG2 – конструкциони челик погодан за опште конструкције.

S335J2G3 (S355J2G3) – конструкциони челик погодан за носеће и динамички оптерећене челичне конструкције.

SBR - Styrene Butadiene Rubber - стирен-бутадиен каучук.

SEC - Specific Energy Consumption – специфична потрошња енергије.

SEC_{IM} – специфична потрошња енергије бризгања под притиском.

SF – Service Factor – Фактор снаге или преоптерећење ЕМ – односи се на коефицијент радног оптерећења електромотора. Он означава способност мотора да ради изнад своје номиналне снаге без прегревања или општећења, у одређеним условима и ограничено време.

SimaPro 7.3 – Програмски пакет за LCA студије (у тексту се помињу и друге верзије).

Spillage conveyor – транспортер који сакупља просути материјал.

SR – Synthetic Rubber – синтетички каучук/гума.

SR – Steel Roller – челични ваљак.

SR1 – Steel Roller 1 – гладак челични ваљак типа 1

SR2 – Steel Roller 2 – гладак челични ваљак типа 2

Super ESIdler™ – концепт слога са два централна ваљка и повећаним пречником централних ваљака.

SVHC (Substances of Very High Concern) – супстанце које изазивају велику забринутост у оквиру регулативе REACH.

SWM – Solid Waste Management – стандардно управљање чврстим отпадом.

Take-up device – other parts – Затезни механизам.

TEFC cage EM – Totally Enclosed Fan Cooled cage EM – потпуно затворени кавезни ЕМ, хлађен вентилатором.

TET – Terrestrial ecotoxicity – Екотоксичност земљишта – јединица је [kg 1,4-DB eq].

Thermistor – Термистор – сензор са полупроводничким материјалом чији отпор снажно зависи од температуре (обично NTC – негативни температурни коефицијент) – врло осетљив на промене температуре, веома брз одзив, ограничен температурни опсег (обично до 150 °C), нижа тачност и стабилност у поређењу са RTD – погодан за локалну заштиту од прегревања (нпр. уграђен у намотаје као заштита), чест у мањим електромоторима и кућним апаратима.

Thermocouple – Термопар – генерише напон (mV) на споју два различита метала услед температурне разлике – широк опсег мерења (до 1000+ °C), брз одговор, нижа тачност у односу на RTD, потребна калибрација и компензација за "хладан спој" – користи се где су екстремне температуре или је потребан брз одговор; мање се користи за лежајеве, али понекад у моторима велике снаге или у термички оптерећеним окружењима.

Thrust ball bearing – Аксијални куглични лежај.

tkm – јединица за квантификацију утицаја транспорта на животну средину.

TLD – A Typical service Life Duration – појам „типичан радни век“.

TUW – Technischen Universität Wien – Технички Универзитет у Бечу.

Umberto NXT – Програмски пакет за LCA студије.

VFD - Variable Frequency Drive – погон са променљивом фреквенцијом.

VSC – Variable Speed Control - equipment level intervention – систем са променљивом брзином на нивоу компонената.

VSD – Variable Speed Drive – погон са променљивом брзином.

Warp yarn – Основа - уздужна влакна текстилне испуне гумених трака за транспортере. Обезбеђују преношење силе.

Weft yarn – Потка – попречна влакна текстилне испуне гумених трака за транспортере. Обезбеђују крутост у управном правцу у односу на кретање траке.

Worst case scenario – Најгори случај – случај у коме се остварује највећи штетни утицај на животну средину.

z – број вучних слојева траке.

ρ_{EP} – Густина вучних слојева траке.

$\rho_{R, SR}$ – Средња густина гуменог дела траке.

δ_{EP} – Дебљина језгра траке.

δ_R – Дебљина гуменог дела траке.

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1. Предмет и циљ истраживања

Тракасти транспортери су најзаступљеније машине континуалног транспорта [Gašić, 2010], [Konieczna-Fuławka, 2025]. Налазе широку примену у индустријским постројењима, фабрикама, индустрији паковања, као и на површинским коповима у системима за транспорт откопаног материјала и у склопу подсистема машина високих перформанси (НРМ – High Performance Machines), као што су Багер-Транспортер-Одлагач (БТО) системи, а који представљају витални део површинске експлоатације угља [Bošnjak & Zrnić, 2012]. Код БТО система, тракасти транспортери кратких деоница представљају један од подсистема роторног багера. На основу [Pantelić, 2009], може се рећи да су тракасти транспортери критична места БТО система и да је њихово исправно и ефикасно функционисање од виталног значаја за цео систем.

Република Србија, у енергетском смислу, првенствено зависи од необновљивих ресурса, односно фосилних горива. Према извештају о стању животне средине у Републици Србији за 2023. годину [Agencija za zaštitu životne sredine, 2023], у бруто финалној потрошњи енергије Републике Србије, удео обновљивих извора енергије (ОИЕ) износио је 24,67%, а фосилних горива 75,33%. При томе, највећи део произведене електричне енергије у Републици Србији се добија сагоревањем угља у термоелектранама, који се добија доминантно из површинских копова. Сходно томе, снабдевање термоелектрана угљем у многостручној зависности од система за експлоатацију угља на површинским коповима, што даље имплицира да БТО системи имају огроман значај за неометано функционисање енергетског система Републике Србије, као и других земаља, чија је структура енергетског система заснована на угљу.

С друге стране, проблеми у области заштите животне средине, као што су глобално загревање, загађење ваздуха и други антропогени утицаји, већ деценијама представљају предмет интензивних научних истраживања и политика одрживог развоја. Међутим, њихов интензитет и кумулативни ефекти у последњим деценијама додатно наглашавају потребу за свеобухватним и квантитативним приступом процени утицаја техничких система током читавог животног циклуса. У том контексту, очување квалитета екосистема, здравља људи и необновљивих ресурса, уз истовремено испуњавање захтева законске регулативе и остваривање економских користи кроз уштеде у сировинама и повећање енергетске ефикасности система, намеће интеграцију еколошких критеријума у процес пројектовања, одржавања и ревитализације оваквих система. Та интеграција подразумева систематско смањење

негативних утицаја на животну средину уз истовремено унапређење перформанси система.

У зависности од дужине трасе и доминантних компоненти укупног отпора, прорачун тракастих транспортера се разликује за тракасте транспортере кратких, средњих и дугих деоница, при чему са порастом дужине расте удео главних отпора, док је код кратких система доминантан утицај локалних отпора [CEMA, 2014], [DIN 22101, 2011].

Предмет овог истраживања су тракасти транспортери кратких деоница, какви су заступљени као подсистеми у багерским јединицама БТО система. Поред тога, тракасти транспортери кратких деоница имају широку примену у прехранбеној и индустрији паковања, системима за одржавање путева, постројењима за сепарацију агрегата према фракцијама итд.

Циљ докторске дисертације је да се формира методологија за оцену и унапређење еколошких и енергетских перформанси тракастих транспортера кратких деоница и њима сличних машина и система. За формирање методологије коришћени су програмски пакети за оцењивање животног циклуса производа (LCA – Life Cycle Assessment) уз примену приступа који укључује размишљање на бази животног циклуса (LCT – Life Cycle Thinking). LCT приступ, који представља језгро екодизајна, јесте холистички приступ сагледавању животног циклуса производа.

Оценом различитих утицаја на животну средину уз анализу енергетске ефикасности могуће је изнаћи унапређења у оба погледа. Поред смањења штетних утицаја на животну средину, повећањем енергетске ефикасности се смањује потрошња електричне енергије и на тај начин остварује уштеда у фази употребе. На овај начин се може значајно продужити радни век ових машина, као и повећати њихова поузданост и сигурност у раду [Zrnić & Đorđević, 2012] и [Langerholc, et al., 2013].

LCA студија је алат који омогућава израчунавање утицаја на животну средину, гледано кроз потрошњу енергије, материјала, односно сировина, затим воде и ваздуха, као и окупацију земљишта и кроз емисије у ваздух, воду и земљиште за време различитих фаза животног циклуса производа [Zrnić & Đorđević, 2012]. LCA студија је регулисана фамилијом стандарда ISO 14040, односно стандардима [SRPS ISO 14040, 2008], [SRPS ISO 14044, 2009], [SRPS ISO 14045, 2014], [SRPS ISO 14046, 2017], [SRPS ISO/TS 14048, 2006], [SRPS ISO/TR 14049, 2018] и [SRPS EN ISO 14050, 2020]. Она представља свеобухватну анализу, која разматра различите категорије утицаја на животну средину и не допушта пребацивање проблема из једне у другу фазу животног циклуса, јер разматра све фазе животног циклуса производа.

Животни циклус производа се према [SRPS EN ISO 14067, 2019] састоји из 5 фаза. Чине га:

1. набавка сировина;
2. производња;
3. дистрибуција;
4. коришћење;
5. третман на крају животног века (EoL – End of Life).

Фаза сировина обично подразумева набавку и третман сировина, фаза производње укључује пројектовање и развој производа, а дистрибуција – транспорт и паковање.

У складу са стандардом [SRPS ISO 14040, 2008], LCA студија се састоји из четири дела, односно фазе, и то:

1. дефинисање циља, предмета и подручје примене (Goal and scope definition);
2. анализа инвентара животног циклуса (LCI – Life Cycle Inventory);
3. оцењивање утицаја животног циклуса (LCIA – Life Cycle Impact Assessment);
4. интерпретација или тумачење животног циклуса.

Формална LCA студија је студија типа „од колевке до гроба“ (cradle-to-grave). То значи да разматра цео животно циклус производа од прве до последње фазе. Приликом спровођења комплетне LCA студије потребно је прикупити и обрадити велику количину података, што указује на то да је формална LCA студија комплексна и изискује велики труд и време да би била спроведена. Самим тим она је и скупа. Поред тога, евалуација је базирана и на научним подацима и на субјективним проценама различите врсте. Зато може бити тешко проценити резултате. Квалитет студије зависи од квалитета расположивих података, постављених граница система, усвојених процедура распоређивања и претпоставки, неопходно уведених при спровођењу студије.

Из ових разлога, веома често се спроводе упрошћене LCA студије, као и парцијалне LCA студије, као што су студије типа „од колевке до капије“ (cradle-to-gate), „од капије до гроба“ (gate-to-grave) и „од капије до капије“ (gate-to-gate). Осим тога, формална LCA студија може бити проширена и увођењем у разматрање рециклаже, као опције на крају животног циклуса производа. У том случају ради се о студији типа „од колевке до колевке“ (cradle-to-cradle), код које се претпоставља затворено коло рециклаже, како би студија могла бити спроведена [Zrnić & Đorđević, 2012].

Наведене упрошћене и парцијалне студије могу дати смернице за даље анализе и деловање, али и у значајној мери помоћи у спровођењу комплетне LCA студије, као што је то овде случај, а што ће у наставку бити детаљније објашњено.

Да би се спровела LCA студија, на којој ће се базирати методологија за анализу и унапређење тракастих транспортера кратких деоница, било је потребно анализирати шта је до сада урађено на пољу LCA студија, енергетске ефикасности тракастих транспортера и система за континуални транспорт уопште. Даље, да би се могла адекватно анализирати потрошња електричне енергије и увести појам енергетске ефикасности, било је потребно прво анализирати и размотрити отпоре који се јављају код тракастих транспортера при кретању траке са транспортованим материјалом. Радови [Allen & Reicks, 2012], [Tapp, 2000], [Wheeler, 2003] и [Antoniak, 2003] анализирају отпоре кретању код тракастих транспортера. У [Allen & Reicks, 2012] се врши генерализација енергетских губитака, односно отпора кретању, на бази 6. издања CEMA Belt Book [CEMA, 2007] и [DIN 22101, 2011] и даје се упоредни приказ главних губитака у различитим случајевима уз дефинисање општих радних услова.

Показано је да се уопштавање значаја било ког енергетског губитка не може извршити универзално, као и да су доминантнији отпори који се јављају услед нагиба транспортера у односу на друге отпоре кретању. Рад треба да послужи за предвиђање потребне снаге тракастог транспортера, максималне силе затезања у траци и потребних карактеристика компонената транспортера за различите намене и конструкције тракастих транспортера. Идеја је да послужи као алат за унапређење дизајна транспортера. У раду су истакнуте следеће корисне напомене: значај категорије отпора, односно енергетских губитака варира у зависности од примене; велики отпор преласку траке преко ваљака је уобичајен код оптерећених тракастих транспортера са гуменим тракама са челичном ужади; оптимизација захтева познавање широког спектра могућих утицаја; приказан је метод оптимизације уз примену CAD програмског пакета за тракасте транспортере са СЕМА прорачуном отказа. На крају је дато неколико еталона за карактеристичне случајеве. У [Tarr, 2000] је разматран отпор преласку траке преко ваљака. Познато је да је код слогова са три ваљка у радној грани оптерећење расподељено тако да централни ваљак носи 70% оптерећења, а бочни ваљци по 15% [CEMA, 2004]. У складу са тим, у раду је предложен концепт слога са два централна ваљка - ESIdler™, којим се постиже боља расподела оптерећења. Предложен је и концепт са повећаним пречником централних ваљака Super ESIdler™, којим се додатно смањује отпор преласку траке преко ваљака. Рад [Wheeler, 2003] се бави детаљном анализом главних отпора код тракастих транспортера дугих деоница. У [Antoniak, 2003] је дат преглед отпора кретању код тракастих транспортера, детаљи прорачуна тих отпора, као и методе за њихово смањење. Акценат је на дугим, хоризонталним транспортерима и транспортерима под нагибом. Разматране су следеће методе за смањење отпора кретању: смањење оптерећења слогова и брзине транспортера, адекватно заптивање и добро подмазивање лежајева, адекватна конструкција ваљака, повећање пречника куглица код лежаја, употреба решења са два централна ваљка (ESIdler™ и Super ESIdler™, [Tarr, 2000]), повећање пречника само централног ваљка, смањење корака ваљака, повећање силе затезања у траци, повећање брзине траке, остваривање угиба траке између суседних ваљака испод 1%, делимична или потпуна елиминација из употребе бочних ваљака за центрирање, употреба фреквентне регулације, специјална конструкцијска решења, редукција броја пресипних места, употреба енергетски ефикасних трака.

Радови који се баве енергетском ефикасношћу и могућим начинима за уштеду електричне енергије и повећање енергетске ефикасности анализирају су у наставку. Рад [Günthner, et al., 2010] указује на потребу и велики потенцијал за уштеду електричне енергије у области транспорта расутог терета. Преко 60% индустријске потрошње одлази на електричне моторе, при чему су трошкови употребе ЕМ 95%, док аквизиција, односно капитални трошкови износе свега 3% цене у току њиховог животног циклуса. Приказани су начини за потенцијалну уштеду: енергетски ефикасни мотори, контролери брзине, поврат отпадне топлоте, ефикасна расвета и грејање итд. Истиче се значај енергетске ефикасности као критеријума за избор опреме/машина у будућности. У [Kreitlein, et al., 2016] су представљене методе и експерименти за процену стратегија за енергетски ефикасну производњу електричних погона. Идентификовани су главни потрошачи у фази производње

погона и у наставку су ови процеси анализирани и оптимизовани, како би се остварила велика уштеда у потрошњи електричне енергије. Дате су и препоруке, односно смернице за остварење поменутог: нпр. само измена редоследа неких операција може донети побољшања. У неким случајевима може се остварити уштеда чак до 75%. У [Alspaugh, 2003] и [Alspaugh, 2004] приказују се достигнућа у технологији транспорта расутог материјала на велике удаљености са освртом на главне отпоре и енергетску ефикасност, оптимизацију путање, употребу више погона, анализу и симулације, као и оптимизовање трансфер станица употребом DEM (Discrete Element Method) анализе. Рад [Ahrens & Southby, 2010] разматра погоне са променљивим напоном и променљивом фреквенцијом код тракастих транспортера. Констатује се да су VSD (Variable Speed Drive) погони погодни за све типове транспортера и да се њиховом употребом остварује правилна расподела оптерећења на моторе, код транспортера са више погона, односно оптимизација расподеле корисног терета на траци, омогућава се „глатко“ покретање и заустављање транспортера, продужава радни век компонената, затим остварује се велика енергетска ефикасност и поузданост у раду и омогућава значајна уштеда у трошковима одржавања и потрошњи електричне енергије. Директна контрола обртног момента (DTC - Direct Torque Control) пружа још бољу уштеду и оптимизацију. Могућа је и додатна уштеда енергије уз примену регенеративних погона, код којих се приликом кочења мотора енергија акумулира и враћа у мрежу. Аутори у [Ristić, et al., 2011] дефинишу 2 начина за уштеду енергије код тракастих транспортера: 1. кроз повећање енергетске ефикасности компонената погона и 2. употребом различитих стратегија управљања система са више погона. Предложен је унапређени алгоритам даљинског управљања, а приказана уштеда у електричној енергији потврђена симулацијом. За остварење уштеде у електричној енергији препоручује се употреба погона са променљивом брзином/фреквенцијом (VSD/VFD). Овакав вид погона препоручују и многи други аутори, као нпр. [Alspaugh, 2003] и [Alspaugh, 2004]. Анализирани су и различити методи рударења на површинским коповима (Open-Pit Mine methods and systems - continuous and discontinuous - ECS - Excavator-Conveyor-Spreader, ECSY - Excavator-Conveyor-StockYard): непрекидни и циклични, као и БТО системи. Овај рад се осврће и на чињеницу која је већ помињана у претходним истраживањима, а то је да потрошња електромотора чини 60% индустријске потрошње електричне енергије [Günthner, et al., 2010]. У раду [Zhang & Xia, 2011] формиран је енергетски, аналитички модел тракастог транспортера према [ISO 5048, 1989], конфигурације која одговара тракастим транспортерима кратких деоница. Овај модел све параметре сумира у 4 коефицијента. Модел је направљен да би се оптимизација извршила у фази употребе (operational level optimization). Овде се такође наводе два начина за повећање енергетске ефикасности, као и у [Ristić, et al., 2011]. За ту намену предлаже се употреба система са променљивом брзином на нивоу компонената (VSC - Variable Speed Control - equipment level intervention). На крају је предложена оптимизација проблема код 6 типичних конфигурација тракастих транспортера помоћу решења добијених симулацијама за дате студије случаја. У закључку је показано да VSD системи заиста штеде енергију. Што више параметри транспортера у фази употребе одступају од номиналних вредности, то се више може уштедети применом VSD/VFD

система. Рад [Antoniak, 2010] предлаже начине за побољшање енергетске ефикасности тракастих транспортера, углавном применом VFD. Поред тога, разматра употребу енергетски ефикасне траке на бази хлоропрен-каучука (CR) и варијацију брзине траке, како би се редуковала потребна снага транспортера. Уштеда енергије се може постићи комбинацијом VFD, система за константо затезање траке и малим вредностима коефицијента трења. CR траке имају мањи коефицијент трења котрљања, тако да се њиховом употребом смањује отпор преласку траке преко ваљака, који је један од најзначајнијих отпора кретању траке. Повећањем силе затезања у траци добија се мањи угиб траке између два суседна ваљка, чиме се поспешује уштеда у енергији. VFD повољно утичу на уштеду енергије и продужетак радног века траке и других компонената транспортера. Међутим, VFD имају и недостатке, који се огледају у променљивој струји материјала на траци, односно променљивом капацитету, затим нецентрираном пуњењу траке и претераној употреби центрирајућих бочних ваљака, што, опет, има негативан утицај на уштеду енергије. У [Wilson, et al., 2011] су разматрана три система за транспорт великог капацитета расутог терета на велике удаљености, и то конвенционални тракасти транспортери, METSO MRC Cable Belt и Doppelmayr RopeCon. Ови системи су поређени на нивоу дизајна, карактеристика конструкције, радних карактеристика, одржавања и утицаја на животну средину. Резултати су приказани табеларно. Између осталог, констатовано је да квалитет вулканизованог споја траке представља ограничавајући фактор за носивост траке; да је дужина транспортера ограничена прекидном силом траке (односно максималном силом затезања у траци); да одабрани еластомер за облоге траке значајно утиче на потрошњу електричне енергије потребне за погон транспортера; да број слојева ваљака директно утиче на цену транспортера, као и на одржавање; да се повећањем дужине транспортера редукује потреба за пресипним местима. Поред осталог, констатовано је да на радни век транспортера, ниво буке и потрошњу електричне енергије значајно утиче и избор лежаја, начин подмазивања и избор лубриканта. На крају су дате препоруке када је адекватно применити сваки од разматраних система. Коначно у [Markos & Dentsoras, 2018] је предложен индекс ефикасности и функционалности за тракасте транспортере (ISEP - Index of Service-Energy Performance), који представља процену укупне функционалне/конструкцијске ефикасности, уз упоредно разматрање потрошње енергије (efficiency) и функционалности (service performance). Овај индекс показује колико енергије тракасти транспортер потроши за одређену количину транспортованог материјала, узимајући у обзир удаљеност и време потребно за транспорт јединице масе материјала. Предложени приступ доказује да индекс одговарајуће осликава утицај различитих конструкцијских решења или начина употребе (operational decision) на укупну ефикасност тракастог транспортера. Индекс се може користити за евалуацију укупне ефикасности: а) код усвајања конструкцијског дизајна или модернизације, б) за оптимизацију у фази употребе (operational decisions), в) при одржавању (када подаци долазе са терена), г) ако капацитет варира, а енергетска ефикасност транспортера треба да остане иста или да се повећа. Подаци се добијају из прорачунског, енергетског модела, који је развијен за специфичан тракасти транспортер и разматра устаљени радни режим, као и период убрзавања. Модел такође узима у обзир и захтеве у вези са транспортом

материјала, као и одлуке менаџера постројења у фази употребе (conveying requirements and the decisions by the facility managers).

У наставку је дата анализа радова на пољу оцене животног циклуса производа, начина спровођења ових студија, смерница и препорука за њихову употребу. Тако се у [Levandowska & Matuszak-Flejszman, 2014] врши упознавање са стандардом ISO 14001: 2015 [ISO 14001, 2015] и разматрање улоге екодизајна и LCT у пројектовању. Овај стандард садржи многе директне и индиректне референце ка LCT. Између осталог истиче се да се утицај на животну средину протеже кроз цео ланац снабдевања, препоручује се примена екодизајна за оцenu утицаја на животну средину и разматра се цео животно циклус. У оквиру система менаџмента заштите животне средине (EMS) екодизајн подразумева интеграцију еколошког аспекта у процес дизајна и развоја производа са циљем смањења штетних утицаја на животну средину, при чему се могу остварити одређене погодности у складу са [ISO 14006, 2020], као што су: економска добит услед конкурентности и смањења трошкова, промоција иновативности и креативности, смањење оптерећења животне средине (EL - Environmental Load) као и утицаја на њу, идентификација „жарних“ тачака производа (hot spots) итд. Ревизија стандарда ISO 14001:2013 одређује LCA за алат који се може користити у оквиру екодизајна. Такође, могућа је и употреба упрошћених LCA и других упрошћених алатки у оквиру екодизајна. У [Bouhaya, et al., 2009] се уводи појам „типичан радни век“ (A Typical service Life Duration - TLD), употребљене су готове Декларације о еколошкости производа (EPD – Environmental Product Declaration) у анализама и дат је начин прорачуна потрошње горива. У [Nieuwlaar, et al., 2005] се говори о могућности коришћења кривих снабдевања (supply curves) за еко-ефикасна еколошка унапређења уз употребу различитих метода за пондерисање. Крива снабдевања представља графичку презентацију односа између цене добра/услуге и дистрибуираног квантитета за дати временски период. Дефинише се еко-ефикасност као еколошко унапређење по најнижој могућој цени (Eco-efficiency = environmental improvement at the lowest possible cost). Овде је поређено 5 метода за пондерисање еколошких утицаја (CML/NOGEPА, Eco-indicator '99, EPS - Environmental Priority Strategies, CE Method и DTT - Distance-To-Target) које покривају широк спектар метода у употреби. Све разматране методе осим DTT, показале су релативно мале међусобне разлике. Употреба метода за пондерисање омогућава анализу еко-ефикасности у ситуацијама када је потребно узети у разматрање неколико еколошких параметара. У [Kurle, et al., 2016] се говори о огромној количини отпадне топлоте у индустрији, емитованој у атмосферу као нуспроизвод. На основу тога представљен је интегрални приступ идентификацији и квантификацији потенцијала отпадне топлоте за различите производне процесе, базираним на проценама и симулацијама. У [Tanabe, 2016] се говори о томе да постоји много технологија у свету које су у вези са екологијом. Разлог због кога оне нису заживеле је висок релативни однос њихове цене и профита. Представљен је “Double-ECO” модел, који разматра корелацију између екологије и економије, односно профита који се може остварити на основу овог модела. Модел је илустрован помоћу два примера. Рад [Landi, et al., 2016] разматра различите опције за текстил на крају животног циклуса аутомобилских пнеуматика. Текстилна влакна представљају око 10% масе отпадних пнеуматика. Ова влакна могу бити поново

употребљена у некој мање захтевној примени, смањујући тако утицај отпадних пнеуматика на животну средину у фази краја животног циклуса. Ова студија представља компаративну анализу утицаја отпадних пнеуматика за различите опције на крају животног циклуса. Овај текстил се може, између осталог, користити и као секундарна сировина у производњи асфалта и пластичних једињења. У [Sangwan, et al., 2016] је спроведена LCA студија електро-лучног и гасно-пламеног поступка заваривања. Процењено је да се 0,5÷1% потрошног материјала/сировина конвертује у емисије гасова и честица код електролучног заваривања. Сходно томе, на глобалном нивоу, загађење од процеса заваривања се мери у тонама емитованих гасова и честица. Троши се и огромна количина електричне енергије, такође. Овај рад је покушај да се оцени утицај на животну средину заваривања у процесу обуке. Коришћен је програмски пакет Umberto NXT, Ecoinvent 3.0 база као и CML 2001 (midpoint) и Impact 2002+ (endpoint) методе за LCIA. У раду [Yeo, et al., 2016] се износи концепт побољшања еко-ефикасности (EEI - Eco-Efficiency Improvement), ради унапређења одрживог развоја. Утврђује се тренутно стање еколошких перформанси датог предузећа/компаније и проналазе се „жарне“ тачке, односно критична места препозната као најзначајнија за унапређење. Сукцесивно, предложене иницијативе за унапређење „жарних“ тачака се евалуирају и одређује им се приоритет, да би се помогло компанији да се фокусира на оне са потенцијално највећим учинком. За разлику од конвенционалних индикатора еко-ефикасности, који обично дводимензионалне податке (економске и еколошке) сажимају у једнодимензионалне (јединствени индикатор еколошке ефикасности), EEI концепт и техника визуелизације омогућавају да се задрже виталне информације, битне за боље доношење одлука. Ова методологија разматра економске и еколошке аспекте triple-bottom-line одрживости. У перспективи преостаје да се укључи и социјални аспект у разматрање.

Следи примена методологије оцене животног циклуса у рударској индустрији. Тако је у [Awuah-Offei & Adekpedjou, 2011] дат преглед њене примене у рударској индустрији у свету. Идентификовани су главни проблеми и дате препоруке за даља истраживања, како би се унапредила примена LCA у рударству. У [Norgate & Haque, 2010] је спроведена LCA рударења и прераде сировина за: 1. руду гвожђа, 2. боксит и 3. концентрат бакра (руда), са акцентом на заробљеној енергији (embodied energy) и емисијама гасова стаклене баште (GHG). Код руде 1 и 2, претовар и транспорт имају највећи утицај ($\approx 50\%$), док код концентрата бакра највећи утицај има млевање руде бакра ($\approx 46\%$). Даје се преглед претходно спроведених студија оцене животног циклуса у рударској индустрији и предлажу технологије које су у повоју. У раду [Ditselle & Awuah-Offei, 2012] су дати подаци у вези са производњом угља и БТО системима у САД. Дата је важна напомена да код спровођења студије оцене животног циклуса производа, као обавезне кораке, према стандарду, треба урадити класификацију и карактеризацију. Потом, опционо урадити нормализацију и пондерисање, јер након тога није могуће поређење са другим студијама. Поред наведеног, приказана је и разноликост метода рударења и RMEE (Relative Mass-Energy-Economic value) метод и показано како се може узети у разматрање употреба земљишта и воде и како се ради анализа осетљивости. Даље, у дисертацији [Ditsele, 2010] истакнут је значај угља у производњи струје у свету. Упркос потреби за

чистијим изворима енергије, нема изгледа да угаљ буде замењен као извор енергије у скорој будућности. Утицаји угља на животну средину огледају се у: 1. потенцијалу глобалног загревања (GWP), 2. потрошњи необновљивих ресурса (ADP) - ресурси се сматрају необновљивим уколико се не могу обновити у периоду од 100 година), 3. потрошњи воде, 4. потрошњи енергије, 5. окупацији земљишта, 6. буци, 7. прабини, 8. токсичним материјама, 9. стварању озона у тропосфери, тј. смога (POCP), 10. ацидификацији (AP), са нагласком на првих 5.

Неколико аутора је вршило анализу метода транспорта материјала на површинским коповима са аспекта утицаја на животну средину. Анализиран је утицај тракастих транспортера и камиона. Анализа ових радова дата је у наставку. У [Awuah-Offei, et al., 2009] даје се преглед стања у свету у погледу LCA у рударској индустрији. Пореде се камиони и тракасти транспортери на површинским коповима и поставља за циљ развијање метода за оцену утицаја на животну средину ова два система. Као релевантне категорије утицаја издвојене су глобално загревање и ацидификација. Функционална јединица је: транспорт 4000 t/h камена из рудника на депонију. Камиони имају већи AP утицај, док тракасти транспортери имају већи GWP утицај. Разматран је природни гас као алтернативно гориво за производњу електричне енергије и напајање транспортера, чиме би се смањио утицај на GWP. У раду [Erkayaoglu & Demirel, 2016] компаративна анализа утицаја типова транспортних средстава на животну средину, базирана на прорачунском моделу приказаном у [Awuah-Offei, et al., 2009], спроведена је за Турске угљенокопе. Извршена је оцена животног циклуса и поређење утицаја на животну средину за два вида транспорта материјала на површинским коповима - камионе и тракасте транспортере. Коришћен је програмски пакет SimaPro 7.3 и Ecoinvent база, а разматрани утицаји су GWP и AP, који су препознати као релевантни. За функционалну јединицу је узето 20000 t/dan угља транспортовано на удаљеност од 5 km. Фаза производње је имала значајан утицај, а фаза употребе највећи. Камиони остварују већи утицај на ацидификацију у односу на тракасте транспортере, док је у случају глобалног загревања ситуација обрнута (због струје којом се напајају, а која долази углавном од фосилних горива у случају Турске). У Бразилу је у раду [Ferreira & Garcia Praça Leite, 2015] спроведена слична анализа као и у [Awuah-Offei, et al., 2009] и [Erkayaoglu & Demirel, 2016], с тим што су добијени другачији резултати, управо на основу тога што се електрична енергија у Бразилу добија, углавном, из обновљивих извора - хидроенергија. Тракасти транспортери у овом случају остварују мањи утицај у обе категорије утицаја (GWP и AP). Изабрана функционална јединица је произведена једна тона концентрата руде железа. Анализа је спроведена уз употребу програмског пакета SimaPro 7, базе Ecoinvent 2.0 и Eco-indicator '99 и IPCC 2007 метода за LCIA. Урађена је класификација и карактеризација, док су нормализација, пондерисање и анализа осетљивости изостављени. Рад [Schröder, 2003] истиче да је у случају великих површинских копова велике производности примена мобилних дробилица, тракастих транспортера и одлагача супериорна у односу на било који други вид транспорта расутог терета, и то са аспекта профитабилности и утицаја на животну средину. У [Zimmermann & Kruse, 2006] су такође поређени тракасти транспортери и камиони на површинским коповима и установљено је да транспорт тракастим транспортерима резултује у смањеним

трошковима рада, транспорта, потрошње горива, емисијама прашине и буке у односу на камионе. На крају, у [Tutton & Streck, 2009] је дат преглед предности и мана транспорта расутог терета тракастим транспортерима на површинским коповима уз одговарајућу дискусију на ту тему.

Поред ових радова из области примене оцене животног циклуса у рударској индустрији, првенствено различитих видова транспорта расутог терета на површинским коповима, од великог је значаја за ово истраживање и рад [Czaplicka, 2003]. У њему је приказана методологија дизајнирања вишеслојних трака тракастих транспортера и приложене су експериментално добијене вредности затезних чврстоћа у два управна правца. Методологија предлаже оптимизацију у односу на два критеријума: затезну чврстоћу траке и њен утицај на животну средину. Анализа је рађена помоћу програмског пакета SimaPro 5 и коришћење Eco-indicator '99 метода за оцену утицаја на животну средину. Транспортна трака је компонента која учествује 50-60% у цени целог тракастог транспортера. При томе, трака је вишеслојни композитни материјал. Разматране су механичке карактеристике трака и различити материјали за њихову производњу применом екодизајна. Показано је да промена дебљине траке доминантно утиче на промену њене крутости, а да еластична својства облога немају значајан утицај на еластична својства траке. Осим тога, у раду је приказана методологија LCA студије према [ISO 14040, 2006] и дати су општи принципи, односно начела екодизајна при дизајнирању производа. За функционалну јединицу узет је један метар произведене траке. Производња је главна фаза животног циклуса траке, а она највећи утицај на животну средину показује у категорији „сировине“. Дат је дијаграм - еко-индикатор за различите материјале траке. Оптимизација је вршена на основу критеријума чврстоће и утицаја на животну средину.

Прегледом литературе може се закључити да се релативно мали број аутора бавио проучавањем тракастих транспортера са циљем унапређења еколошких и енергетских перформанси. Иако постоје анализе енергетских перформанси тракастих транспортера са енергетским моделима који су применљиви управо на тракасте транспортере кратких деоница [Zhang & Xia, 2011], у њима није примењивана LCA студија, као метод. С друге стране, када је LCA студија у питању, аутори се баве, углавном, изучавањем тракастих транспортера других деоница и поређењем њиховог утицаја на животну средину са конкурентним начином транспорта - камионима дамперима. Ова студија, и из ње проистекла методологија, треба да премосте управо тај јаз и дају решење за проблеме у вези са штетним утицајима на животну средину и енергетским перформансама овог типа тракастих транспортера применом програмских пакета за LCA студије.

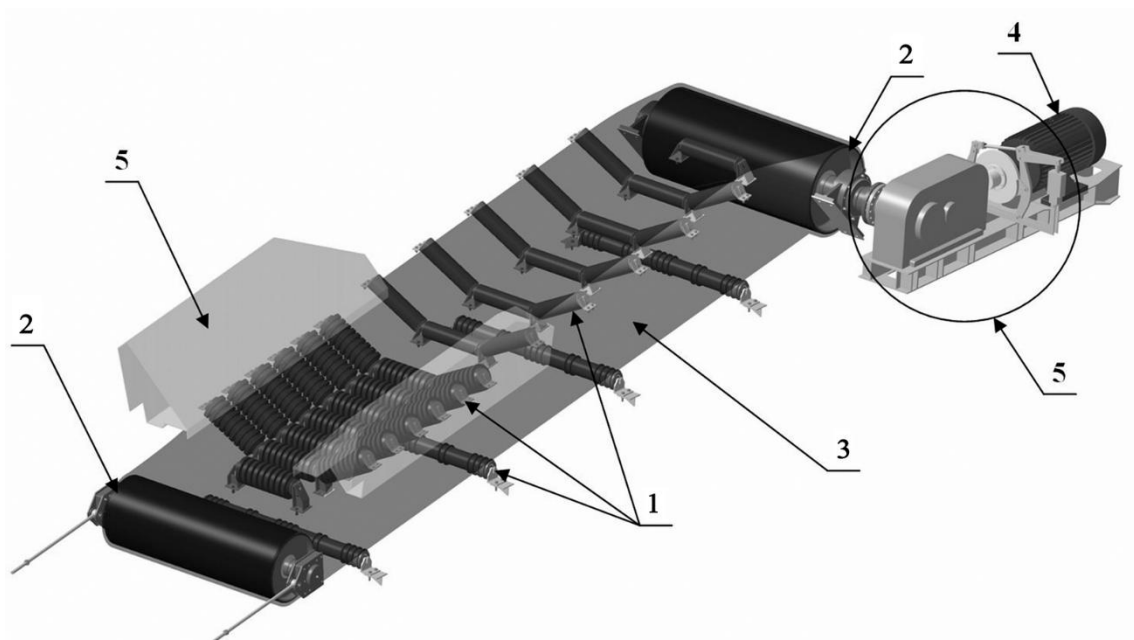
1.1.1. Припрема за формирање методологије и њен опис

Методологија за унапређење еколошких и енергетских перформанси тракастих транспортера кратких деоница која омогућава спровођење LCA анализе било ког транспортера кратке деонице, развијена је на основу базне, параметризоване LCA студије.

Тракасти транспортер на основу кога је формиран модел за анализу је тракасти транспортер 2 – међутранспортер, на роторном багеру SchRs 1201, Сlike 1.1 и 1.2.



Слика 1.1 – Позиција међутранспортера на багеру SchRs 1201



Слика 1.2 – Међутранспортер (транспортер 2) са компонентама

Међуранспортер је, као у [Ђорђевић, et al., 2015], подељен на главне компоненте:

1. слонови ваљака / ваљци;
2. добоши;

3. транспортна трака;
4. електрични мотор (ЕМ);
5. остале компоненте.

Да би се омогућило формирање и спровођење базне LCA студије, спроведена су релевантна истраживања, као и упрошћене и парцијалне LCA студије. Тракасти транспортер је разложен на главне компоненте, које су затим парцијално анализирани упрошћеним LCA студијама:

1. ваљак [Đorđević, et al., 2013];
2. добош [Đorđević, et al., 2014a];
3. транспортна трака [Đorđević, et al., 2014b];
4. електромотор [Đorđević, et al., 2014c].

На основу ових радова, спроведена је и упрошћена анализа комплетног транспортера приказана у [Đorđević, et al., 2015], [Đorđević, et al., 2024]. Иако у овој анализи нису узети у обзир резервни делови и њихова потрошња у фази употребе, то није утицало на исход анализе, јер се и овако, као најутицајнија фаза животног циклуса, показала фаза употребе.

Даља запажања, препоруке и потенцијална унапређења, као и смернице за даља истраживања изнети су у [Đorđević, et al., 2017].

Анализе су спроведене помоћу програмских пакета за упрошћене LCA студије – Ecodesign Assistant (EA) и Ecodesign PILOT (EP)– „online“ платформе Техничког факултета у Бечу (TUW), доступне на www.ecodesign.at, [Wimmer, et al., 2000].

Поред наведеног, спроведена је и формална LCA анализа фазе производње лабораторијског тракастог транспортера, који по структури представља тракасти транспортер кратке деонице. Детаљи ове студије дати су у [Đorđević, et al., 2018].

На основу парцијалних анализа и упрошћене анализе целог транспортера, препозната је најутицајнија фаза његовог животног циклуса и дефинисане смернице за даљи рад на формалној LCA анализи.

Да би се формирала методологија, у формалној LCA студији се примењује исти приступ и транспортер разлаже на главне компоненте. Компоненте се анализирају као подструктуре или као засебне студије, које се као такве имплементирају у ову комплетну студију. Даље, свака од компонената може се у пракси јавити у различитим облицима, јер има много типова нпр. транспортних ваљака, добоша итд. Сходно томе, произилази да је за формирање методологије потребно формирати такву студију, која у себи садржи различите типове, односно фамилије главних компонената. Такође, потребно је увести систем на основу кога ће се ово извести, како би се оваква база могла проширивати и како би се могле вршити измене.

Имплементирањем екодизајна у фазу пројектовања и редизајном система у складу са препорукама добијеним на основу LCA студије продужава се век компонената и целог система и драстично смањују трошкови одржавања [Pantelić, 2009]. Наведено истраживање, детаљно је описано, како би се указало на могућност промене параметара који имају доминантан утицај на животну средину и потрошњу електричне енергије и енергетску ефикасност.

Примарни циљ истраживања је да се формира методологија која ће се састојати из базне LCA студије са основним моделима главних компонената

транспортера, који ће бити измењиви и параметризовани. Даљи рад на методологији односио би се на проширивање базе модела главних компонената и додавање модела осталих, односно додатних компонената.

У складу са приказаним прегледом доступне литературе и претходно наведеним, могу се дефинисати основни научни циљеви предложене теме докторске дисертације:

1. опис методе оцене животног циклуса и анализа могућности њене примене на различите системе и машине непрекидног транспорта;
2. моделирање животног циклуса тракастог транспортера кратке деонице формирањем парцијалних анализа његових главних компонената и применом програмских пакета за упрошћену анализу животног циклуса;
3. формирање модела тракастог транспортера кратке деонице за формалну LCA студију који омогућава варирање релевантних параметара, који доминантно утичу на животну средину и енергетске перформансе датог система;
4. квантификација релевантних утицаја тракастог транспортера кратке деонице на животну средину;
5. формирање методологије за анализу утицаја на животну средину и енергетских перформанси тракастих транспортера кратких деоница базиране на фамилијама конструкцијских решења главних компонената тракастих транспортера;
6. разматрање могућих праваца даљег истраживања и деловања у области унапређења еколошких и енергетских перформанси транспортних машина непрекидног дејства.

1.2. Полазне хипотезе

Формирање модела за анализу спроведено је прилагођавањем реалног стања програмским пакетима у којима се он анализира. Било је потребно учинити одређена упрошћења и претпоставке, на основу којих су постављене следеће хипотезе:

- добро спроведеним упрошћеним анализама са добрим квалитетом прикупљених података може се заменити формална LCA студија;
- упрошћеним, парцијалним анализама може се адекватно заменити комплетна анализа целог тракастог транспортера;
- ради поједностављења анализе, поједине сложене компоненте могу се представити као компоненте сачињене доминантно од једног материјала, ако се при анализи узму у обзир и њихови утицаји на животну средину у осталим фазама животног циклуса;
- спровођењем парцијалних анализа животног циклуса и њиховом синтезом може се добити потпуна анализа животног циклуса тракастог транспортера.

1.3. Научне методе истраживања

Приликом израде ове дисертације примењене су следеће научне методе истраживања:

- метода класификације, којом ће се омогућити систематизација постојећих сазнања о предмету истраживања из постојеће литературе (резултати, научна и техничка достигнућа);
- метода оцењивања животног циклуса, која се користи за квантификовање утицаја на животну средину у различитим фазама животног циклуса;
- метода анализе, којом се испитују претходно квантификовани утицаји на животну средину и изналазе адекватни предлози за унапређења разматраних карактеристика производа;
- метода синтезе, чијом се применом парцијалне анализе обједињују у комплетније, свеобухватније студије и стиче увид у карактеристике комплекснијих система;
- компаративна метода, којом се омогућава поређење резултата добијених за различите параметре за исти модел, као и поређење различитих модела са истом функционалном јединицом.
- метода варирања параметара, која омогућава анализу утицаја промене конструкционих параметара и спровођење анализе осетљивости, комплетности и конзистентности.

1.4. Очекивани научни допринос

Да би се постигао циљ ове дисертације спроведене су одговарајуће припремне радње и анализе које укључују: дефинисање главних компонената тракастих транспортера кратких деоница, као и главних проблема у вези са енергетском ефикасношћу и еколошким карактеристикама са којима се тракасти транспортери кратких деоница сусрећу; развој модела главних компонената оваквих транспортера за упрошћене оцене животног циклуса са предлозима могућих унапређења одговарајућих карактеристика; развој модела за формалну LCA студију, који је база за формирање методологије за евалуацију енергетских и еколошких перформанси тракастих транспортера кратких деоница; формирање фамилија главних компонената тракастих транспортера кратких деоница.

На основу претходно наведеног, очекивани научни допринос је формирање методологије за LCA студије тракастих транспортера кратких деоница са базом података о основним компонентама у облику параметризованих фамилија типских конструкцијских решења.

1.5. План истраживања и структура рада

Решавање предметне проблематика дисертације реализоваће се спровођењем следећих 5 фаза.

1.5.1. Прва фаза истраживања

У оквиру прве фазе, истраживање је фокусирано на прикупљање и анализу релевантних информација у вези са тракастим транспортерима, њиховом енергетском ефикасношћу и њиховим утицајима на животну средину, као и анализом LCA студија, првенствено оних у вези са тракастим транспортерима.

Очекивани исход прве фазе истраживања – преглед и критички осврт на истраживања из предметне области и постављање полазних основа за даља истраживања и рад на основу анализираних информација у вези са стањем у свету у овој области.

1.5.2. Друга фаза истраживања

У оквиру друге фазе истраживања спроведене су парцијалне анализе главних компонената тракастих транспортера кратких деоница, у складу са [Ђорђевић, et al., 2015]. Анализе су спроведене помоћу EA и EP програмских пакета за упрошћене LCA студије [Wimmer, et al., 2000].

Очекивани исход друге фазе истраживања – препознавање проблема и могућих унапређења код главних компонената тракастих транспортера и рад на њиховој синтези у тракасти транспортер. Дефинисање смерница за даљи рад и припрема модела за упрошћену анализу целог транспортера.

1.5.3. Трећа фаза истраживања

Трећа фаза истраживања предвиђена је за упрошћену LCA студију комплетног тракастог транспортера, спроведена на основу парцијалних анализа, спроведених у фази 2 у истом програамском пакету [Ђорђевић, et al., 2015].

Очекивани исход треће фазе истраживања – препознавање најутицајније фазе животног циклуса тракастих транспортера кратких деоница и изналажење смерница за даље деловање, односно истраживање са циљем формирања базног модела за LCA студију. Дефинисање компонената, „жарних“ тачака и параметара који могу бити унапређени са еколошког и аспекта енергетске ефикасности.

1.5.4. Четврта фаза истраживања

Комплетна, односно формална LCA студија истог транспортера, спроведена у лиценцираном програмском пакету SimaPro 8.

Очекивани исход четврте фазе истраживања – спровођење формалне LCA студије, која представља полазну основу за формирање методологије. Дефинисање базних модела главних компонената тракастих транспортера.

1.5.5. Пета фаза истраживања

Проширење претходне, формалне LCA студије и формирање методологије за LCA студије тракастих транспортера кратких деоница. Формирање базе парцијалних анализа компонената транспортера, чијим се обједињавањем у једној LCA студији формира методологија. За сваку од карактеристичних компонената формира се фамилија најчешћих, типских конструкцијских решења. Фамилија се формира тако да може да се ажурира и проширује. Тежи се томе да компоненте буду параметризоване (нпр. по јединици дужине и/или неком другом критеријуму)

Очекивани исход пете фазе истраживања – формирање методологије за LCA студије тракастих транспортера кратких деоница са базом података о основним компонентама у виду параметризованих фамилија типских конструкцијских решења.

У складу са изнесеним планом истраживања, рад ће сачињавати:

1. уводни део, који се састоји од идентификација подручја истраживања и прегледа досадашњих истраживања из предметне области, формулације проблема и дефинисања метода за његово решавање;
2. идентификација главних компонената тракастог транспортера кратке деонице и анализа њихових енергетских и еколошких карактеристика уз препоруке за могућа побољшања, применом софтвера за упрошћену оцену животног циклуса производа;
3. упрошћена анализа целог тракастог транспортера кратке деонице уз имплементацију претходних парцијалних анализа главних компонената. Даље разматрање могућих побољшања примењених на цео тракасти транспортер;
4. формална LCA студија тракастог транспортера кратке деонице, спроведена помоћу лиценцираног програмског пакета SimaPro 8, са главним компонентама транспортера као подструктурама система у оквиру модела, уз осврт на стратегије одржавања и њихов утицај на карактеристике система. Преглед енергетских и еколошких карактеристика тракастог транспортера уз идеје и препоруке за њихово унапређење;
5. формирање методологије за анализу енергетских и еколошких перформанси тракастих транспортера кратких деоница на бази претходне формалне LCA студије. Проширење дате студије параметризованом базом, сачињеном од фамилија типских компонената;
6. резултати и дискусија (преглед добијених резултата и могућих унапређења на основу препорука);
7. закључци (теоријски и практични значај добијених резултата, могућности њихове примене, нови проблеми и правци даљих истраживања);
8. литература и
9. биографија аутора.

2. ПАРЦИЈАЛНЕ АНАЛИЗЕ ГЛАВНИХ КОМПОНЕНАТА ТРАКАСТИХ ТРАНСПОРТЕРА КРАТКИХ ДЕОНИЦА

У другој фази истраживања спроведене су парцијалне упрошћене анализе главних компонената тракастих транспортера кратких деоница употребом ЕА (Ecodesign Assistant) и ЕР (Ecodesign PILOT) програмских пакета [Wimmer, et al., 2000].

За разлику од формалне анализе животног циклуса (LCA) у којој се добијају конкретне бројне вредности одговарајућих утицаја на животну средину, разврстаних по категоријама утицаја у зависности од примењеног метода LCIA ЕА и ЕР израчунавају само релативне утицаје на животну средину, поређењем утицаја који се јављају у различитим фазама животног циклуса производа [Wimmer, 2007]. На тај начин ЕА дефинише основни тип производа, који је одређен најзначајнијом фазом његовог животног циклуса, односно фазом животног циклуса у којој производ остварује највећи утицај на животну средину. Сходно томе, разликује се пет основних типова производа:

1. основни тип А – код кога је најутицајнија фаза сировина;
2. основни тип В – код кога је најутицајнија фаза производње;
3. основни тип С – код кога је најутицајнија фаза транспорта;
4. основни тип D – код кога је најутицајнија фаза употребе;
5. основни тип Е – код кога је најутицајнија EoL фаза.

ЕА садржи низ од шест формулара који се користе за унос података који описују производ и фазе његовог животног циклуса. У сврху оцене еколошких својстава материјала који чине производ ЕА садржи табелу са материјалима, класификованим у 8 класа, према њиховом утицају на животну средину, Слика 2.1. Недостатак ове табеле је њена непотпуност. Неке врсте материјала, као што су вода и мазива, а које могу бити битне за анализу, нису обухваћене овом табелом.

У фази производње, користе се различите врсте процесних материјала и троши енергија, топлотна и/или електрична, као и додатна енергија (overhead energy). Додатна енергија обухвата енергију потребну за грејање или хлађење производних хала, као и за њихово осветљење. Потрошња ове врсте енергије не сме бити занемарена, јер искуство показује да она може достићи чак и до 200% енергије потребне за сам процес производње производа [Wimmer, et al., 2000]. Јасно је да додатна енергија мора бити укључена у укупну потрошњу енергије производа у фази производње [Wimmer, 2007], [Ђорђевић, et al., 2017]. Транспортна удаљеност, како за коначни производ, тако и за његове спољне компоненте (готове делове), има значајан утицај на укупан еколошки отисак производа.

Material Class	Metals	Plastics	Other materials
I			- Concrete - Wood, solid - Plaster
II	- Electric steel (secondary) - Aluminum (secondary) - Steel plate (90% recycled)		- Porcelain - Glass, bottles etc. (100% recycled) - Glass, bottles etc. (88% recycled) - Sheet glass (float glass) - Glass fiber - Glass, bottles etc., brown (61% recycled) - Glass, bottles etc., green (99% recycled) - Glass, bottles etc., clear (55% recycled) - Linoleum - Cardboard - Paper (100% recycled) - Glass, bottles etc. (primary)
III	- Steel (80% primary) - Steel (83% primary) - Steel (89% primary) - Steel, top-blown (primary) - Steel, low-alloy		- Paper (65% recycled) - Leather - Rubber, green, raw - Paper, free from chlorine - Coolant R134a - Ammonia NH3 - Fuel oil - Gasoline, unleaded
IV	- Cast iron - Sheet steel, galvanized - Cast steel	- PVC, non-rigid - PVC - PVC, rigid - PVC, high impact - HDPE - PP - LDPE - PPE/PS - PS (EPS), expandable - PS (HIPS), high impact - PS (GPPS), general purpose - PET, resin - PET - PET, foils - PET, for bottles - SAN	- Rubber - Rubber, polybutadiene - Rubber, EPDM - Rubber, natural - Rubber, SBR
V	- Copper (secondary) - Lead (50% primary) - Ferrochromium (53% Cr)	- PB - ABS - PE, foam - PUR, HR foam - PVDC - PU, non-rigid - PUR, flexible foam - PUR, semi-rigid foam - PUR, energy absorbing - PMMA (acrylic) - PC - PA 6.6 (nylon) - EP (epoxy resin) - PA (nylon)	- Glass fiber reinforced plastics. (GRP) - Technical ceramic material
VI	- Steel, V2A: 18%Cr, 9%Ni - Steel, V4A: 17%Cr, 12%Ni - Ferronickel (33% Ni) - Zinc alloys - Aluminum (58% primary) - Aluminum (70% primary) - Aluminum alloys - Aluminum (primary) - Steel, high-alloy (stainless) - Chromium - Magnesium alloys - Copper (50% primary) - Copper (60% primary) - Copper (65% primary) - Copper, cables - Copper (primary) - Copper alloys, brass - Metal powder		- Carbon fiber
VII	- Titanium alloys - Copper alloys - Zinc - Copper alloys, bronze - Nickel and nickel alloys		
VIII	- Silver - Palladium - Platin - Gold - Rhodium		

Слика 2.1. ЕА класе материјала [Wimmer, et al., 2000; Wimmer, 2007]

Да би се што боље размотрио утицај транспортне удаљености, на основу понуђених опција у оквиру ЕА, дефинисани су одговарајући опсези, приказани Табелом 2.1. Приликом формирања ове табеле било је потребно установити референтну дужину у односу на коју ће се могле дефинисати релације. Сходно томе, одређено је да је најдужа једносмерна, транспортна удаљеност приближно једнака половини дужине екватора, и износи 20.000 km. Остали дужински опсези дефинисани су у складу са овим.

Табела 2.1. Релативна транспортна удаљеност

Релативна удаљеност	Дужински опсег [km]	Опис - радијус
Кратка SHORT	0 ÷ 100	Градска удаљеност
Прилично кратка RATHER SHORT	100 ÷ 500	Међуградска удаљеност
Прилично велика RATHER LONG	500 ÷ 7000	Континентална удаљеност
Велика LONG	7000 ÷ 20000	Интерконтинентална удаљеност

Различити видови транспорта троше различите врсте и количине енергије за транспорт једне тоне терета по пређеном километру (тона-километру, односно tkm). У Табели 2.2 дат је преглед енергетских вредности у MJ, нормализованих по tkm [Morris, 2007; Wimmer, 2007].

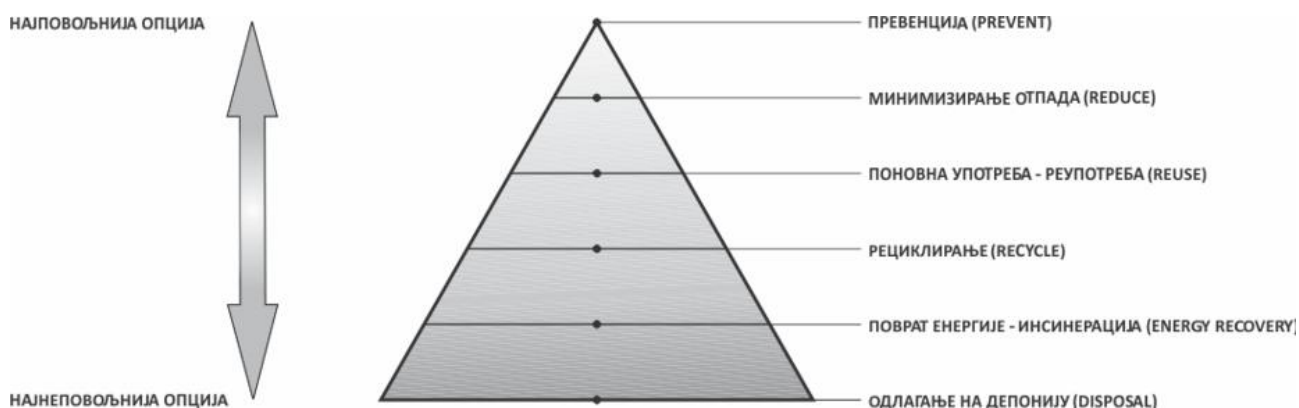
Табела 2.2. Преглед потрошње енергије за различите видове транспорта [Morris, 2007; Wimmer, 2007]

Вид транспорта	Енергетска вредност [MJ/tkm] [Morris, 2007]	Енергетска вредност [MJ/tkm] [Wimmer, 2007]
Авион, роба (теретни)	8,3 ÷ 15	33 (у Европи)
Камион	0,9 ÷ 1,5	2,7
Воз, роба(теретни)	0,86	0,8
Баржа (речни)	0,83	-
Прекоокеански теретни брод	0,11	0,17

У фази употребе, да би производ функционисао може бити неопходна употреба додатних, односно процесних материјала, као што су лубриканти, расхладне течности, процесна вода, адитиви итд. Сви ти додатни материјали остварују утицај на животну средину и морају бити узети у обзир приликом LCA студије. Осим додатних материјала, у фази употребе може бити неопходна и одређена врста енергије, и могу бити емитоване различите материје и нуспроизводи у животну средину [Wimmer, 2007].

Када производ дође до краја свог животног циклуса, може бити третиран на различите начине. Интегрисано управљање отпадом (ISWM - Integrated Solid Waste Management), као унапређена варијанта, нуди неколико повољнијих опција у односу

на стандардно управљање отпадом (SWM - Solid Waste Management). Ове опције представљене су „пирамидом приоритета“ и сортиране од најповољније до најнеповољније од врха ка дну, Слика 2.2.



Слика 2.2. EoL „пирамида приоритета“ интегрисаног управљања отпадом
[Morris, 2007; Paralika, 2007; Zrnić & Đorđević, 2012]

Посебну пажњу треба обратити када су у питању опасне материје, јер одлагање токсичних или других опасних материја на депонију може изазвати значајне штетне утицаје на животну средину. Опасни материјали захтевају специјално поступање.

Фазе животног циклуса производа не представљају нужно линеарну секвенцу. Пре се могу дефинисати као кружење или помоћу циклуса. Поред опција представљених пирамидом приоритета, постоји још неколико EoL опција:

- поправка – одлаже крај животног циклуса и продужава радни век производа. Делови и сегменти (подсклопови) производа могу бити поправљани и употребљени поново више пута;
- надogradња / унапређење производа – захтева специјалан дизајн производа, који омогућава измене и замене делова и сегмената производа. Производи са модуларном структуром олакшавају примену ове опције;
- обрнута производња (репроизводња) – подразумева демонтажу производа, проверу компонената, њихову поправку и/или замену дефектних делова и поновно склапање. На овај начин се одлаже наступање EoL фазе и повећава вредност производа, а уједно и смањује штетан утицај на животну средину [Wimmer, 2007].

ЕА нуди неколико EoL опција, датих у Табели 2.3.

Табела 2.3. ЕоL опције дефинисане у ЕА [Wimmer, et al., 2000]

ЕоL опција	Начин одлагања
Реупотреба Reuse	Поновна употреба делова и компонената Reuse of parts and components
Рециклажа Recycling	Рециклажа материјала Recycling of extracted materials
Инсинерација Incineration	Искоришћење енергије Generation of (thermal) energy
Одлагање на депонију Landfill	Депоноване Dumping
Опасан отпад Hazardous waste	Специјални третман Special treatment of hazardous substances Важно: Important: Одабрати ову опцију и у следећим случајевима: Also select in the following cases: - Одлагања опасног отпада без специјалног третмана Dumping of hazardous substances without special treatment - Спаљивања PVC или стакла Incineration of PVC or glass - ...

Да би се различите итерације помоћу ЕА могле једноставно и прегледно приказати, направљена је Табела 2.4, [Ђорђевић, et al., 2015].

Табела 2.4. Задаци и опције у формуларима ЕА [Wimmer, et al., 2000]

#	Задатак (Task)	Опција (Options)
Фаза сировина (Raw Material)		
1.	Део производа (Product part)	
2.	Део паковања (Part of packaging)	
3.	Да ли производ садржи опасне супстанце ? (Does the product parts contain hazardous substances ?)	
3.1		Да (Yes)
3.2		Непознато (Unknown)
3.3		Не (No)
Фаза производње (Manufacture)		
4.	Додатна енергија (Overhead energy)	
4.1		Прилично велика (Rather much) - 200%
4.2		Умерена (Moderate) - 100%
4.3		Укључена, тј урачуната (Included) - 0%
5.	Отпад (Waste material)	
5.1		Несортирано за отпад (Unsorted to waste)
5.2		Темељно одвајање материјала (Thorough separation of materials)

5.3		Делимична рециклажа материјала (Partial recycling of materials)
6.	Производни капацитет (Production volume)	
7.	Унос опасних додатних и процесних материјала (Input of environmentally hazardous auxiliary and process materials)	
7.1		Много (More)
7.2		Прилично много (Rather more)
7.3		Прилично мало (Rather few)
7.4		Мало (Few)
8.	Проценат екстерних/готових делова (Percentage of external parts)	
8.1		Преко 60% (over 60%)
8.2		30% ÷ 60%
8.3		10% ÷ 30%
8.4		Мање од 10% (less 10%)
9.	Удаљеност са које се допремају екстерни делови по јединици (Hauling distance for external parts per unit)	
9.1		Велика (Long)
9.2		Прилично велика (Rather long)
9.3		Прилично мала/кратка (Rather short)
9.4		Мала/кратка (Short)
Фаза транспорта (Distribution)		
10.	Просечна транспортна удаљеност за дистрибуцију готовог производа (Average transportation for product distribution)	
11.	Тип паковања (Type of packaging)	
11.1		Једнократно (Disposable)
11.2		Повратно (Returnable)
Фаза употребе (Product Use)		
12.	Фреквенција употребе, тј. број употреба годишње (Use frequency per year)	
13.	Унос по употреби (Input per use)	
14.	Отпад по употреби (Waste per use)	
15.	Да ли је производ потенцијално штетан по животну средину ако се неадекватно користи или поквари ? (Is the product potentially hazardous if inadequately used or malfunctioning ?)	
15.1		Вероватно (Probable)
15.2		Мало вероватно (Improbable)
15.3		Немогуће (Impossible)
Фаза краја животног циклуса (EoL - End of Life)		
16.	Део производа (Product part)	
16.1		Поновна употреба (Reuse)
16.2		Рециклажа (Recycling)
16.3		Спаљивање/инсинерација (Incineration)
16.4		Одлагање на депонију (Landfill)
16.5		Опасан отпад (Hazardous waste)
17.	Део паковања (Part of packaging)	
17.1		Поновна употреба (Reuse)
17.2		Рециклажа (Recycling)
17.3		Спаљивање/инсинерација (Incineration)
17.4		Одлагање на депонију (Landfill)
17.5		Опасан отпад (Hazardous waste)

У наставку, анализа се спроводи помоћу ЕП који је сачињен од стратегија за побољшање, односно еколошко унапређење производа (види Табелу 2.5).

Табела 2.5. ЕР стратегије унапређења производа

#	Стратегија	Тип А	Тип В	Тип С	Тип D	Тип Е
S1	Selecting the right materials Избор правог материјала	x				x
S2	Reducing material inputs Смањење потрошње сировина	x				
S3	Reducing energy consumption in production processes Смањење потрошње енергије у производњи		x			
S4	Optimizing type and amount of process materials Оптимизација типа и количине процесних материјала		x			
S5	Avoiding waste in the production process Избегавање отпада у производњи		x			
S6	Ecological procurement of external parts Еколошка набавка готових делова		x			
S7	Reduction of packaging Редукција паковања			x		
S8	Reduction of transportation Редукција транспорта			x		
S9	Optimizing product use Оптимизација фазе употребе	x	x			
S10	Optimizing product functionality Оптимизација функционалности	x	x		x	
S11	Increasing product durability Продужење радног века	x	x			x
S12	Ensuring environmentally safe performance Обезбеђивање еколошки безбедног рада				x	
S13	Reducing consumption at use stage Смањење потрошње у фази употребе				x	
S14	Avoidance of waste at use stage Смањење отпада у фази употребе				x	
S15	Improving maintenance Побољшање одржавања	x	x		x	
S16	Improving reparability Побољшање репарабилности	x	x			x
S17	Improving disassembly Унапређење демонтаже	x	x			x
S18	Reuse of product parts Реупотреба делова	x	x			x
S19	Recycling of materials Рециклажа материјала	x				x

Стратегије унапређења су у вези са типом производа, односно примењиве су за унапређење одговарајућег типа производа, као што је приказано Табелом 2.5. Постоје три нивоа стратегија према приоритету. На првом месту су главне стратегије, које имају највиши приоритет и препоручује се да се оне одмах размотре и, ако је могуће, спроведу. Следе секундарне или помоћне стратегије, које се могу

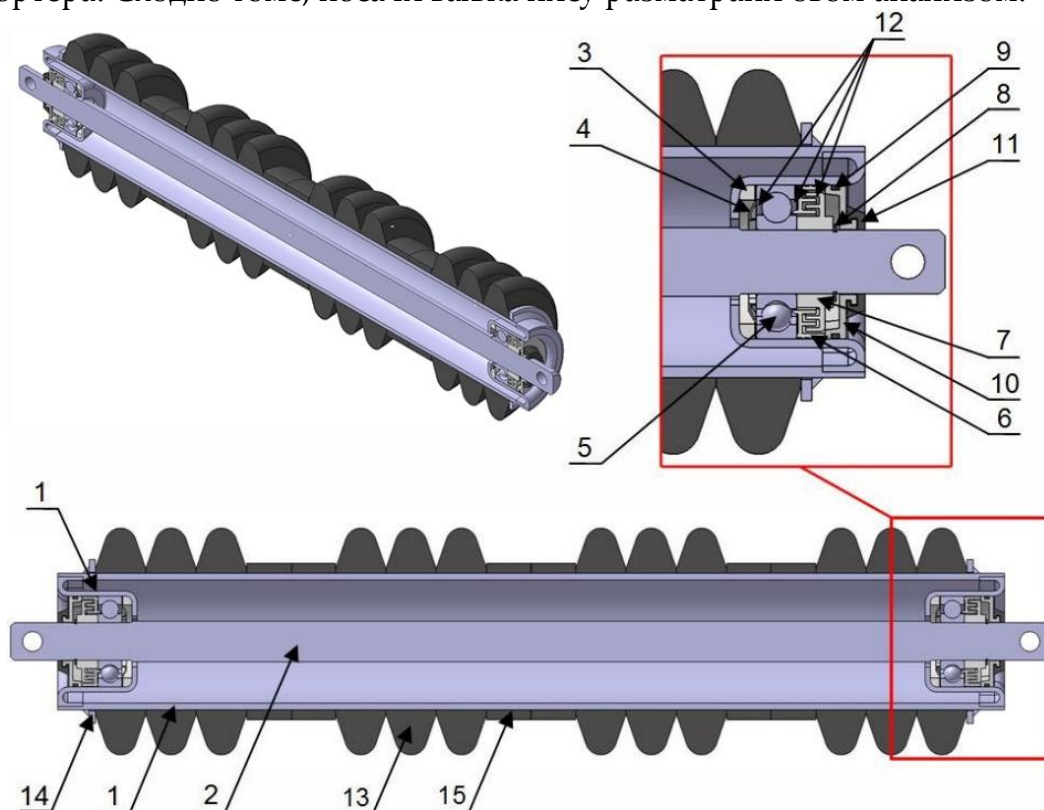
реализовати касније, и на крају долазе додатне стратегије (са најнижим приоритетом) које се могу спровести да би се производ додатно унапредио, уколико нису већ све опције побољшања производа исцрпљене спровођењем главних и помоћних стратегија.

Свака од стратегија са собом носи одређени број задатака, при чему се за сваки од њих испитује његова релевантност, односно значај и степен испуњења, а на основу тога одређује се приоритет. Приоритет се креће у границама 0÷40, при чему се задаци вредновани са 30 и 40 третирају као најприоритетнији и разматра се њихова примена у што краћем року. С друге стране низак приоритет 0, 10 и 20 указује на то да се ови задаци, односно идеје могу касније реализовати или у потпуности занемарити.

2.1. Упрошћена LCA анализа ваљка

2.1.1. Увод и опис

Носећи ваљак је предмет проучавања упрошћене LCA анализе приказане у [Ђорђевић, et al., 2013], која је прва у низу упрошћених LCA анализе компонената тракастог транспортера кратке деонице. Ова анализа обухватила је испитивање ваљка повратног слога тракастог транспортера на роторном багеру SchRs 350, Слика 2.3. Повратни слог на овом транспортеру састоји се из једног ваљка Ø180x750 mm и његових носача, који се могу сматрати делом носеће конструкције тракастог транспортера. Сходно томе, носачи ваљка нису разматрани овом анализом.



Слика 2.3. Компоненте ваљка повратног слога тракастог транспортера на роторном багеру SchRs 350

Радни век ваљка одређен је на основу израчунатог броја радних сати годишње и брзине кретања траке транспортера. Овај багер ради 325 дана годишње, 20 сати дневно, што даје 6500 сати годишње. Према [СЕМА Belt Book, 2007] класе ваљака се одређују на основу радног века $L_{10} = 30000 \text{ h}$ (или 60000 h), при учестаности обртања од $n = 500 \text{ min}^{-1}$. Сходно томе, за брзину траке транспортера на стрели ротора од $3,5 \text{ m/s}$, радни век лежаја износи 6,23 године. Брзина траке међутранспортера, мора бити већа да не би долазило до загушења и она износи $3,9 \text{ m/s}$. При овој брзини траке, радни век лежаја износи 5,45 година. На основу ових прорачуна, усвојен је радни век лежаја од 5 година. Радни век ваљка транспортера директно је у вези са радним веком лежаја. Сходно томе, претпостављени радни век ваљка износи 5 година.

Функционална јединица ваљка дефинисана је као: „Ношење и центрирање траке транспортера при учестаности обртања од 500 min^{-1} у периоду од 30000 часова“.

На основу техничке документације транспортера и цртежа ваљка ROLLER 6306 са ознаком 4330723, утврђено је да се ваљак састоји из 15 компонената, приказаних на Слици 2.3 и у Табели 2.6.

Табела 2.6. Компоненте ваљка

#	Назив	Ком.	Стандард	Материјал	Димензије [mm]	Маса [kg]
1	Плашт	1		S235JRG2	Ø108x5x750	10,800
2	Осовина	1		C22	Ø32x825	5,050
3	Дистантни прстен	2		PETP	Ø72/Ø58x7,2	0,020
4	Заптивни прстен	2		PA6	Ø72/Ø39x4	0,010
5	Котрљајни лежај	2	6306 C3 DIN 625	Готов део	Ø72/Ø30x19	0,700
6	Унутрашњи лабиринт	2		PP MA-4	Ø72/Ø45x13	0,022
7	Спољашњи лабиринт	2		PA6 GF30	Ø65/Ø30x17	0,060
8	Ускочник	2	DIN 471	Готов део	30x1,6	0,010
9	О-прстен	2	Int.Stand. PPT.FS1.0002	50 NBR 10.1	Ø67,2x3	0,020
10	Поклопац	2		PP	Ø72/Ø30x15	0,050
11	Гумени поклопац	2		Гума	Ø53/Ø35x9	0,016
12	Лубрикант	2	FOR LPD 2			0,120
13	Гумени диск	12		Гума	Ø180x40	7,800
14	Крајњи прстен	2		S235JRG2	Ø130/Ø110x5	0,240
15	Дистантни прстен	6		Гума	Ø124x35	0,840
Σ						25,758

2.1.2. Претпоставке и упрошћења

Да би се могла спровести анализа коришћењем ЕА и ЕР учињене су следеће претпоставке и упрошћења:

- делови израђени од истог или приближно истог материјала третирају се као један део. При томе енергија производње за сваки од делова је узета у обзир;
- делови ваљка су груписани према материјалу од ког су израђени. Тако је број делова са 15 редукован на 4, видети Табелу 2.7;

- класа материјала за тако добијене нове делове, одређена је на основу најзаступљенијег материјала у односу на класификацију дефинисану у оквиру ЕА програмског пакета;
- котрљајни лежај 6306 С3 DIN 625, третиран је као један део направљен од челика, са 10% отпада у производњи добијен резањем;
- о-прстен је направљен од материјала 50 NBR 10.1 (NBR – Nitrile Butadiene Rubber), класификован као материјал класе IV, заједно са другим гуменим једињењима;
- за делове од полиамида је одређено да су направљени од материјала PA6 GF30, односно полиамид 6 (комерцијални назив „најлон“) ојачан са 30% стаклених влакана;
- полиетилен-терефталат полиестер (PETP) је уз полипропилен (PP) класификован као материјал класе IV;
- Лубрикант FOR LPD 2 је третиран као додатни материјал у фази употребе. Генерално, током истраживања је утврђено да се не јавља приметна разлика било да лубриканте разматрамо као делове у фази сировина или као делове, односно додатни материјал у фази употребе.

Табела 2.7. Груписане компоненте ваљка

#	Назив	Обухваћени делови	Материјал	Маса [kg]	Класа материјала
1	Делови од челика	Плашт, осовина, лежајеви, крајњи прстенови, ускочници	Челик (ниско-легирани)	16,800	III
2	Делови од гуме	О-прстен, дистантни прстен, гумени диск, гумени поклопац	Гума	8,676	IV
3	Делови од полиамида	Заптивни прстен, спољашњи лабиринт	PA6 GF30	0,070	V
4	Делови од полипропилена	Дистантни прстен, унутрашњи лабиринт, поклопац	PP	0,092	IV

2.1.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат

За производњу делова од челика узете су у обзир следеће производне технологије: хладно ваљање, дубоко извлачење, обрада резањем и заваривање. Подаци о производној енергији и SEC за дате процесе и делове добијени су из [Kalpakjian & Schmid, 2007] и [Zrnić & Đorđević, 2012], а израчуната енергија производње за делове од челика износи приближно 52 MJ. Осовина се израђује резањем од нискоугљеничног челика са 10% отпада при изради. За хладно ваљање цеви плашта, масе 10,05 kg, према [Kalpakjian & Schmid, 2007] је $SEC = 0,7 \text{ Btu/tonne} = 0,7385 \text{ MJ/kg}$. Улежиштење лежаја, масе 0,72 kg, израђује се ковањем. Крајњи прстенови се добијају просецањем челичне плоче, а поступак којим је то обухваћено у прорачуну је ковање. Плашт ваљка (цев) се спаја са улежиштењем лежаја и крајњим прстеновима заваривањем са средњом специфичном енергијом $SEC = 9,7 \text{ J/mm}^3$. Детаљи прорачуна дати су прегледно у Табели 2.8.

Табела 2.8. Прорачун енергије производње ваљка

Део	Маса [kg]	Поступак	SEC [MJ/kg]	Извор	Енергија [MJ]
Осовина	5,05	Резање	7,6	[Zrnić & Đorđević, 2012]	38,38
Плашт (цев)	10,05	Хладно ваљање	0,7385	[Kalpakjian & Schmid, 2007]	7,422
Плашт (улежиштење)	0,72	Ковање	6,3	[Zrnić & Đorđević, 2012]	4,536
Крајњи прстенови	0,24	Ковање	6,3	[Zrnić & Đorđević, 2012]	1,512
	Запремина шава [mm³]		SEC [J/mm³]		
Цев и улежиштење	2815	Заваривање	9,1÷10,3	[Kalpakjian & Schmid, 2007]	0,6
Цев и крајњи прстен	3300				
Σ					52,45

Гумени и пластични делови су произведени инјекционим ливењем, односно бризгањем под притиском. Најзаступљеније машине овог типа су хидрауличне. Према [Thiriez & Gutowski, 2006] SEC ових машина износи 19,0 MJ/kg. Сходно томе, производна енергија гумених и пластичних делова износи 168 MJ, а укупна енергија за производњу једног ваљка износи 220 MJ.

Процењено је да генерисани отпад у процесу производње износи 10% масе готовог дела/производа [Kalpakjian & Schmid, 2007]. У складу са понуђеним опцијама за унос одређених параметара у формуларе ЕА, потрошња додатне енергије, односно енергије за грејање и расвету процењена је као умерена, а за ваљак је претпостављено да се на крају свог животног циклуса парцијално рециклира. За делове од челика претпостављена је реупотреба. Осовина и плашт се много мање потроше и оштете у односу на лежајеве. На основу података добијених од радника на одржавању ових машина, тај однос је 1:20 у корист плашта и осовине. Сходно томе, ваљци се углавном репарирају тако што се замене потрошени лежајеви, а делови од челика поново употребе.

Проценат готових делова који се уграђују у ваљак износи 80%, а будући да се добављају од произвођача лоцираних у близини фабрике за производњу ваљака, транспортна удаљеност са које се допремају готови делови је одређена као „rather short“, односно прилично мала.

Фабрика за производњу ваљака је лоцирана на удаљености од око 10 km од површинског копа на коме је ангажован роторни багер. Ваљци се транспортују камионом.

За ваљак је фаза употребе дефинисана бројем радних дана багера. Ваљак не троши електричну енергију приликом употребе. Лубрикант FOR LPD 2 је препознат као опасна материја. Разматра се у фази употребе и унос лубриканта по једној употреби износи $4 \cdot 10^{-4}$ kg.

Анализа спроведена помоћу ЕА показала је да је ваљак производ типа А, односно производ који највећи утицај на животну средину остварује у фази сировина.

2.1.4. Анализа помоћу EP

У случају анализе ваљка, главне стратегије побољшања производа се односе на редукацију потрошње сировина ("reducing material inputs") и рециклажу материјала ("recycling of materials").

2.1.5. Дискусија и закључци

Овим радом разматране су следеће ставке:

- лубриканти – могућа замена стандардних мазива еколошки прихватљивијим;
- примена штедљивих лежајева и њихова репродукција;
- сировине, односно материјали који улазе у састав ваљка и њихове EoL опције;
- означавање потрошености компонената као део стратегије одржавања;
- истраживање материјала са повећаном отпорношћу према хабању са циљем продужења радног века компонената изложених екстремном хабању.

Лубрикант FOR LPD 2, као што је већ напоменуто, сматра се опасном материјом. Лубриканти се састоје из базног уља, згушњивача и адитива. Овај лубрикант се састоји из минералног базног уља и литијумског сапуна као згушњивача [FAM, n.d.]. Истраживања су показала да се мазиво на бази минералног уља може заменити мазивом на бази биљног уља, при чему се постижу слична или чак боља триболошка својства, уз истовремено побољшане еколошке карактеристике [Sukirno, et al., 2009], [Barriga, et al., 2006]. Поред тога, нови концепт мазива на бази јонских течности показао је супериорна триболошка и еколошка својства у односу на конвенционална мазива [Reeves, et al., 2012].

Уштеда енергије може се остварити и применом специјалних штедљивих лежајева (energy-saving bearings), као што су лежајеви типа SKF E2 [SKF, n.d.]. Ови лежајеви редукују трење у износу од 30% у поређењу са стандардним SKF лежајевима. Такође, за рад им је потребно мање лубриканта, што додатно смањује утицај на животну средину. Поред тога, SKF пружа услугу репродукције својих лежајева. На тај начин може се остварити уштеда у потрошњи енергије од 90% у поређењу са енергијом потребном за производњу нових лежајева. Овде није размотрен економски аспект примене овог решења, услед недостатка података о тржишној вредности оваквих лежајева наспрам стандардних. Овај, најчешће најбитнији аспект би требало размотрити и установити да ли постоји економска оправданост за примену оваквих лежајева, без обзира на њихове супериорне еколошке карактеристике.

Делови од челика се репарирају или рециклирају. Степен рециклаже се може додатно повећати уколико би се рециклирали гумени и пластични делови. Што је степен поврата и рециклаже делова већи, то је мањи утицај на животну средину и већа економска добит остварена на рачун мањих трошкова и избегнутих трошкова. Имајући на уму да SEC производње примарног челика износи 31 MJ/kg, а SEC производње секундарног (рециклираног) челика износи 9 MJ/kg [Telenko & Seepersad, 2012], огромна уштеда у енергији може се остварити употребом секундарног челика. Употребом рециклираних материјала остварује се и уштеда у сировинама, односно редукација потрошње ресурса, као и смањено генерисање отпада.

Компоненте, односно делови се могу означити како би се указало на преостали радни век. На тај начин се може утврдити да ли је компонента погодна или непогодна за поновну употребу приликом обнове, тј. репарације производа. Овај приступ би се могао применити генерално и ускладити са стратегијама одржавања, како би дао најбољи ефекат.

Повратни ваљци су подложни задрљавању. На њих се лепи слој материјала (наслага или тзв. налеп), који омета њихов рад, одржавање и сервисирање. Стога су повратни ваљци опремљени гуменим дисковима, који спречавају формирање налепа на плашту ваљка. Оваквом конструкцијом ваљка постиже се ефекат самочишћења. Међутим, ови гумени дискови су изложени изразитом хабању. У складу са овом чињеницом, истраживања различитих материјала и њихове отпорности према хабању могу бити значајна у циљу продужења радног века гумених дискова и других делова који су изложени екстремном хабању.

Будући да се већина компонената ваљка набавља и производи локално, транспорт има минималан утицај.

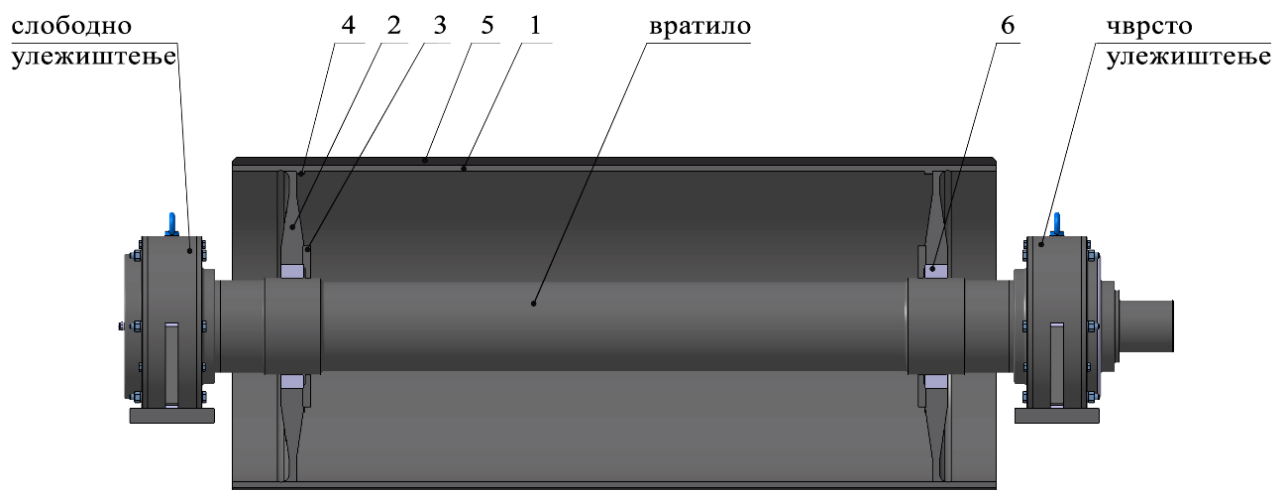
2.2. Упростиена LCA анализа добоша

2.2.1. Увод и опис

Предмет проучавања наредне анализе је погонски добош пречника Ø800 mm и дужине 1600 mm, на тракастом транспортеру роторног багера SchRs 1201 [Đorđević, et al., 2014a]. Склоп погонског добоша транспортера састоји се из конструкције добоша, вратила и лежаја покретног и непокретног ослонца (floating and fixed bearing). Прирубница добоша није обухваћена овом анализом. Конструкцију добоша (Слика 2.4) чине:

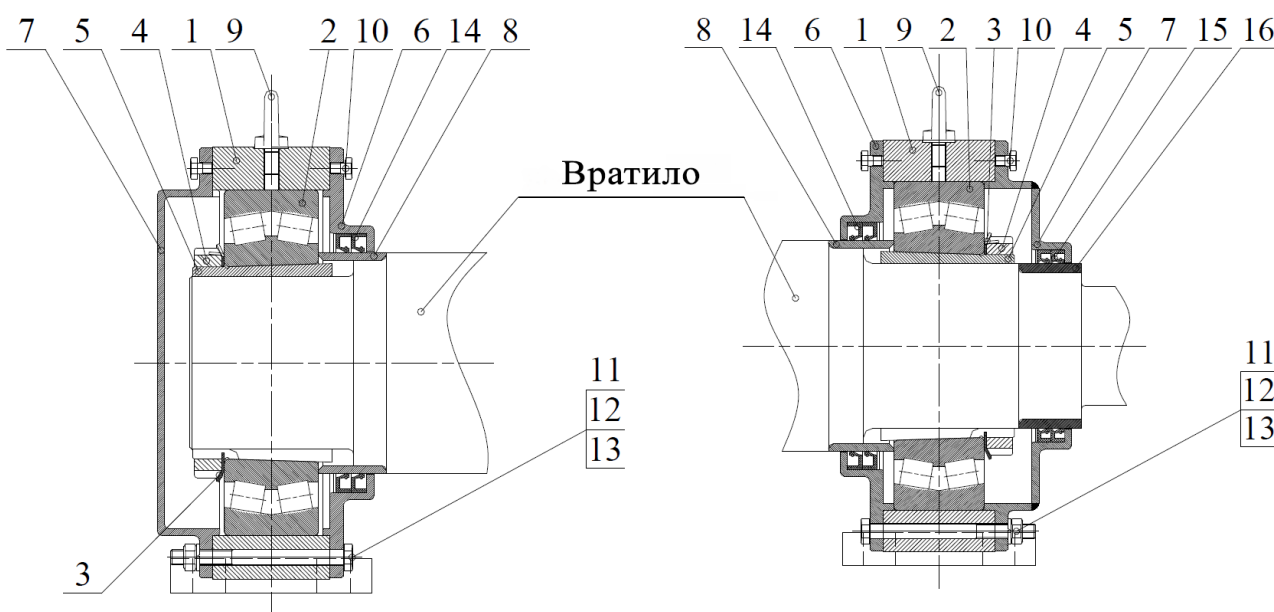
1. плашт добоша, израђен од челика S335J2G3, масе 550,9 kg;
2. крајњи диск, 2 комада, израђена од S335J2G3, масе 102,0 kg сваки;
3. прстен за позиционирање крајњег диска у односу на вратило, 2 комада, израђена од S335J2G3, масе 24,0 kg сваки;
4. плочица за позиционирање крајњег диска у односу на плашт, 6 комада радијално распоређених на оба краја плашта добоша (по 3 са сваке стране), израђених од S335J2G3, масе 0,3 kg свака;
5. облога плашта добоша, израђена од гуме, масе 156,8 kg;
6. еластични стезни прстен, 2 комада, израђена од челика, масе 12,2 kg сваки.

Са аспекта екодизајна и LCA студије, веома је мала разлика између лежаја покретног и лежаја непокретног ослонца. Разлике постоје код конструкције поклопаца кућишта лежаја, манжетних заптивача и чињенице да код фиксног лежаја постоји додатна чаура.



Слика 2.4. Компоненте конструкције погонског добоша међутранспортера на роторном багеру SchRs 1201

Делови покретног и непокретног лежаја приказани су на Слици 2.5 и у Табели 2.9, у којој је првих 14 компонената скоро идентично (разликује се само спољашњи поклопац кућишта по конструкцији, али је исте масе код оба лежаја). Додатне две компоненте (15 и 16) поседује само лежај непокретног ослонца.



Слика 2.5. Компоненте лежаја покретног ослонца (лево) и непокретног ослонца (десно) погонског добоша

Табела 2.9. Компоненте лежаја, позиције 1÷14 покретни и непокретни, позиције 15 и 16 само непокретни

Поз.	Назив	Материјал	Маса [kg]	Ком.
1	Кућиште	Челик (S335J2G3)	131,800	1
2	Ваљкасти лежај SKF 22240 ССК/W33	Челик	42,500	1
3	Осигуравајућа подлошка МВ 40	Челик	0,293	1
4	Осигуравајућа навртка КМ 40	Челик	3,700	1
5	Подешавајућа чаура Н3140	Челик	12,100	1
6	Унутрашњи поклопац кућишта	Челик (S335J2G3)	14,100	1
7	Спољашњи поклопац кућишта	Челик (S335J2G3)	15,600	1
8	Чаура	Челик (СК45)	3,070	1
9	Завртањ са ушком (О-завртањ)	Zn челик (C15E)	0,300	1
10	Завртањ М12х16	Zn челик	0,030	6
11	Завртањ М16х180	Zn челик	0,320	6
12	Навртка	Zn челик	0,040	6
13	Подлошка	Zn челик	0,010	6
14	Манжетни заптивач ВА Simrit 230х270х16	Гума	0,100	2
15	Манжетни заптивач ВА Simrit 180х210х15	Гума	0,074	2
16	Чаура	Челик (СК45)	1,210	1

Вратило је израђено од хромираног челика 42CrMo4 и има масу од 751,30 kg. Материјал вратила је у ЕА табели класа материјала препознат као високолегирани челик – материјал класе VI.

Као и за ваљак, одређен је радни век погонског добоша од 5 година. Функционална јединица погонског добоша дефинисана је као: „ Ношење терета и трансформисање обртног кретања са вратила у транслаторно (праволинијско) кретање траке транспортера, брзином од 3,9 m/s“.

2.2.2. Претпоставке и упрошћења

Да би се могла спровести анализа коришћењем ЕА и ЕР учињене су претпоставке и упрошћења, сличне претходним, примењеним на ваљак:

- Делови израђени од истог или приближно истог материјала третиран су као један део. При томе енергија производње за сваки од делова је узета у обзир.
- Делови су груписани према материјалу од ког су израђени, видети Табелу 2.10. Класа материјала за тако добијене нове делове, одређена је на основу најзаступљенијег материјала у односу на класификацију дефинисану у оквиру ЕА програмског пакета.
- Ваљкасти лежај SKF 22240 ССК/W33, третиран је као и котрљајни лежајеви код ваљака, тј. као један део направљен од челика резањем са 10% отпада у производњи.

- Количина отпада генерисаног у процесу производње, у складу са [Kalpakjian & Schmid, 2007], процењена је на 10% масе дела.
- Лубрикант FOR LPD 2 је третиран као додатни материјал у фази употребе.

Табела 2.10. Упростиена листа делова добоша

#	Назив	Обухваћени делови Позиције у Табели 2.8	Материјал	Маса [kg]	Класа мат.
1	Делови од челика	Поз. 1÷8 и 16, плашт добоша, крајњи дискови, стезни прстенови, прстенови и плочице за позиционирање крајњих дискова	Челик (нисколегирани)	1252,0	III
2	Делови од поцинкованог челика	Поз. 9÷13	Zn челик	5,5	IV
3	Делови од високолегираног челика	Вратило	Високолегирани челик	751,3	VI
4	Делови од гуме	Поз. 14, 15 и облога добоша	Гума	157,35	IV

2.2.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат

За производњу делова од челика узете су у обзир следеће производне технологије: обрада резањем, ковање и заваривање. Гумени делови су произведени бризгањем под притиском. Подаци о производној енергији и SEC за дате процесе и делове добијени су из [Kalpakjian & Schmid, 2007], [Thiriez & Gutowski, 2006] и [Zrnić & Đorđević, 2012], а израчуната енергија производње износи 9218,91 MJ. Детаљи су дати у Табели 2.11.

Табела 2.11. Прорачун енергије производње добоша

Део	Маса [kg]	Поступак	SEC [MJ/kg]	Извор	Енергија [MJ]
Улежиштења	36,4	Резање	7,6	[Zrnić & Đorđević, 2012]	276,64
Вратило	751,3	Ковање	7,1	[Zrnić & Đorđević, 2012]	5334,23
Делови од челика	80,4	Резање	7,6	[Zrnić & Đorđević, 2012]	611,04
Делови од гуме	156,8	Бризгање под притиском	19,0	[Thiriez & Gutowski, 2006]	2979,20
	Запремина шава [mm ³]		SEC [J/mm ³]		
Плашт, улежиштења, дискови, прстенови и позиционе плочице	1832512	Заваривање	9,1÷10,3	[Kalpakjian & Schmid, 2007]	17,80
Σ					9218,91

Маса делова једног улежиштења износи 181,87 kg $\approx$ 182 kg, што даје 18,2 kg отпада од резања. Делови добоша од челика масе су 804 kg (отпад 10%) и израђују се резањем. Делови од гуме, првенствено облога плашта, произведени су бризгањем под притиском. Према [Thiriez & Gutowski, 2006] SEC износи 19,0 MJ/kg.

У процесу производње генерише се 116,8 kg челичног отпада и 15,7 kg гуменог отпада. Потрошња додатне енергије оцењена је као умерена (100%); проценат готових делова је процењен на 30÷60%, а будући да се готови делови набављају од локалних произвођача, транспортна удаљеност са које се допремају готови делови је прилично кратка („rather short“).

Добоше производи фабрика „Колубара Метал“, која је удаљена 20-ак километара од места употребе добоша, тј. површинског копа, на коме је ангажован роторни багер. Транспорт се врши камионом.

Сценарио употребе дефинисан је бројем радних часова роторног багера SchRs 1201 годишње. На основу података добијених од корисника, утврђено је да багер ради 325 дана годишње. За рад добоша није потребна електрична енергија. Заправо једина компонента тракастог транспортера која за рад изискује електричну енергију је мотор. Као и код ваљка, лубрикант FOR LPD 2 се третира као додатни материјал у фази употребе и класификован је као опасна материја, препозната као материјал класе V. Потребна количина лубриканта по једној употреби износи $8,4 \cdot 10^{-3}$ kg.

На крају животног циклуса, делови од челика и високолегираног челика се реупотребљавају, док се остали делови одлажу на депонију или враћају произвођачу.

Анализа спроведена помоћу ЕА показала је да је добош производ типа А, и да највећи утицај на животну средину остварује у фази сировина.

2.2.4. Анализа помоћу EP

У случају анализе добоша, једна главна стратегија побољшања је предложена и односи се на редукцију потрошње сировина (“reducing material inputs”). Секундарне стратегије односе се на адекватан избор материјала и продужење радног века добоша (“selecting the right materials”, “optimizing product use”, “optimizing product functionality”, “increasing product durability”, “improving maintenance”, “improving reparability”, “improving disassembly” и “reuse of product parts”), а преостала једна допунска стратегија препоручује „зелену“ набавку готових делова (“ecological procurement of external components”).

2.2.5. Дискусија и закључци

Предложене стратегије за побољшање производа нису овде приказане појединачно, већ су представљене као задаци, мере и препоруке које би требало спровести, како би се унапредила функционалност, енергетска ефикасност и еколошке перформансе погонског добоша. Иако добош не користи електричну енергију у фази употребе, енергетска ефикасност се може повећати у другим фазама његовог животног циклуса, пре свега у фази производње.

На лубрикант FOR LPD 2, који се користи за подмазивање ваљкастих лежајева и сматра се опасном материјом, могу се применити исте препоруке као и код ваљка, а које се односе на лубриканте са бољим еколошким карактеристикама, односно еколошки прихватљиве лубриканте (EALs - Environmentally Acceptable Lubricants)

У погледу уштеде енергије, када су лежајеви у питању, она се, као и код ваљка, може остварити применом специјалних штедљивих лежајева [SKF, n.d.]. Штавише,

ова препорука је универзална и може се применити на било који производ у који се уграђују котрљајни лежајеви. Важно је само при томе спровести анализу исплативости, односно утврдити да ли ће примена штедљивих лежајева донети тражене резултате и по којој цени.

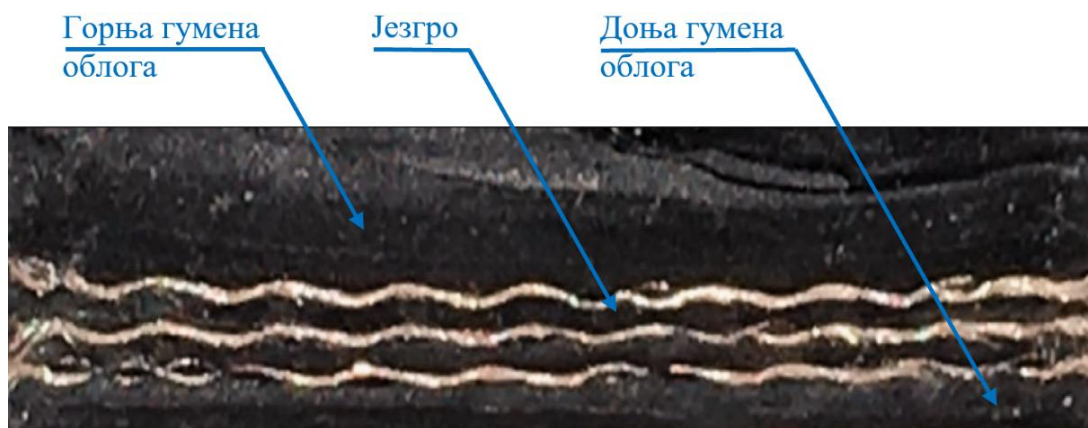
Делови од челика се репарирају или рециклирају. Степен рециклаже се може додатно повећати уколико би се рециклирали и гумени делови. Већим степеном поврата и рециклаже делова смањује се утицај на животну средину.

Будући да се већина компонената ваљка набавља и производи локално, транспорт има минималан утицај.

2.3. Упростијена LCA анализа гумене траке транспортера

2.3.1. Увод и опис

Предмет проучавања наредне анализе је трака на међутранспортеру (транспортеру 2) роторног багера SchRs 1201 [Ђорђевић, et al., 2014b]. Транспортна трака је најзначајнија компонента тракастог транспортера, а такође и део са најкраћим радним веком. При томе трака учествује са 50÷60% у укупним инвестиционим трошковима транспортера [Czaplicka, 2003]. Трака међутранспортера, типа EP 500/3, израђена је од гуме, са језгром сачињеним од 3 текстилна вучна слоја - типичан вишеслојни, композитни материјал. Слика 2.6 даје схематски приказ попречног пресека једне такве транспортне траке, на коме се могу разликовати горња гумена облога – радна страна, доња гумена облога – нерадна страна, језгро, сачињено од вучних слојева и заштитне бочне ивице траке. Вучни слојеви су обично повезани у целину везивном гуменом смесом за ту намену. Ова трака нема додатни заштитни слој за језгро. Текстилни вучни слојеви се састоје од подужних, носећих влакана (warp yarns) и попречних влакана, тј. потке (weft yarns). Подужна влакна ове траке су израђена од полиестера (EP - Polyester), а влакна потке од полиамида (PA). Квалитет гумене облоге је класе N (NR – Natural rubber). Укупна дужина траке износи $L = 16$ m, ширина $B = 1,6$ m, угао нагиба бочних ваљака (три ваљка у слоју) $\alpha = 30^\circ$ и брзина кретања траке $v = 3,9$ m/s. Укупна маса траке износи 563,2 kg.



Слика 2.6. Попречни пресек гумене траке са текстилним језгром

Процењени радни век траке у овом случају је 5,5 година (у Поглављу 4 је овај радни век ревидиран у складу са тачним подацима преузетим од корисника на површинском копу на коме је ангажован овај роторни багер).

Функционална јединица транспортне траке дефинисана је као: „Ношење и транспорт 3465 m³/h лигнита“.

2.3.2. Претпоставке и упрошћења

За потребе анализе трака је моделирана помоћу два дела, односно целине, а то су:

- облоге – укључујући и заптивене ивице траке, израђене од гуме (NR), масе 450, 56 kg, ЕА класе материјала IV, и
- језгро – вучни слојеви израђени од синтетичких влакана - полиестера и полиамида (Polyester & PA), масе 112,64 kg, ЕА класе материјала V.

За паковање траке претпостављена је употреба еуро-палета (касније у тексту у Поглављу 2.3.3 показано је да се траке намотавају на дрвене калемове и осигуравају од одмотавања пластичним тракама. Пластичне траке су мале масе и могу бити занемарене, а дрвени ваљци имају минимални утицај на животну средину – класа материјала I, поготову ако се има на уму да је ова амбалажа повратна и да се поново користи).

2.3.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат

Анализа помоћу ЕА је спроведена у више итерација, уз варирање унетих параметара до достизања оптималног решења. Након тога су размотрене ЕП стратегије побољшања и предложена оптимална решења за унапређење производа.

Производња транспортних трака укључује различите процесе, који се разликују у зависности од тога који тип траке се производи, али увек су заступљени следећи:

1. прављење основне гумене смесе;
2. формирање гумених „фолија“ од хрпа готове гумене смесе помоћу каландера (машина са три или више ваљака) или екструзијом (Приликом спровођења анализе, чији су резултати приказани у [Đorđević, et al., 2014b], подаци од произвођача, коришћени у каснијим истраживањима, нису били доступни. Алтернативна метода производње, која је дала одговарајуће резултате била је бризгање под притиском (IM – Injection Moulding). Ови резултати су касније проверени и потврђени. Одступања су била минимална и нису утицала на исход ове анализе);
3. „конфекционирање гумених фолија“ вучним слојевима;
4. вулканизација у пресама.

За производњу основне гумене смесе у миксерском постројењу, према рецептури произвођача „Колубара Универзал“, користе се следећи састојци:

- каучук, природни и вештачки;
- чађ, врста паракристалног угљеника са високим односом површина-запремина;

- хемикалије (пластификатори, омекшивачи, пунила, уља и катализатори за процес вулканизације).

У процесу обраде на каландерима, хрпе основне гумене смесе се пропуштају кроз ваљке, уз примену високог притиска и температуре. Овај поступак производње гумених „фолија“ је у раду представљен бризгањем под притиском, као што је претходно наведено.

Конфекционирање гумених „фолија“ вучним слојевима је поступак који се понавља за сваки вучни слој који се додаје. Гумене фолије се разматавају са металних калемова на које су биле намотане на крају претходне фазе производње. Преко гумене „фолије“ се поставља вучни слој и провлачењем кроз ваљке они се утискују једно у друго. Поступак се понавља онолико пута колико трака има вучних слојева. Између вучних слојева додатно се умеће адхезиона гумена смеса. Одговарајућа дебљина гумене „фолије“, која ће чинити горњу или доњу гумену облогу формира се на каландеру и поступком дублирања. Повећање ширине траке постиже се поступком подужног спајања гумених „фолија“, који претходи конфекционирању.

Вулканизација је процес који треба да обезбеди постојаност карактеристика гумене траке и одвија се у пресама за вулканизацију на температури од 150 °C и притиску од 1,2 МПа (за траке са вучним слојевима од синтетичких влакана).

Производња траке је представљена процесом бризгања под притиском гумених „фолија“ и вулканизацијом 16 m траке. Израчунато је да је за производњу 16 m траке потребно 10700,8 MJ термалне енергије у складу са SEC хидрауличне машине за бризгање под притиском - $SEC_{\text{IM}} = 19 \text{ MJ/kg}$ [Thiriez & Gutowski, 2006] и укупном масом траке од 563,2 kg. Потребна количина електричне енергије за вулканизацију 16 m траке, у преси снаге 30 kW и капацитета 0,04÷4,7 m/min, износи 100 kWh [Chaoguanguye, n.d.].

Количина отпада генерисаног у производњи дефинисана је у складу са претпоставком да износи 10% масе готовог дела [Kalpakjian & Schmid, 2007]. У првој итерацији, као EoL опција, предвиђено је одлагање на депонију. У другој итерацији ова опција је редефинисана.

Процењена је осредња потрошња додатне енергије за климатизацију и расвету. Проценат готових делова који улазе у састав траке је мањи од 10%. При томе је удаљеност са које се допремају делови дефинисана као прилично кратка. Коришћење опасних материја у виду процесних материјала процењено је као прилично мало.

Удаљеност фабрике за производњу транспортних трака „Колубара Универзал“ од површинског копа на коме се транспортер користи је око 20 km. Транспорт се обавља камионом, а паковање је повратно, било да су у питању еуро-палете или дрвени ваљак (калем).

У фази употребе није потребна ни електрична енергија ни било који додатни материјал за функционисање траке. Једини проблеми који се могу разматрати у фази употребе је просипање материјала са траке и евентуално трошење саме траке. У том случају просути материјал постаје отпад у фази употребе. Постоје решења овог проблема (нпр. додатни транспортер који прикупља просути материјал – spillage conveyor), али нису примењена на овом транспортеру конкретно и стога нису обрађена овом анализом.

У првој итерацији у ЕоЛ фази је претпостављен најгори сценарио, тј. да се све компоненте траке одлажу на отпад.

Након прве итерације, анализа спроведена помоћу ЕА показала је да је транспортна трака производ хибридног типа АВЕ, односно да остварује велики утицај у 3 фазе свог животног циклуса – у фази сировина, производње и одлагања.

У наставку је спроведена оптимизација, тако да су у другој итерацији извршене следеће измене:

- у складу са раније поменутиим начином паковања готове траке, у фази сировина је додато дрвено језгро (калем) на које се трака намотава и осигурава полиетиленским тракама (занемарљиве масе), а затим поставља на еуропалете, масе 24 kg. Дрвено језгро пречника 250 mm, са квадратним отвором стране 110 mm и дужине 1600 mm (колика је ширина траке) и густином од приближно 500 kg/m³, има масу од 30 kg;
- у фази производње, уместо одлагања отпада на депоније, предвиђено је засебно прикупљање са циљем рециклаже отпадних материјала у процесу производње. Реална ситуација је таква да се врши сепарација отпада на месту генерисања, а исти се враћа произвођачу или другим фирмама на даљи третман. Отпад од гуме се враћа у процес производње за производ исте или друге намене (пored транспортних трака, фабрика производи и гумено-техничку робу, као што су гумени дискови, прстенови, рукавице...);
- у ЕоЛ фази је највећи изазов. Транспортне траке су други по реду проблем у вези са отпадом од гуме, одмах после отпадних пнеуматика. Заједничко за обе врсте отпада је да су у питању композитни материјали и да их је тешко прерадити. Повољнија опција у односу на депоновање, а која је на располагању у фабрици „Колубара Универзал“ је рекондиционирање (репарација). Поступак подразумева уклањање (састругање) потрошених гумених облога траке посебном машином, затим додавање нових гумених облога (конфекционирање) и вулканизацију целе траке. На овај начин штеди се енергија и ресурси у односу на примарну производњу траке. Наравно, поступак није применљив у случају када је оштећено и језгро траке. Састругана гума може бити враћена у процес производње за производе који захтевају нижи квалитет гумене смеше од транспортне траке, или се у случају изузетно лошег квалитета, одлаже на депонију.

Ове измене резултовале су производом хибридног типа АВ. Даља рафинација спроведена је у трећој итерацији, која је укључила детаљнији прорачун термалне и електричне енергије у фази производње. У овом случају детаљно је обрађен процес производње гумене смесе у миксерском постројењу и процес конфекционирања.

За производњу 450,56 kg гумене смесе, потребне за израду 16 m транспортне траке, користе се миксери као што су SHDX-MM 22 “X60” и SHDX-MM 26 “X84” [Slach, n.d.]. У зависности од шарже, капацитет првог модела миксера креће се од 90÷110 kg, а другог од 160÷180 kg. Време мешања износи 45 min по шаржи. Сходно томе, просечна потрошња електричне енергије при производњи основне гумене смесе износи око 450 kWh.

Што се тиче конфекционирања, будући да се језгро траке састоји од три вучна слоја, процес се понавља 3 пута. Према [Chaoguanguye, n.d.], потрошња енергије

потребне за обраду 16 m траке креће се у распону 0,7÷16,4 kWh. Просечна потрошња од 6 kWh помножена са 3 циклуса даје укупну потрошњу од 18 kWh.

Према томе, потрошња електричне енергије је са 100 kWh у другој итерацији увећана на 568 kWh у трећој итерацији. Међутим, иако је у трећој итерацији увећана потрошња електричне енергије у фази производње, резултат је остао исти као на крају друге итерације.

2.3.4. Анализа помоћу EP

Након оптимизације, спроведене у 3 итерације резултат је следећи:

- производ је хибридног типа АВ;
- предложене главне стратегије су S2 и S3;
- предложене секундарне стратегије су: S1, S4÷S6, S9÷S11, S15÷18;
- без допунских стратегија.

2.3.5. Дискусија и закључци

Предложене стратегије размотрене су као задаци, мере и препоруке које би требало спровести, са циљем унапређења еколошких карактеристика транспортне траке.

Трака је израђена од примарних материјала. Међутим, уколико секундарна гума може задовољити захтеве у погледу квалитета, њена примена у производњи би могла значајно допринети како у уштеди енергије, тако и у очувању ресурса. Исто се односи и на синтетичке вучне слојеве; уколико би секундарни материјал задовољио захтеве у погледу затезне чврстоће његова примена би донела вишеструку корист. Међутим, важно је напоменути да секундарна гума и пластика немају исте карактеристике као примарни материјал, већ губе квалитет у одређеној мери. Стога је у оваквом случају веома важно верификовати својства секундарних материјала и тада размотрити њихову употребу.

У другој итерацији разматрано је рекондиционирање рабљене траке. Степен поврата материјала могао би се додатно повећати враћањем састругане гуме у процес производње. Јасно је да је та гума лошег квалитета, али би се могла користити за производе који имају мање захтеве у погледу квалитета гуме. На тај начин остварио би се затворени циклус у производњи. Већи поврат материјала доноси већу корист у погледу економске ефикасности и очувању животне средине услед смањене потрошње ресурса и редукције генерисања отпада, као и потребе за одлагањем истог.

У фази производње треба избећи употребу опасних супстанци. Уколико је то могуће, гумена смеша не би требало да садржи полицикличне ароматичне угљоводонике (PAHs - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), као ни супстанце пописане у Анексу XIV Правилника бр. 1907/2006 (REACH) или уврштене у Листу супстанци кандидата које изазивају велику забринутост (SVHC – Candidate List of substances of very high concern) [ECHA, n.d.].

Иако је квалитет облога траке N (Natural rubber – природна гума) и, сходно томе, остварује минимални утицај на животну средину, препоручује се истраживање

различитих био-полимера са циљем могуће примене у производњи транспортних трака, са посебним освртом на антифрикционе карактеристике њихове површине.

Трака транспортера је изразито изложена прљању и хабању, што може изузетно неповољно утицати на транспортовање материјала и функционалност транспортера уопште. Да би се то предупредило, транспортери су обично опремљени чистачима траке у виду плугова, ротационих четки и др. Веома је значајно да уређаји за чишћење исправно функционишу, као и да су адекватно изабрани. Уколико то није случај, може доћи до повећаног хабања или чак оштећења траке. Поред чистача траке, спречавање формирања налепа материјала може се остварити и применом траке са одговарајућим квалитетом површине, тј. антифрикционим својствима. У складу са тим, испитивање материјала са добрим антифрикционим карактеристикама и добром отпорношћу на хабање може бити од значаја. У циљу утврђивања који материјал облоге је најбољи за транспортне траке, треба спровести истраживање базирано на више критеријума [Czaplicka, 2003].

Због изразитог хабања траке, иста би се могла означити или опремити неком врстом индикатора похабаности, на основу кога би се одређивао преостали радни век траке, односно сервисни интервали, тј. када би требало извршити рекондиционирање. Ово би требало обухватити концептом одржавања. Најзаступљенији концепти одржавања обухватају:

- реактивно или корективно одржавање – „рад до отказа концепт“;
- превентивно одржавање, одржавање базирано на временским интервалима сервисирања;
- предиктивно одржавање, засновано на условима рада;
- проактивно одржавање и
- одржавање усмерено на поузданост.

Трошкови одржавања су у директној вези са изабраним концептом, односно стратегијом одржавања [Pantelić, et al., 2011]. Одговарајући концепт одржавања треба да обезбеди висок ниво поузданости. Слаба тачка траке, тј. „њена најслабија карика“ је место споја. Сходно томе, посебна пажња мора се обратити на место споја и његову изведбу.

Еластичне карактеристике облога немају значајан утицај на флексибилност (еластичност) траке. С друге стране, број вучних слојева и њихова дебљина имају круцијални утицај на еластичност и дебљину целе траке [Czaplicka, 2003]. Постизањем одговарајуће крутости траке, отпор кретању траке преко ваљака и отпор савијању траке могу бити умањени. На тај начин, може се произвести тзв. енергетски-штедљива трака (energy-saving belt). Трака са оваквим карактеристикама може допринети значајној уштеди енергије у фази употребе. Поред тога, радни век траке може бити значајно продужен из истих разлога.

Сама производња транспортних трака се разликује од произвођача до произвођача, али је у основи иста и потрошња енергије зависи од машина које се користе. Енергетска ефикасност се може постићи употребом најсавременијих машина (state-of-the-art) у сваком производном процесу. Овај приступ значајно повећава инвестиционе трошкове, али на дуге стазе може донети значајну уштеду у производњи. Други начин да се постигне енергетска ефикасност са постојећим

машинама је стални надзор (мониторинг) и оптимизација параметара процеса у виду компјутеризоване контроле процеса.

Када се разматра смањење укупне потрошње енергије производног постројења, треба спровести анализу енергетских токова и из тога проистеклих трошкова. Један од могућих приступа за смањење укупне потрошње енергије је у каскадном коришћењу топлоте на различитим температурним нивоима (избегавање вишеструких процеса загревања и хлађења). Други приступ је употреба постројења за комбиновану производњу топлоте и електричне енергије (СНР). Поновном употребом отпадне топлоте као процесне топлоте могу се постићи нивои ефикасности већи од 80%.

Отпад у производном процесу може се избећи затвореним циклусом материјала (closed material cycle или loop) – сепарацијом и рециклажом материјала током производног процеса.

2.4. Упрошћена LCA анализа ЕМ транспортера

2.4.1. Увод и опис

Предмет проучавања наредне анализе је електрични мотор (ЕМ) међутранспортера (транспортера 2) роторног багера SchRs 1201 [Ђорђевић, et al., 2014c]. Електромотор је једина компонента тракастог транспортера која у фази употребе троши електричну енергију. Међутренспортер погони потпуно затворени кавезни ЕМ, хлађен вентилатором (TEFC – Totally Enclosed Fan Cooled), типа ZKE 315 Mb-4 [АТВ Sever, n.d.]. Карактеристике ЕМ дате су у Табели 2.12.

Табела 2.12. Спецификација кавезног ЕМ типа ZKE 315 Mb-4

Карактеристика	Ознака	Јединица	Вредност
Номинална снага	P_n	kW	132
Број обртаја при пуном оптерећењу	n	min^{-1}	1487
Класа енергетске ефикасности	IE2		Висока ефикасност
Фактор снаге	$\cos \varphi_n$		0,89
Јачина струје при пуном оптерећењу	I_n	A	226
Номинални обртни момент	M_n	Nm	853
Маса	m	kg	880
Димензије	$a \times b \times h$	mm	1330 x 742 x 633

Процењени радни век износи 5 година, а дефинисана функционална јединица гласи: „Генерисање обртног момента од 850 Nm“.

2.4.2. Претпоставке и упрошћења

Главни делови ЕМ су кућиште, статор, ротор и намотаји од бакарне или алуминијумске жице намотани на језгро од магнетичног челика.

Уведене су следеће претпоставке:

- пошто је класа енергетске ефикасности овог мотора IE2 (High efficiency), претпостављено је да су намотаји статора и ротора од бакара;
- кућиште је израђено од ливеног гвожђа;
- нисколегирани магнетични челик је коришћен за израду електромагнетних језгара;
- грубо је претпостављен следећи масени однос материјала који чине ЕМ:
 - бакар – 20%, намотаји и шипке – 176 kg;
 - нисколегирани магнетични челик – 50%, челични делови статора и ротора – 440 kg;
 - ливено гвожђе – 30%, кућиште – 264 kg.

2.4.3. Прорачун, унос параметара у ЕА и резултат

Произведени ЕМ се пакује у дрвени сандук поставља на еуро-палету приликом транспорта. За густину дрвета $\rho_{\text{wood}} = 500 \text{ kg/m}^3$, дебљину дасака дрвеног сандука $\delta = 30 \text{ mm}$ и димензије сандука $a \times b \times h = 680 \times 780 \times 1530 \text{ mm}$, израчуната маса сандука износи приближно 40 kg.

Кућиште се производи ливењем, ротор – ливењем под притиском у калупу, а остали делови се производе обрадом резањем. Отпад у процесу производње, према [Kalpakjian & Schmid, 2007] износи 10% масе готовог дела. Специфична енергија потрошње (SEC) поменутих процеса преузета је из [Zrnić & Đorđević, 2012], [Kalpakjian & Schmid, 2007] и [Thiriez & Gutowski, 2006]. За густину челика $\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$ и масу челика која је претрпела обраду резањем (количина еквивалентна отпаду из производње), израчуната запремина челичног отпада износи $V_{\text{waste steel}} = 5,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$. Укупна енергија производње ЕМ износи 1323 MJ. Детаљнији приказ прорачуна дат је у Табели 2.13.

Табела 2.13. Прорачун потребне енергије за производњу ЕМ

Материјал	Маса [kg]	Процес	SEC	Потребна енергија [MJ]
Ливено гвожђе	264	Ливење	$3 \div 3,3 \text{ MJ/kg}$	831,6
Бакар	176	Ливење под притиском	$2,5 \div 2,7 \text{ MJ/kg}$	457,6
Нисколегирани челик	44	Резање	$2,7 \div 9,3 \text{ J/mm}^3$	33,6

Предвиђено је да се отпад из процеса производње рециклира. Потрошња додатне енергије процењена је као осредња (Overhead energy = moderate (100%)). Производност је у опсегу $10 \div 10000$ комада/годишње. Процењен проценат готових делова уграђених у производ износи $10 \div 30 \%$, при чему је удаљеност са које се они допремају оцењена као прилично кратка ("rather short"). Додатно, количина употребљених опасних или штетних процесних материјала у процесу производње оцењена је као мала ("few").

Производно постројење је лоцирано у Суботици, на око 250 km од површинског копа надомак Лазаревца, где се ЕМ користи. Мотор се транспортује камионом у једнократном паковању.

Будући да је ЕМ снаге 132 kW и да ради 20 сати дневно, 325 дана годишње, унос потребне електричне енергије по употреби износи 2,64 MWh. У упрошћеним анализама које се спроводе применом програмског пакета ЕА (EP) [Wimmer, et al., 2000] потрошња по јединичној употреби већа од 1 MWh третирана је као екстремна. Управо из овог разлога, чак и значајне разлике између стварне (2,64 MWh) и максималне вредности потрошње коју је могуће унети у ЕА (1 MWh) не утичу на коначан резултат анализе. У фази употребе ЕМ не захтева употребу додатних материјала.

У првој итерацији, предвиђен је најгори EoL сценаријо, односно одлагање свих делова производа и паковања на депонију.

2.4.4. Анализа помоћу EP

Сprovedена анализа показала је да је ЕМ производ типа D, односно да свој највећи утицај на животну средину остварује у фази употребе. Предложена је једна главна стратегија побољшања – S13 (Reducing consumption at the use stage), која се односи на смањење потрошње у фази употребе и три секундарне стратегије:

- S10 – Оптимизација функционалности производа (Optimizing product functionality);
- S12 – Осигурање еколошки безбедне употребе (Ensuring environmental safety performance);
- S15 – Унапређење одржавања (Improving maintenance).

Након ревизије EoL фазе, преиначено је да се сви делови ЕМ рециклирају, а делови паковања – дрвени сандук и палете, поново користе. Ово је свакако еколошки боља опција, али у овом случају не утиче на резултат.

2.4.5. Дискусија и закључци

Предложене стратегије размотрене су као задаци, мере и препоруке које би требало спровести, са циљем унапређења еколошких карактеристика ЕМ. У складу са великом потрошњом у фази употребе и предложеном главном стратегијом која сугерише управо смањење потрошње у овој фази, као потенцијално најбоље решење, намеће се употреба ЕМ са што већом енергетском ефикасношћу. Енергетска ефикасност подразумева остваривање високог нивоа учинка уз минималну потрошњу енергије [Langerholc, et al., 2013], [CEMA Belt Book, 2007]. Према [Günthner, et al., 2010], [Langerholc, et al., 2013], удео потрошње електричних мотора у укупној потрошњи електричне енергије у индустрији чини преко 60%. Поред тога, 95% трошкова ЕМ произилази из потрошње електричне енергије у фази употребе, док мање од 3% трошкова отпада на аквизицију ЕМ, односно инвестиционе трошкове. Према томе, и најмање унапређење енергетске ефикасности електричних мотора, може допринети значајној уштеди у потрошњи енергије и одрживом развоју. У складу са међународним стандардима за ефикасност електричних мотора

дефинисаних од стране Међународне електротехничке комисије (IEC - International Electro technical Commission), енергетска ефикасност ЕМ се класификује у неколико разреда [Ђорђевић, et al., 2014c], [Brunner, et al., 2025], [SRPS EN 60034-30-1, 2017], [IEC 60034-30-1, 2014]:

- супер премијум – super premium – IE4,
- премијум – premium – IE3,
- висока – high – IE2,
- стандардна – standard – IE1,
- испод стандарда – below standard.

Енергетска ефикасност електричних мотора, може се повећати на следеће начине [Ђорђевић, et al., 2014c]:

1. смањењем електричних губитака у намотајима статора и ротора (нпр. повећањем попречног пресека проводника, побољшањем технике намотавања или употребом материјала са већом електричном проводношћу);
2. смањењем електричних губитака у намотајима ротора или изливањем ротора (нпр. употребом материјала са већом електричном проводношћу или повећањем садржаја бакра у ротору);
3. смањењем магнетних губитака употребом челика са бољим магнетичним својствима;
4. повећањем аеродинамичких катактеристика мотора како би се избегли механички губици у намотајима;
5. употребом квалитетнијих лежачева у циљу смањења отпора трења (нпр. употреба енергетски-ефикасних (energy-saving) лежача [SKF, n.d.], [Ђорђевић, et al., 2013]);
6. смањењем толеранција у производњи;
7. употребом ефикаснијих вентилатора за хлађење;
8. повећањем површина за одвођење топлоте у циљу ефикаснијег хлађења и смањења радне температуре ЕМ;
9. снижавање нивоа магнетне побуде у циљу смањења губитака у језгру [CEMA Belt Book, 2007], [Ђорђевић, et al., 2014c].

Пошто је прегревање главни узрок отказа ЕМ, висока поузданост електромотора може се обезбедити употребом заштитних уређаја од термичког преоптерећења и/или правилним одабиром фактора снаге (SF – Service Factor). Заштита од прегревања намотаја подразумева уградњу термостата или „Klixon“-а у стационарне намотаје. Они реагују на унапред подешену температуру и могу бити подешени да активирају аларм или искључе ЕМ. „Klixon“ је комерцијални назив за термичке заштитне уређаје (биметалне термопреклопнике) компаније „Sensata Technologies“, који се у пракси користи као општи назив за термостатске прекидаче малих димензија који:

- се уграђују у намотаје електромотора;
- реагују на прегревање;
- аутоматски отварају или затварају електрично коло на одређеној температури;
- могу бити саморесетујући или једнократно активни (неповратни).

Температура ЕМ може се мерити и помоћу сензора отпора (RTD – Resistance Temperature Devices), термопарова или термистора, Табела 2.14. Код повећане

температуре могуће је активирање аларма, а при критичној температури долази до искључења ЕМ [CEMA Belt Book, 2007].

Табела 2.14. Сензори за прегревање ЕМ

Уређај	Примена		Предности
	Намотаји мотора	Лежајеви	
RTD	Да	Да	Тачност, стабилност
Термопар	Да (ређе)	Не (односно ретко)	Високе температуре, брз одзив
Термистор	Да	Не (односно ретко)	Брза реакција, ниска цена

Температура лежајева такође се може надгледати коришћењем RTD сензора [CEMA Belt Book, 2007].

Када је реч о вибрацијама, систем за контролу транспортне траке конфигуриран је тако да прати промене нивоа вибрација. Контрола вибрација често доводи до активације аларма, али не и до аутоматског искључења електромотора код тракастих транспортера. Након аларма услед вибрација, уобичајено следи визуелна инспекција и/или анализа вибрација помоћу инструмената за мерење [CEMA Belt Book, 2007].

Генерално, разматрањем побољшања ЕМ, како са еколошког, тако и са економског аспекта, показано је да енергетска ефикасност игра кључну улогу. Повећањем енергетске ефикасности ЕМ доприноси се:

- смањеној потрошњи електричне енергије, а самим тим смањеним трошковима у фази употребе;
- смањеној емисији гасова стаклене баште и очувању ресурса, посебно племенитих метала;
- смањењу отпадне топлоте, а тиме и смањењу потреба за одржавањем и повећању радног века ЕМ [Đorđević, et al., 2014c].

До скоро су роторске кавезне конструкције ЕМ ливене под притиском израђиване искључиво од алуминијума, због технолошких ограничења у процесу ливења бакра под притиском. Данас је ливење бакра под притиском развијена технологија. Употребом бакра уместо алуминијума за производњу проводних шипки и крајњих прстенова ротора може се постићи смањење укупних губитака у ротору за 15 до 20%. Поред тога, мотори са бакарним роторима имају дужи век трајања, мањих су димензија, остварују за 1–5% већу енергетску ефикасност и имају ниже укупне производне трошкове [Đorđević, et al., 2014c].

Ако се посматрају само трошкови сировина, употреба алуминијума за израду намотаја електромотора може се оправдати. Међутим, електромотор генерише највећи утицај на животну средину током фазе коришћења. Стога је употреба материјала са већом електричном проводљивошћу (у овом случају бакра) вишеструко корисна, упркос вишој почетној цени, односно инвестиционом трошку, посебно имајући у виду претходно изнету напомену да инвестициони трошкови ЕМ учествују у укупним трошковима са свега 3÷5%.

Поред повећања енергетске ефикасности ЕМ, значајно смањење утицаја на животну средину могло би се постићи коришћењем обновљивих извора енергије за њихово напајање.

Међутим, до сада није довођена у питање употреба електричних мотора за погон транспортера. У светлу нових дешавања у свету и индустријских пробоја, треба напоменути да се на тржишту постепено појављују и улазе у комерцијалну употребу мотори који користе друге видове енергије за погон, а који потенцијално могу имати такав ефекат да могу драстично смањити негативне утицаје на животну средину у фази употребе. На првом месту, ту су магнетни мотори и водонични мотори, тзв. „водени“ мотори [Toyota, n.d.], [JCB, n.d.].

3. УПРОШЋЕНА LCA АНАЛИЗА КОМПЛЕТНОГ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА

У трећој фази истраживања спроведена је упрошћена анализа целог тракастог транспортера кратке деонице употребом EA и EP програмских пакета [Wimmer, et al., 2000], [Wimmer & Züst, 2003].

Модел тракастог транспортера анализан у [Đorđević, et al., 2015], је прерађен на следећи начин:

- Прецизније су дефинисане границе за транспортну удаљеност екстерних делова;
- Прецизније је одређен радни век транспортера;
- Резервни делови и интервали одржавања су узети у разматрање;
- Анализа је проширена убацивањем додатних компонената транспортера;
- Измењен је и побољшан начин моделирања слогова ваљака;
- Уведено је параметарско моделирање компонената транспортера базирано на њиховој маси.

3.1. Увод и опис

Анализиран је тракасти транспортер 2 – међутранспортер, на роторном багеру SchRs 1201, Слике 1.1 и 1.2. Ова анализа представља полазну тачку за формирање модела за спровођење формалне LCA студије, уз употребу SimaPro 8.0.4.7 програмског пакета [Goedkoop, 2013].

Претходно одређен радни век транспортера у [Đorđević, et al., 2015] је усклађен са радним веком лежја у трајању од 5 година, а функционална јединица је одређена као: „Транспорт 3465 m³/h лигнита“.

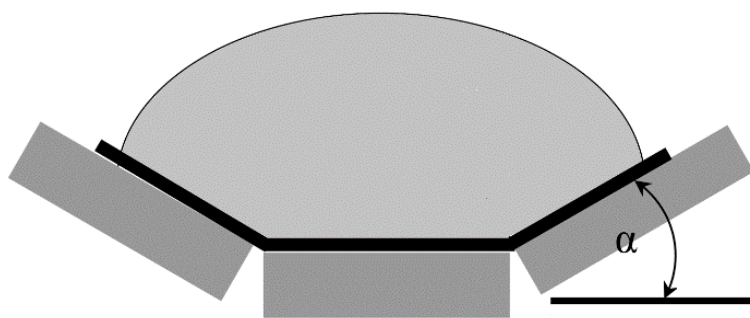
Сада је радни век транспортера редефинисан према реалној ситуацији и прецизније одређен у складу са [Bošnjak, et al., 2011] и [DIN 22261, 2016]. Радни век се састоји од периода иницијалне експлоатације у трајању од 30 година, праћен периодом од 1. године, предвиђеним за ревитализацију. Након ревитализације период експлоатације се продужава и креће се у распону од 20 до 25 година, уз фазу повлачења из употребе у трајању од 0,5 до 1. године. За потребе ове анализе

разматран је радни век од 30 година. Према [Durst & Vogt, 1988] и [Bošnjak, et al., 2012] тракасти транспортер на роторном багеру ради 18 часова дневно, 296 радних дана годишње, што даје укупно 5328 радних сати годишње.

У наставку су описане и све остале промене извршене на моделу представљеном у [Đorđević, et al., 2015], а које се односе на ваљке, добоше и ЕМ, као и додатна анализа затезног механизма и укључивање резервних делова.

3.1.1. ВАЉЦИ

На овом транспортеру примењена су три типа слогова ваљака, и то: пријемни слог ваљака, носећи слог ваљака и повратни слог ваљака. Пријемни слогови ваљака, као и носећи слогови ваљака, састоје се од по 3 ваљка димензија $\varnothing 159 \times 600$ mm, при чему је централни ваљак хоризонталан, а бочни ваљци су постављени под углом од $\alpha = 30^\circ$ у односу на хоризонталу и тако формирају жлеб, односно олучасти профил транспортне траке и повећавају капацитет транспорта, Слика 3.1.



Слика 3.1 – Олучасти (жлебни) профил траке

Изузетак представљају тзв. прелазни слогови, односно први и последњи слог у радној грани траке. Приликом преласка траке преко крајњег (затезног) добоша, она је равна. Након тога наилази на прелазни, пријемни слог, који се састоји из једног централног, пријемног ваљка, без бочних ваљака. Наредни пријемни слог се састоји из три ваљка, који формирају олучасти профил траке. Током преласка траке преко пријемних и радних носећих слогова, њиховим обликом се одржава олучасти профил траке, до последњег радног слога, који је такође прелазни слог и састоји се само од централног носећег ваљка. Након тога, равна трака наилази на погонски добош и прелази на нерадну грану. У нерадној грани, транспортна трака је равног профила и прелази преко повратних слогова ваљака, који се састоје од по једног повратног ваљка димензија $\varnothing 159 \times 1800$ mm. Пријемни слогови ваљака су опремљени гуменим дисковима (RD – Rubber Disc) и гуменим дистантним прстеновима (RR – Rubber Ring). Гумени дискови су испуњени ваздухом, слично аутомобилским пнеуматикама, и задатак им је да апсорбују ударе приликом насипања материјала на траку. Утицај динамичких оптерећења на слокове ваљака може бити значајно смањен пажљивим избором еластичних карактеристика компонената за пригушење удара на месту утовара и различитим конструкционим решењима тачака ослањања ваљака на носећу конструкцију, односно места вешања код висећих („Гарланд“) слогова [Furmanik, 2009].

Дистантни гумени прстенови постављени су између гумених дискова и омогућавају им исправан рад, односно угибање под теретом. Гумени дискови и дистантни прстенови су навучени на глатке носеће ваљке Ø159x600 mm. Слично је и са ваљцима повратних слогова, с тим што гумени дискови у овом случају немају амортизујућа својства (нису испунјени ваздухом), већ имају другу улогу – треба да обезбеде ефекат самочишћења траке и спрече формирање налепа. Код повратног слога, гумени дискови и прстенови су навучени на гладак ваљак Ø159x1800 mm.

Да би се спровела анализа, урађене су следеће претпоставке и упрошћења:

- сматра се да су сви слогови ваљака моделирани помоћу Ø159x600 mm глатких ваљака (SR1 – Steel Roller 1);
- повратни слогови, који су претходно били моделирани са три глатка ваљка и гуменим дисковима и прстеновима [Ђорђевић, et al., 2015], сада су прецизније моделирани као један глатки ваљак, параметарски скалиран на Ø159x1800 mm (SR2 – Steel Roller 2), при чему су скалиране само дужине осовине и плашта ваљка, док су сви остали делови идентични као код SR1;
- ваљци пријемног слога моделирани су са три SR1 ваљка, од којих је сваки опремљен гуменим дисковима и прстеновима;
- сматра се да су сви лежајеви ваљака котрљајни лежајеви типа 6310 С3, као у [Ђорђевић, et al., 2015]. Додатно је урађена упрошћена анализа лежаја и приказана у наставку у Потпоглављу 3.1.1.1;
- котрљајни лежајеви су у анализи разматрани као делови израђени доминантно од челика. Претходно спроведене упрошћене LCA анализе оправдале су овакву претпоставку. Овде презентована анализа је показала и да је најутицајнија фаза животног циклуса котрљајног лежаја његова фаза производње због великог броја производних процеса. Такође је установљено да подмазивање лежаја, односно лубрикант, није имао утицај на исход анализе, без обзира да ли је разматран у фази сировина или у фази употребе.

На транспортер је уграђено 6 слогова са по три пријемна ваљка и један пријемни слог са једним ваљком, што даје укупно 19 пријемних ваљака. Сваки пријемни ваљак састоји се од једног SR1 ваљка и 9 гумених дискова, при чему сваки гумени диск има масу $m_{RD} = 1,00$ kg. Уграђено је 5 носећих слогова са по 3 глатка ваљка и један прелазни глатки слог – ваљак, што даје 16 глатких носећих ваљака; као и 4 повратна ваљка. Сваки повратни ваљак састоји се од једног SR2 ваљка, 16 гумених дискова и 4 гумена прстена, при чему сваки гумени прстен има масу $m_{RR} = 0,20$ kg.

На основу ових претпоставки, сви слогови ваљака моделирани су са 39 глатких ваљака, 235 гумених дискова, 16 гумених прстенова и 78 кугличних лежајева, што представља стварни број кугличних лежајева ваљака. Ова анализа је прецизнија од претходне из [Ђорђевић, et al., 2015], у којој су разматрана 94 куглична лежаја. Код 4 од укупно 39 глатких ваљака, дужина плашта и осовине повећана је са 600 mm на 1800 mm.

Детаљни подаци о улазним параметрима за слокове ваљака приказани су у Табели 3.1 и Табели 3.2.

Табела 3.1. Делови од челика код ваљака

Део	Бр. комада	Маса по комаду	Укупна маса	Материјал	Класа материјала	Отпад	Отпад
		[kg]	[kg]			%	[kg]
SR1	35	15,900	556,500	Челик	III	10	55,650
SR2	4	36,700	146,800	Челик	III	10	14,680
Σ			703,300	Челик	III	10	70,330

Табела 3.2. Делови од гуме код ваљака

Део	Бр. комада	Маса по комаду	Укупна маса	Материјал	Класа материјала	Отпад	Отпад
		[kg]	[kg]			%	[kg]
Пријемни ваљак 9 x гумени диск	19	9,000	171,000	Гума	IV	10	17,100
Повратни ваљак 16 x гумени диск + 4 x гумени прстен	4	16,800	67,200	Гума	IV	10	6,720
Σ			238,200	Гума	IV	10	23,820

Лежајеви ваљака подмазују се уљем на бази литијума FOR LPD 2 (класа материјала V). Важно је напоменути да се мазиво узима у обзир или у фази сировина или у фази употребе, али не у обе фазе. У фази сировина, када се мазиво третира као део, његова количина износи 6,24 kg годишње. У фази употребе, количина мазира износи 0,021 kg по употреби (0,08 kg по лежају и укупно 78 лежајева).

3.1.1.1 Упрошћена анализа лежаја типа 6310 С3

Куглични лежај типа 6310 С3, масе 1,1 kg, састоји се из компонената приказаних у Табели 3.3.

Табела 3.3. Делови кугличног лежаја типа 6310 С3

Део	Бр. комада	Маса по комаду [kg]	Укупна маса [kg]	Материјал	Класа материјала
Спољашњи прстен	1	0,522	0,522	Хромирани челик	VI
Унутрашњи прстен	1	0,293	0,293	Хромирани челик	VI
Куглице	8	0,028	0,224	Хромирани челик	VI
Кавез	1	0,060	0,060	Месинг	VI

Све компоненте могу бити израђене од хромираног или нерђајућег челика, а кавез од челика или месинга. Било да је у питању високо-легирани челик, хромирани челик, нерђајући челик или месинг – класа материјала у ЕА је VI. Радни век износи 5 година, а функционална јединица је дефинисана као: „Пренос оптерећења од 65 kN

између обртних и фиксних делова при $8500 \div 13000 \text{ min}^{-1}$ (у складу са спецификацијом произвођача лежаја).

Спољашњи и унутрашњи прстен се производе:

- резањем;
- брушењем – уз употребу лубриканта на бази воде;
- полирањем помоћу лубриканта на бази уља;
- прањем у уљу и керозину.

Куглице се производе од челичне жице:

- одсецањем;
- ковањем у калупу;
- брушењем (у 4 фазе);
- термичком обрадом у електричној пећи и
- прањем.

Кавез се производи ковањем. Енергија потребна за производњу кавеза од месинга приближно је једнака оној за кавез од челика, Формула 3.1.

$$E_{\text{kav}} = \text{SEC} \cdot m_{\text{kav}} = 6,3 \cdot 0,06 = 0,378 \approx 0,4 \text{ MJ} \quad (3.1)$$

Све компоненте се склапају у готов лежај помоћу аутоматске машине за склапање, тестирање, контролу квалитета и ласерско брендирање. У Табели 3.4 дате су вредности специфичне енергије производње за одговарајуће процесе.

Табела 3.4. Специфичне енергије производње за одговарајуће процесе

Обрада/ процес	SEC				Извор / референца
	Челик	Хромирани челик	Нерђајући челик	Бакар/ месинг	
Резање	~7,6 MJ/kg	~7,1 MJ/kg	10÷11 MJ/kg	10÷11 MJ/kg	[Zrnić & Đorđević, 2012]
Ковање	~6,3 MJ/kg	~7,1 MJ/kg	5,8÷6,4 MJ/kg	5,3÷5,8 MJ/kg	[Zrnić & Đorđević, 2012]
Брушење	14÷68 W·s/mm ³	18÷82 W·s/mm ³	-	-	[Kalpakjian & Schmid, 2007]

Енергија производње спољашњег и унутрашњег прстена (E_{pr}) израчуната је за хромирани челик који је обрађен резањем и брушењем у 2. фазе. Приближно иста вредност се добија и за нерђајући челик. Количина материјала (отпад од резања) која је претрпела обраду резањем износи 10% од укупне масе спољашњег и унутрашњег прстена (0,0815 kg), [Kalpakjian & Schmid, 2007]. Запремина материјала (отпад од брушења) која је претрпела обраду брушењем износи 1% од укупне запремине спољашњег и унутрашњег прстена (1042,7 mm³), [Kalpakjian & Schmid, 2007]. За SEC код брушења је узета осредњена вредност од 50 MJ/kg.

$$E_{\text{pr}} = 2 \cdot E_{\text{brus}} + E_{\text{rez}} = 2 \cdot (50 \cdot 1042,7) \cdot 10^{-3} + 7,1 \cdot 0,0815 = 104,85 \text{ MJ} \quad (3.2)$$

За енергију производње куглица се такође добија приближно иста вредност за хромирани и за нерђајући челик. Одсецање и ковање у калупу је третирано као ковање прањено брушењем у 4 фазе. Запремина (1%) куглица која је претрпела обраду износи 285,4 mm³. Тада је енергија производње куглица:

$$E_{\text{kug}} = E_{\text{kov}} + 4 \cdot E_{\text{brus}} = 7,1 \cdot 0,224 + 4 \cdot (50 \cdot 285,4) \cdot 10^{-3} = 58,67 \text{ MJ} \quad (3.3)$$

Потребна енергија за производњу лежаја добија се из Формуле 3.4.

$$E = E_{pr} + E_{kug} + E_{kav} = 104,85 + 58,67 + 0,4 \approx 164 \text{ MJ} \quad (3.4)$$

Готов лежај се пакује у РЕ кесу и картонску кутију, маса 0,05 kg и 0,01 kg, респективно. У формулар ЕА за фазу производње у првој итерацији унето је следеће: енергија производње од 164 MJ, добијена у Формули 3.4, умерена потрошња додатне енергије (100%), количина отпада од челика у износу од 0,1 kg и количина отпада од месинга (за кавез) у износу од 0,01 kg, темељна сепарација материјала, производност већа од 100000 комада, велика количина штетних додатних и процесних материјала, мање од 10% екстерних делова и кратка удаљеност са које се они допремају. За транспорт је предвиђен превоз камионом од централне Француске до Лазаревца од неких 1500 km, уз употребу једнократног паковања. У фази употребе је предвиђено подмазивање лежаја количином од 0,000270 kg лубриканта FOR LPD 2 по употреби (0,08 kg расподељено на 296 употреба годишње). Као што је раније напоменуто, анализирање лубриканта било у фази сировина, било у фази употребе, даје исти резултат, односно не утиче на исход коначне анализе. Прва итерација претпоставља најнеповољнију опцију у ЕоL фази, односно одлагање свих компонената на депонију.

Овако унети подаци у првој итерацији резултују производом хибридног типа АВЕ. У наредним итерацијама вршена је оптимизација. Променом ЕоL опција којом се делови лежаја одређују за рециклажу, а делови паковања за одлагање на депонију, добија се хибридни тип производа АВ, код кога је смањен утицај последње фазе животног циклуса. Варирањем енергије производње лежаја на основу опсега SEC за брушење у границама $18 \div 82 \text{ W} \cdot \text{s} / \text{mm}^3$ и количином отпада од брушења од 1%, [Kalpakjian & Schmid, 2007], долази се до тога да је за енергију производње:

- $E \leq 80 \text{ MJ}$, производ типа А (доминантна фаза сировина);
- $E = 85 \div 170 \text{ MJ}$, производ хибридног типа АВ и
- $E \geq 175 \text{ MJ}$, производ типа В (доминантна фаза производње).

Дакле, кутлични лежај у зависности од машина и поступака који се користе у производњи, а на основу SEC опсега из [Kalpakjian & Schmid, 2007], може бити производ типа А, В или АВ. У складу са тим за унапређење еколошких карактеристика лежаја релевантне су ЕР стратегије S1, S3 и S4, видети Табелу 2.5 у Поглављу 2. Ова темељна анализа лежаја показала је и да је претходна претпоставка, са којом су вршене раније анализе, да се лежај може третирати као део израђен резањем од челика са 10% отпада у производњи, сасвим задовољавајућа и даје одговарајуће резултате у свеобухватнијој анализи.

3.1.2. ДОБОШИ

Овај транспортер се састоји од погонског и повратног добоша. Повратни добош има и функцију затезног добоша. Оба добоша су израђена од истих или сличних делова. Главна разлика међу њима је у маси. Погонски добош је приближно 2 пута тежи од затезног. Сходно томе, као у [Ђорђевић, et al., 2015], оба добоша су у моделу претстављена помоћу једног, који је 1,5 пута тежи од погонског добоша, Табела 3.5.

Табела 3.5. Подаци за добоше (нормирано према погонском добошу)

Део	Бр. комада	Маса по комаду	Укупна маса	Материјал	Класа материјала	Отпад	Отпад
		[kg]	[kg]			%	[kg]
Делови од челика	1,5	1252,000	1878,000	Челик	III	10	187,800
Делови од легираног челика	1,5	751,300	1126,950	Легирани челик	VI	10	112,695
Делови од гуме	1,5	157,370	236,055	Гума	IV	10	23,605

Лежајеви добоша медалирани су на исти начин као куглични лежајеви ваљака. Подмазују се мазивом FOR LPD 2. У фази сировина, количина мазива износи 4,095 kg годишње. У фази употребе, количина мазива износи 0,014 kg по употреби. Као и код ваљака, мазиво се узима у обзир само у једној фази – или у фази сировина или у фази употребе, али не у обе.

3.1.3. ТРАНСПОРТНА ТРАКА

Трака је трослојни равни композит који се састоји од 3 синтетичка вучна слоја, израђена од полиестера и полиамида, као и од гумених облога и међуслојева. У складу са тачнијим подацима добијеним од произвођача „Колубара Универзал“ измерена енергија производње ове конкретне транспортне траке износи:

$$E_{\text{trake}} = E_{\text{mix.}} + E_{\text{hom.}} + E_{\text{kal.}} + E_{\text{konf.}} + E_{\text{vulk.}} = 577 + 60 + 57 + 2,4 + 103 = 799,4 \text{ kWh} \approx 800 \text{ kWh} \quad (3.5)$$

при чему је укупна енергија добијена сабирањем енергије потребне за добијање основне гумене смесе у миксерском постројењу ($E_{\text{mix.}}$), њену хомогенизацију на двоваљцима ($E_{\text{hom.}}$), каландирање ($E_{\text{kal.}}$), конфекционирање ($E_{\text{konf.}}$) и вулканизацију у преси ($E_{\text{vulk.}}$). Миксер троши велике количине уља за подмазивање. За потребе производње основне гумене смеше за ову конкретну транспортну траку потроши се 0,833 l уља List 2 у виду процесног материјала.

На ово треба додати још енергију потребну за производњу синтетичког језгра траке ($E_{\text{jez.}}$) од полиестера и полиамида, која се добија на основу SEC хидрауличне машине за бризгање под притиском - $SEC_{\text{IM}} = 19 \text{ MJ/kg}$ [Thiriez & Gutowski, 2006] и масом језгра траке од 112,64 kg, Формула 3.6.

$$E_{\text{jez.}} = SEC_{\text{IM}} \cdot m_{\text{jez.}} = 19 \cdot 112,64 = 2140,16 \text{ MJ} \approx 2140 \text{ MJ} \quad (3.6)$$

Предвиђена количина отпада у производњи износи 10% масе готовог дела, односно 45,056 kg гуме и 11,264 kg полиестера и полиамида.

Сви остали подаци унети у формуларе ЕА, и сукцесивно спроведена оптимизација, идентични су презентованом у Поглављу 2.3. Измене у фази производње резултовале су тиме да је трака од производ хибридног типа АВ прешла у тип А, са једном главном стратегијом – S2, која се односи на редукцију употребе сировина.

3.1.4. ЕЛЕКТРИЧНИ МОТОР

Транспортер покреће електромотор (ЕМ) RZKT 280 М-4, номиналне снаге 110 kW и масе 630 kg. Подаци за анализу за његове главне компоненте прерачунати су, односно скалирани, у складу са [Ђорђевић, et al., 2015] и [Ђорђевић, et al., 2014c] и приказани у Табели 3.6.

Табела 3.6. Подаци за ЕМ RZKT 280 М-4

Део	Маса [kg]	Материјал	Класа материјала	Отпад %	Отпад [kg]
Намотаји и шипке кавеза	126,000	Бакар	V	10	12,600
Кућиште	189,000	Ливено гвожђе	IV	10	18,900
Делови од челика	315,000	Челик	III	10	31,500

3.1.5. ОСТАЛЕ КОМПОНЕНТЕ

Остале компоненте, чине:

1. погон (компоненте погона без ЕМ);
2. затезни механизам;
3. додатна опрема.

3.1.5.1 Остале компоненте – компоненте погона без ЕМ

Погон се састоји од ЕМ, редуктора, спојнице и добошасте кочнице. Једина компонента која користи електричну енергију за обављање своје функције је ЕМ. Због тога је ЕМ анализиран засебно у [Ђорђевић, et al., 2014c].

Упрошћена анализа редуктора

Редуктор транспортера ознаке ВКФ 320 и масе 900 kg је двостепени, конусно-цилиндрични, косозуби преносник. Функционална јединица редуктора дефинисана је као: „Остваривање и пренос обртног момента од 850 Nm”, за предвиђени радни век од 30 година.

Делови редуктора укључени у анализу:

- кућиште од ливеног гвожђа – масе 450 kg – добијено ливењем – отпад од ливења 10% [Kalpakjian & Schmid, 2007];
- излазна прирубница вратила од високо-легираног челика – масе 74 kg – добијена ковањем – отпад од ливења 20÷25% [Kalpakjian & Schmid, 2007];
- остале компоненте (зупчаници итд.) од челика – масе 376 kg – добијени резањем са 10% генерисаног отпада при производњи [Kalpakjian & Schmid, 2007];
- уље „Редуктол“ – 50 l (45 kg)
- паковање – дрвена еуро-палета масе 24 kg и дрвени сандук масе 40 kg.

Подаци за фазу производње приказани су у Табели 3.7

Табела 3.7. Подаци за производњу редуктора ВКФ 320

Део	Маса [kg]	Материјал	Класа материјала	Отпад %	Отпад [kg]
Кућиште	450,000	Ливено гвожђе	IV	10	45,000
Прирубница	74,000	Легирани челик	VI	20	14,800
Остале компоненте	376,000	Челик	III	10	37,600
Уље „Редуктол“	50,000	Минерално уље	V	-	-

Енергија производње редуктора дата је у Табели 3.8.

Табела 3.8. SEC и енергија производње редуктора

Материјал	Обрада/ процес	SEC [MJ/kg]	Извор / референца	Прерађени материјал [kg]	Енергија [MJ]
Челик	Резање	~7,6	[Zrnić & Đorđević, 2012]	37,600	285,760
Легирани челик	Ковање	~7,1	[Zrnić & Đorđević, 2012]	74,000	525,400
Ливено гвожђе	Ливење	3÷3,3	[Kalpakjian & Schmid, 2007]	450,000	1417,500
Σ					≈2230 MJ

У фази производње потрошња додатне енергије је умерена (100%), врши се сепарација материјала, производни капацитет се креће у опсегу 10-10000, потрошња опасних процесних и додатних материјала оцењена је као прилично велика, а проценат екстерних делова 10÷30%, при чему је удаљеност са које се они допремају кратка. Транспорт готовог редуктора се врши камионом од Смедеревске Паланке до монтажног плаца при површинском копу на удаљеност од око 75 km. Паковање се сматра једнократним. У фази употребе нема додатних материјала ни потрошње електричне енергије. На крају животног циклуса делови редуктора се рециклирају, паковање се одлаже на депонију, а уље редуктора се третира као опасан отпад.

Добијени резултат указује на то да је редуктор производ типа А – фаза сировина је најутицајнија, а главна стратегија за унапређење S2 – препоручује смањену употребу сировина. Ово је реалнији случај од наредног.

У случају да се у фази употребе дода потрошња „Редуктол“ уља количине 0,144 kg по употреби (што се добије када се количина уља у редуктору од 50 l расподели на 325 употреба годишње) и иста та количина као отпад у фази употребе, што би требало да симулира годишњу замену уља, редуктор постаје производ типа D, тј. фаза употребе постаје најзначајнија. Тада су главне стратегије за побољшање S12, S13 и S14, које се односе на остваривање еколошки безбедне употребе, смањење потрошње у фази употребе и избегавање отпада у фази употребе. Ниједан од наведених утицаја се не може избећи.

Упрошћена анализа спојнице

Спојница С 250-500-75-80, масе 20 kg, израђена је од челика резањем са 50% отпада у фази производње (на основу геометријских карактеристика спојнице и [Kalpakjian & Schmid, 2007]). Одатле се добија енергија производње спојнице $E_{\text{спој}} = 76 \text{ MJ}$. Транспорт подразумева превоз камионом на удаљеност 10÷20 km.

Упрошћена анализа добошасте кочнице

Добошаста кочница RT 500-0.3, масе 120 kg, израђена је од челика резањем са 10% отпада у фази производње [Kalpakjian & Schmid, 2007]. Њена енергија производње је $E_{\text{кош}} = 91,2 \text{ MJ}$. Транспорт подразумева превоз камионом од произвођача „Sibre“ у Немачкој са удаљености од око 1500 km и употребу еуропалете за паковање (24 kg).

3.1.5.2 Остале компоненте – затезни механизам

У сагласности са [CEMA Belt Book, 2007], постоје два основна типа затезних механизма који се користе код тракастих транспортера: ручни и аутоматски системи. Уобичајени ручни затезни механизми укључују:

- завојни механизам;
- завојни механизам са опругом;
- хидраулични механизам;
- ручни затезни механизам са скакавицом (чегртаљком) – ratchet – спречава кретање уназад, односно да се трака олабави када се престане са ручним затезањем;
- механизам са полугом (дизалицом, која може бити ручна или хидраулична) – jack-operated take-up devices.

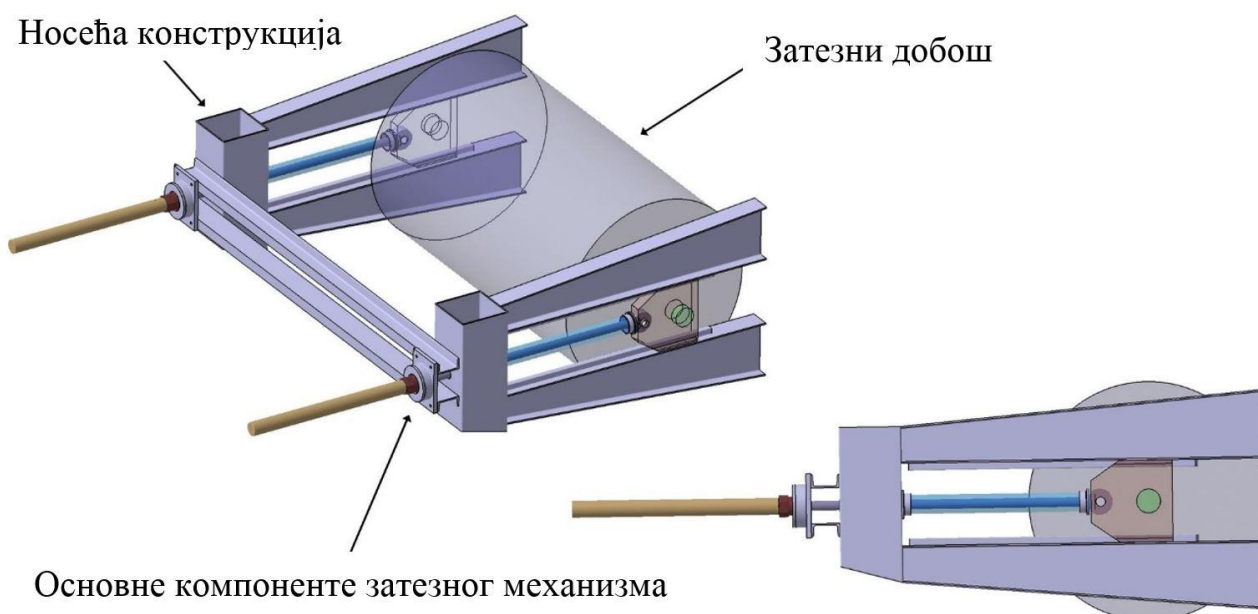
Постоје и затезни механизми хибридног типа, који су често конструкције са телескопирајућим цевима и укључују компресионе опруге и хидрауличне или пнеуматске системе. Аутоматски затезни механизми могу бити пасивни, као што је случај код гравитационих затезних механизма, или активни, са контролом силе затезања помоћу хидраулике, пнеуматике или електричних система. Најзаступљенији је гравитациони затезни механизам. Аутоматски затезни механизми такође могу бити хибридног типа, погођени компресионим опругама, хидрауличним телескопирајућим цевима или пнеуматским системима [CEMA Belt Book, 2007].

Са аспекта Екодизајна, постоје два основна типа затезних механизма:

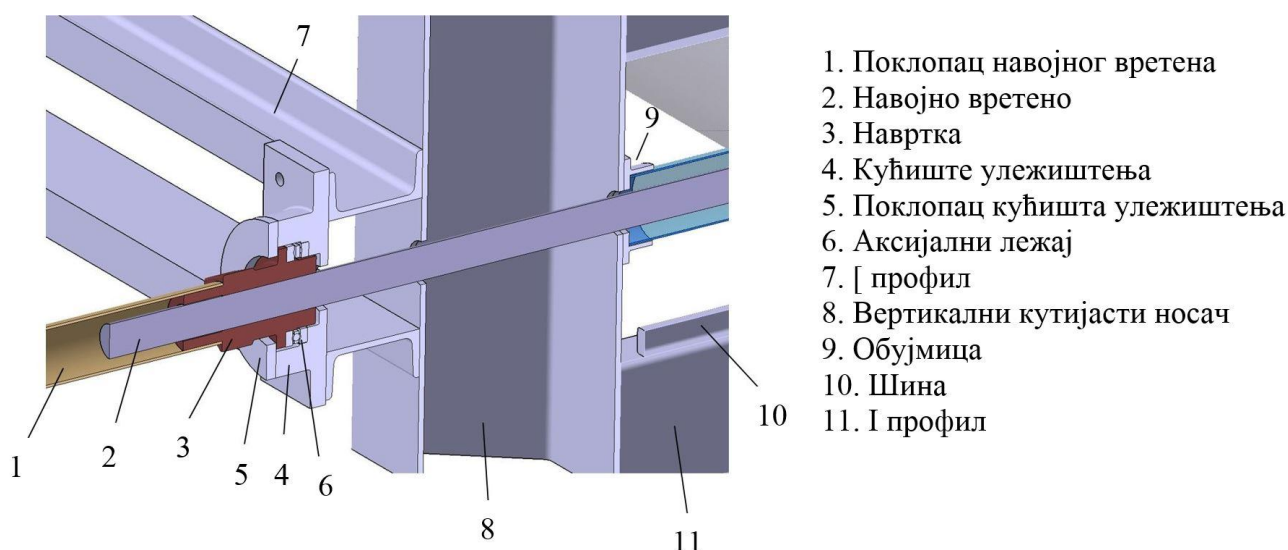
1. затезни механизми који троше неки вид енергије и
2. затезни механизми који не троше енергију.

Прва категорија затезних механизма може се третирати као део израђен доминантно од челика (или неког другог материјала) и произведен резањем са 10% генерисаног отпада у фази производње [Kalpakjian & Schmid, 2007]. За другу категорију треба размотрити врсту и количину енергије потребну за обављање функције. Одговарајућу количину енергије треба додати укупној потрошеној енергији у фази употребе.

На међутранспортеру је инсталиран ручни затезни механизам, са деловима приказаним на Сликама 3.2 и 3.3 и детаљима датим у Табели 3.9, [Jatić, 2025]. Детаљан прорачун масе отпада код производње делова затезног механизма дат је у [Jatić, 2025].



Слика 3.2 – Позиција затезног механизма [Јатић, 2025]



Слика 3.3 – Делови затезног механизма [Јатић, 2025]

Аксијални лежајеви затезног механизма моделирани су на исти начин као куглични лежајеви ваљака. Усваја се иста количина лубриканта по лежају као код лежаја типа 6310 (приближно су исте масе). Компоненте затезног уређаја транспортују се запаковане у дрвене сандуке укупне масе 62 kg, [Јатић, 2025], и транспортују до монтажног плаца на површинском копу, где се уграђују на роторни багер.

Прорачун енергије производње преузет је из [Јатић, 2025], у коме су усвојене конкретне машине и приказан детаљан прорачун. Компоненте су обрађене резањем, сечењем ласером и заваривањем, а преглед делова, поступака и енергије потребне за производњу дат је у Табели 3.9.

Табела 3.9. Делови затезног механизма [Јатић, 2025]

Део	Ком.	Маса по комаду	Укупна маса	Материјал	Класа материјала	Отпад	Е
		[kg]	[kg]			[kg]	[kWh]
Поклопац навојног вретена	2	4,363	8,726	Челик	III	-	0,185
Навојно вретено	2	14,445	28,890	Челик	III	18,678	39,431
Навртка	2	4,857	9,714	Челик	III	20,976	44,283
Кућиште улежиштења	2	12,672	25,344	Челик	III	8,738	18,450
Поклопац улежиштења	2	1,657	3,314	Челик	III	1,480	0,235
Аксијални лежај 51216	2	0,874	1,748	Челик	III	0,175	-
I профил	2	32,492	65,218	Челик	III	0,164	0,346
Кутијаста носач	2	33,349	66,698	Челик	III	0,724	0,626
Обујмица	4	1,148	4,592	Челик	III	0,706	0,648
Шина	4	8,405	33,620	Челик	III	0,148	0,312
I профил	4	35,691	142,764	Челик	III	-	2,204
Σ			388,914	Челик	III	49,872	106,720

Затезни механизам је производ типа А – најутицајнија је фаза сировина, и у складу са тим, главна стратегија за побољшање производа је стратегија S2, која препоручује смањење употребе сировина.

3.1.5.3 Остале компоненте – додатна опрема

Такође, плугови, чистачи и све остале додатне компоненте, које нису већ обухваћене анализом су груписане под додатном опремом. Са аспекта екодизајна, ове компоненте могу бити разврстане на иста два типа као и затезни механизми, у зависности од тога да ли троше или не троше неки вид енергије. Истоветним поступком анализиран је и левак са олуком.

Упрошћена анализа левка са олуком

Левак са олуком, масе 1950 kg, израђен је резањем од челичног лима са 10% отпада у производњи [Kalpakjian & Schmid, 2007]. Енергија производње левка са олуком износи $E_{lev} = 1482$ MJ. Транспорт подразумева превоз камионом на удаљеност 20 km.

3.2. Унос параметара и анализа помоћу ЕА

Као и код раније спроведених упрошћених LCA анализа [Ђорђевић, et al., 2013], [Ђорђевић, et al., 2014a], [Ђорђевић, et al., 2014b] и [Ђорђевић, et al., 2014c], цео транспортер је представљен помоћу група делова. Параметри за унос у формуларе ЕА дати су табеларно у наставку по фазама животног циклуса транспортера.

3.2.1. Фаза сировина

У складу са правилом одстрањивања (“cut-off” criterion) делови масе или производне енергије мање од 5% удела у укупној маси или енергији производње су

изостављени из анализе. Изузетак су опасне супстанце, односно супстанце које у малој количини могу значајно да утичу на животну средину, као што су лубриканти. Овакве супстанце морају ући у анализу без обзира на њихов масени или енергетски удео. Уље за подмазивање лежачева и уље редуктора разматра се као део у фази сировина, или као додатни материјал у фази употребе. Обе опције дају исти резултат.

Паковање свих делова транспортера је сумирано и представљено помоћу еуро палета и дрвених сандука. За прорачун је коришћена средња густина дрвета од 500 kg/m^3 и дебљина дасака од 30 mm. Употребљено је укупно 19 еуро палета масе по 24 kg и 607 kg дрвета за израду сандука за делове. Подаци потребни за моделирање транспортера у фази сировина, дати су у Табелама 3.10., 3.11 и 3.12.

Табела 3.10. Компоненте транспортера груписане према материјалу

Група делова	Број	Маса по делу [kg]	Маса [kg]	Материјал	Класа	Отпад [kg]
1. Ваљци						
Делови од челика SR1	35 ваљака	15,900	556,500	Челик	III	10% = 55,600
Делови од челика SR2	4 ваљка	36,700	146,800	Челик	III	10% = 14,680
Делови од гуме – приј. слог	19 ваљака	9,000	171,000	Гума	IV	10% = 17,100
Делови од гуме – повр. слог	4 ваљка	16,800	67,200	Гума	IV	10% = 6,720
Лубрикант: разматран у фази сировина разматран у фази употребе (kg по употреби)			6,240 0,021	Уље на бази литијума	V	
2. Добоши						
Делови од челика	1,5	1252,000	1878,000	Челик	III	10% = 187,800
Делови од легираног челика	1,5	751,300	1126,950	Легирани челик	VI	10% = 112,695
Делови од гуме	1,5	157,370	236,055	Гума	IV	10% = 23,605
Лубрикант: разматран у фази сировина разматран у фази употребе (kg по употреби)			4,095 0,014	Уље на бази литијума	V	
3. Трака						
Језгро	1	112,640	112,640	EP & PA	V	10% = 11,264
Облоге	1	450,560	450,560	Гума	IV	10% = 45,056
4. ЕМ						
Намотаји и шипке	1	126,000	126,000	Бакар	V	10% = 12,600
Кућиште	1	189,000	189,000	Ливено гвожђе	IV	10% = 28,900
Делови од челика	1	315,000	315,000	Челик	III	10% = 31,500
5. Остале компоненте						
Редуктор	1		900,000			
Кућиште	1	450,000	450,000	Ливено гвожђе	IV	10% = 45,000
Прирубница	1	74,000	74,000	Легирани челик	VI	20% = 14,800
Делови од челика	1	376,000	376,000	Челик	III	10% = 37,600
Уље: разматрано у фази сировина разматрано у фази употребе (kg по употреби)			50 l ≈ 45 kg 0,144	Уље на минералној бази	V	
Спојница	1	20,000	20,000	Челик	III	≈50% = 10,000
Добашаста кочница	1	120,000	120,000	Челик	III	10% = 12,000
Затезни механизам	1	461,128	461,128	Челик	III	10% = 46,113
Левак са олуком	1	1950,000	1950,000	Челични лим	IV	10% = 195,000

Табела 3.11. Компоненте транспортера у фази сировина

Компонента транспортера	Маса [kg]	Материјал	Класа
Делови од челика	3873,428	Челик	III
Делови од легираног челика	1200,950	Легирани челик	VI
Делови од гуме	924,815	Гума	IV
Делови од пластике	112,640	EP & PA	V
Делови од бакра	126,000	Бакар	V
Делови од ливеног гвожђа	639,000	Ливено гвожђе	IV
Делови од лима	1950,000	Челични лим (steel sheet)	IV
Лубрикант FOR LPD 2	10,495	База од литијума	V
Уље Редуктол	45,000	База од минералног уља	V
Компоненте паковања	Маса [kg]	Материјал	Класа
Еуро палете	456,000	Дрво	I
Дрвени сандуци	607,000	Дрво	I

Табела 3.12. Подаци за фазу сировина

	Отпад 10%	Отпад 10%	Отпад 10%	Отпад 10%	Отпад 10%	Отпад 50%	Отпад 10%	Отпад 10%	Отпад 10%				
	Ваљци	Добоши	Трака	ЕМ	Редуктор	Спојница	Добошаста кочница	Левак са олуком	Затезни механизам	Материјал	Класа материјала	Σ [kg]	Отпад [kg]
Делови од челика	703,300	1.878,000		315,000	376,000	20,000	120,000		461,128	Челик	III	3.873,428	395,343
Делови од легираног челика		1.126,950			74,000					Легирани челик	VI	1.200,950	120,095
Делови од гуме	238,200	236,055	450,560							Гума	IV	924,760	92,476
Делови од пластике			112,640							Полиестер & полиамид	V	112,640	11,264
Делови од бабра				126,000						Бакар	V	126,000	12,600
Делови од ливеног гвожђа				189,000	450,000					Ливено гвожђе	IV	639,000	63,900
Делови од челичног лима								1.950,000		Челични лим	IV	1.950,000	195,000
FOR LPD 2*	6,240	4,095							0,160	Литијумско базно уље	V	10,495 годишње	
FOR LPD 2**	0,021	0,014							0,00054	Литијумско базно уље	V	0,035 по употреби	
Уље за редуктор („Редуктол“)					45,000					Минерално базно уље	V	0,144 по употреби	

* Разматрано у фази сировина

** Разматрано у фази употребе

Унос података у ЕА формулар за фазу сировина у првој итерацији, приказан је на Слици 3.4.

ECODESIGN

PILOT

Assistant

INTRODUCTION

PILOT

ASSISTANT

Description
Raw Material ▶
Manufacture
Distribution
Product Use
End of Life
Result

Please indicate the parts and components of your product and its packaging.
If you need support in assigning the different materials to the appropriate class of materials, click the help-symbol next to the "Class" heading.

1. Product data

Product part	Mass [kg]	Material	Class ?
Delovi od celika	3873.428	Celik	III ▼
Delovi od legiranog celika	1200.950	Legirani celik	VI ▼
Delovi od gume	924.760	Guma	IV ▼
Delovi od plastike	112.640	Poliester i poliamid	V ▼
Delovi od bakra	126	Bakar	V ▼
Delovi od livenog gvozdja	639	Liveno gvozdje	IV ▼
Delovi od celicnog lima	1950	Celicni lim	IV ▼
FOR LPD 2	10.495	Ulje na bazi litijuma	V ▼
Reduktol	45	Mineralno ulje	V ▼
			▼
			▼
			▼
			▼
			▼
			▼

2. Product data

Part of packaging	Mass [kg]	Material	Class ?
Euro palete	456	Drvo	I ▼
Drveni sanduci/kutije	607	Drvo	I ▼
			▼
			▼
			▼

3. Does the Product contain parts that constitute a hazard to the environment at the end of life without expert disposal ("small quantities - great impact")?

yes ▼

Слика 3.4 Унос података за фазу сировина у првој итерацији

Лубриканти су разматрани у овој фази, јер спадају у категорију опасних материја, а када се уврсте као део производа у фазу сировина, тада се у ЕоЛ фази могу адекватно означити као опасне материје.

3.2.2. Фаза производње

Реалистичан сценарио за производњу компонената транспортера подразумева „прилично велико“ („rather much“) коришћење додатне енергије (200%), „детаљну сепарацију материјала“ („thorough separation of materials“) током производног процеса, „релативно велики“ („rather more“) унос помоћних и процесних материјала опасних по животну средину, уз 10÷30% „проценат екстерних делова“ („percentage of external parts“) и „релативно кратко“ („rather short“) растојање транспорта. Обим производње не утиче на резултат анализе. Растојање транспорта за екстерне делове (hauling distance) одређено је у складу са Табелом 2.1.

Потрошња електричне енергије за производњу транспортера израчуната је као што је приказано у [Ђорђевић, et al., 2013], [Ђорђевић, et al., 2014a], [Ђорђевић, et al., 2014b], [Ђорђевић, et al., 2014c], [Ђорђевић, et al., 2015] и [Јатић, 2025].

Енергија производње ваљака прерачуната је у складу са [Ђорђевић, et al., 2015]. За челичне делове ваљка типа SR1 енергија производње износи 49,2 MJ, а за ваљак типа SR2, износи 113,6 MJ. Сходно томе, енергија потребна за производњу челичних делова свих ваљака износи 2176,400 MJ, Табела 3.13.

Табела 3.13. Енергија производње за челичне делове свих ваљака

Делови од челика	SR1	SR2	
MJ/komad	49,200	113,600	
Број комада	35	4	
E_{SP} [MJ]	1722,000	454,400	2176,400

Делови ваљака од гуме производе се бризгањем под притиском (Injection Molding - IM), хидрауличном машином са SEC од 19 MJ/kg [Thiriez & Gutowski, 2006], тако да потрошена енергија за производњу 238,2 kg износи $E_{IM} = 4525,8$ MJ.

Укупна енергија производње ваљака, према Формули 3.7, износи:

$$E_{valjaka} = E_{SP} + E_{IM} = 2176,4 + 4525,8 = 6702,2 \text{ MJ} \quad (3.7)$$

Енергија производње за оба добоша износи 13794 MJ [Ђорђевић, et al., 2014a]. Детаљи прорачуна дати су у Табели 3.14. Специфична енергија потрошње (SEC) за обраду резањем и ковање преузета је из [Зрнић & Ђорђевић, 2012], а за заваривање челика из [Kalpakjian & Schmid, 2007]. Количина отпада у фази производње у складу са [Kalpakjian & Schmid, 2007] процењена је на 10% у односу на масу готовог дела.

Табела 3.14. Прорачун енергије производње погонског добоша

Материјал	Количина	Процес	SEC	Енергија[MJ]
Челик	1832512 mm ³	Заваривање	9,7 J/mm ³	17,80
Челик	116,8 kg	Резање	7,6 MJ/kg	887,68
Легирани челик	751,3 kg	Ковање	7,1 MJ/kg	5334,23
Гума	156,8 kg	Бризгање под притиском	19 MJ/kg	2979,20
			Σ	9218,91

Енергија производње за транспортну траку израчуната је у складу са [Ђорђевић, et al., 2014b] уз коришћење знатно прецизнијих података добијених од произвођача транспортних трака, фирме „Колубара Универзал“. Енергија за производњу гумених облога траке износи 800 kWh, а енергија потребна за производњу језгра траке износи 2140 MJ. Прорачун је детаљније приказан у Поглављу 3.1.3.

Пошто је ЕМ представљен са три главне компоненте у складу са [Ђорђевић, et al., 2014c], енергија његове производње израчуната је на следећи начин. Специфична потрошња енергије за производњу делова од ливеног гвожђа, ливење бакра под притиском и машинску обраду челика, као и утрошена термичка енергија [Ђорђевић, et al., 2014c], [Zrnić & Ђорђевић, 2012] и [Kalpakjian & Schmid, 2007], приказана је у Табели 3.15. За прорачуне су коришћене средње вредности.

Табела 3.15. Енергија производње за делове ЕМ

Компонента	Маса [kg]	SEC	Густина [kg/m ³]	Термичка енергија [MJ]
Делови од ливеног гвожђа	189,000	3 ÷ 3,3 [MJ/kg]	-	595,330
Делови од бакра	126,000	2,5 ÷ 2,7 [MJ/kg]	-	327,600
Делови од челика	31,500	2,7 ÷ 9,3 [J/mm ³]	7850	24,076
Σ				947,006

Енергије производње осталих компонената приказани су у Табели 3.16., а укупна енергија производње транспортера по компонентама у Табели 3.17. Специфична енергија производње за дате процесе преузета је из [Zrnić & Ђорђевић, 2012] и [Kalpakjian & Schmid, 2007]. Спојница ознаке C250-500-75-80 и добошаста кочница ознаке RT 500-0.3 израђене су резањем од челика са 10% генерисаног отпада у производњи [Kalpakjian & Schmid, 2007]. Усипни левак са олуком израђен је од челичног лима на исти начин.

Табела 3.16. Прорачун енергије производње осталих компонената

Део	Материјал	Маса [kg]	Процес	SEC	Енергија
Редуктор					
Кућиште	Ливено гвожђе	450,00	Ливење	3,15 J/mm ³	1417,50 MJ
Делови од челика	Челик	37,60	Резање	7,6 MJ/kg	285,76 MJ
Прирубница	Легирани челик	74,00	Ковање	7,1 MJ/kg	525,40 MJ
Спојница					
Делови од челика	Челик	10,0	Резање	7,6 MJ/kg	76,00 MJ
Добошаста кочница					
Делови од челика	Челик	12,0	Резање	7,6 MJ/kg	91,20 MJ
Левак са олуком					
Делови од лима	Челични лим	195,00	Резање	7,6 MJ/kg	1482,00 MJ
Затезни механизам					
Делови од челика	Челик	388,914	-	-	106,72 kWh

Табела 3.17. Енергија производње компонената транспортера

Компонента	Електрична енергија [kWh]	Термичка енергија [MJ]	Референца / извор
Ваљци		6702,200	-
Добоши		13828,365	[Dorđević, et al., 2015], [Dorđević, et al., 2014a]
Трака	800	2140,000	[Dorđević, et al., 2015], [Dorđević, et al., 2014b]
ЕМ		947,006	-
Редуктор		2228,660	[Dorđević, et al., 2015]
Спојница		76,000	[Dorđević, et al., 2015]
Добошаста кочница		91,200	[Dorđević, et al., 2015]
Левак са олуком		1482,000	[Dorđević, et al., 2015]
Затезни механизам	106,720		[Jatić, 2025]

Енергија потребна за производњу транспортера састоји се из електричне и термичке енергије. Удео термичке енергије се рачуна из израза 3.8, 3.9 и 3.10:

$$E_T = E_{valjci} + E_{doboši} + E_{IM, traka} + E_{EM} + E_{ostalo} = 6702,2 + 13828,365 + 2140 + 947,006 + 3877,86 = 27495,431 \text{ MJ} \quad (3.8)$$

где се под енергијом за производњу осталих компонената у овом случају подразумева:

$$E_{ostalo} = E_{reduktor} + E_{spojnica} + E_{kocnica} + E_{levak} = 2228,66 + 76 + 91,2 + 1482 = 3877,86 \text{ MJ} \quad (3.9)$$

$$E_{EI} = E_{EI, traka} + E_{zat. meh.} = 800 + 106,72 = 906,72 \text{ MJ} \quad (3.10)$$

Унос параметара у формулар за фазу производње приказан је на Слици 3.5.

Осим прорачуна потребне енергије производње, у првој итерацији, параметри у ЕА формулару за производњу, тј. другу фазу животног циклуса производа (али и у осталим ЕА формуларима), одабрани су на такав начин да ова иницијална итерација представља итерацију код које се остварује највећи штетни утицај на животну средину (worst case scenario).

Ова иницијална итерација је полазна основа, односно база за оптимизацију и унапређење производа, тј. еколошких перформанси тракастог транспортера. Сваком наредном итерацијом врши се оптимизација и спроводи анализа осетљивости, која нам показује критична места, односно „жарне“ тачке, које ће бити продискутоване у наставку приликом анализе резултата.

Description
Raw Material
Manufacture ▶
Distribution
Product Use
End of Life
Result

Please indicate data referring to the manufacture of your product.
 Again, you will get support by clicking the help-symbol next to the "Class" heading.

4. Energy input

Electric energy [kWh]

Thermal energy [MJ]

Overhead energy: Energy for heating, lighting, ... in addition to process energy

5. Waste per Unit

Waste	Mass [kg]	Material	Class ?
Otpad od celika	395.343	Celik	III ▼
Otpad od legiranog celika	120.095	Legirani celik	VI ▼
Otpad od celicnog lima	195.000	Celicni lim	V ▼
Otpad od gume	92.476	Guma	IV ▼
Otpad od plastike	11.264	Poliester i poliamid	V ▼
Otpad od livenog gvozdja	63.9	Liveno gvozdje	IV ▼
Otpad od bakra	12.6	Bakar	V ▼
			▼
			▼
			▼

Material

6. Production volume (Units/Pieces per Year)

7. Input of environmentally hazardous auxiliary and process materials per unit produced

8. Percentage of external parts

9. Hauling distance for external parts per unit

Слика 3.5 Унос података за фазу производње у првој итерацији

3.2.3. Фаза транспорта

Транспорт свих компонената транспортера обавља се камионима. Ваљке, добоше, спојнице, левке и олуке производи предузеће „Колубара-Метал“, чији се производни погон налази у близини површинског копа на коме се транспортер заправо користи. Удаљеност између ове две локације износи приближно 20 km. ЕМ се допрема из Суботице, која је удаљена 250 km од површинског копа. Редуктор производи предузеће „Гоша ФОМ“ из Смедеревске Паланке, удаљено око 75 km од копа. Добошаста кочница се увози из Немачке, при чему је растојање транспорта око 1500 km. Према томе, укупна транспортна удаљеност за све компоненте транспортера износи око 1845 km. Паковање је предвиђено за одлагање на депонију.

3.2.4. Фаза употребе

Употреба транспортера на годишњем нивоу одређена је у складу са [Durst & Vogt, 1988]. За обављање функције тракасти транспортер користи електричну енергију. Будући да је ЕМ једина компонента транспортера која троши електричну енергију, потрошња транспортера једнака је потрошњи ЕМ. Прорачуната потрошња ЕМ износи 1.980 kWh по употреби (тј. радном дану), али је због ограничења програмског пакета постављена на 1 MWh по употреби. Међутим, као што је већ напоменуто у претходном Поглављу, ова корекција не утиче на исход анализе.

Компоненте и делови транспортера се троше током фазе употребе, што захтева њихову замену (кроз резервне делове) или сервисирање. Одговарајућим концептом одржавања предвиђени су интервали сервисирања и предвиђена одговарајућа количина резервних делова. Међутим, у пракси је адекватно одржавање угрожено разним поремећајним факторима, међу којима су најзначајнији екстремно тешки услови рада, врста и карактеристике материјала који се транспортује, као и радна дисциплина. На основу разматрања ових фактора и података добијених од радника на одржавању ових система, у Табели 3.18 приказан је сценарио заснован на „најбољој процени“.

Табела 3.18. Резервни делови и интервали сервисирања

Део	Замена / интервал сервисирања
Добош	сваке 2. године
Слогови ваљака	сваке године
Пријемни слогови ваљака	сваке 1 ÷ 2 године
Трака	2 ÷ 3 године

Код разматрања ваљака, отказ кугличних лежајева јавља се 20 пута чешће него отказ плашта ваљака. Због тога је, у већини случајева, отказ ваљака последица отказа кугличних лежајева. Уље редуктора мења се једном годишње и разматра се у фази употребе. Укупна количина од 45 kg „Редуктол“ уља, колика је запремина резервоара, распоређена је на сваку појединачну употребу, односно подељена на 296 радних дана годишње.

Резервни делови разматрају се у фази употребе. Број нових делова једнак је броју рабљених делова који постају отпад, што значи да је улаз резервних делова по употреби исти као и количина отпада по употреби, како је приказано у Табели 3.19.

Било да се лубриканти разматрају у фази сировина или у фази употребе добија се исти резултат. Реалан случај је да се лубрикант FOR LPD 2, који се користи у кугличним лежајевима, разматра у фази сировина (лежајеви су затворени поклопцем и заптивени), док се уље за редуктор разматра у фази сировина и у фази употребе. У редуктору мора постојати уље за подмазивање при његовом раду – та количина се разматра у фази сировина. Уље редуктора се мења у предвиђеном сервисном интервалу, тако да се та количина уља додаје у фази употребе и третира се као резервни део. Уједно, иста количина рабљеног уља, која се замени новим уљем, постаје отпад.

Табела 3.19. Резервни делови/количина отпада на годишњем нивоу и по употреби

	Делови од челика		Делови од легираног челика		Делови од гуме		Делови од пластике		FOR LPD 2		Уље редуктора	
	kg/god.	kg/dan	kg/god.	kg/dan	kg/god.	kg/dan	kg/god.	kg/dan	kg/god.	kg/dan	kg/god.	kg/dan
Ваљци	552,250	1,866			152,700	0,516			4,720	0,016		
Добоши	939,000	3,172	563,500	1,904	118,000	0,399			2,047	0,007		
Трака					180,224	0,609	45,056	0,152				
Редуктор											45,000	0,152
Σ	1491,250	5,038	563,500	1,904	450,924	1,524	45,056	0,152	6,767	0,023	45,000	0,152

На Слици 3.6 приказан је унос параметара у формулар за фазу употребе.

ECODESIGN

online PILOT

INTRODUCTION

PILOT ASSISTANT

Assistant

Description Raw Material Manufacture Distribution **Product Use** End of Life Result

This form addresses data concerning the stage of product use.
Again, you will get support by clicking the help-symbol next to the "Class" heading.

12. Use frequency: uses per year

13. Input per use

Designation	Mass [kg]	Material	Class
Delovi od celika	5.038	Celik	III ▼
Delovi od legiranog celika	1.904	Legirani celik	VI ▼
Delovi od gume	1.524	Guma	IV ▼
Delovi od plastike	0.152	Poliester i poliamid	V ▼
Reduktol ulje	0.152	Mineralno ulje	V ▼
			▼
			▼
			▼

Electric energy input per use ("current from the wall socket"): [kWh]

14. Waste per use

Designation	Mass [kg]	Material	Class
Delovi od celika	5.038	Celik	III ▼
Delovi od legiranog celika	1.904	Legirani celik	VI ▼
Delovi od gume	1.524	Guma	III ▼
Delovi od plastike	0.152	Poliester i poliamid	V ▼
Reduktol ulje	0.152	Mineralno ulje	V ▼
			▼
			▼
			▼

15. Is the product a potential hazard to the environment if used inadequately or in the case of malfunctions? ▼

Слика 3.6 Унос података за фазу употребе у првој итерацији

3.2.5. EoL фаза

У првој итерацији сви материјали осим лубриканата су предвиђени за одлагање на депонију, Слика 3.7. Лубриканти су означени као опасан отпад (hazardous waste). Када су лубриканти разматрани у фази сировина, у EoL фази се могу означити као опасан отпад. У супротном не разматрају се у EoL фази. Реалистичан сценарио краја животног циклуса транспорера утврђен је након неколико итерација и дат је у Табели 3.20.

Табела 3.20. EoL опције

Део	EoL опција
Пластични делови и еуро-палете	Реупотреба (Reuse)
Лубриканти	Опасан отпад (Hazardous waste)
Остало	Рециклажа (Recycling)

ECODESIGN
online **PILOT**

INTRODUCTION @ ▲ ◀ ▶ ☰ ☱ ☲ ☳ ☴ ☵ ☶ ☷

PILOT ASSISTANT

Description Raw Material Manufacture Distribution Product Use **End of Life** ► Result

Please indicate how the product will be disposed of at the end of its service life.
The parts indicated here have been taken from the "Raw Material" form.

16. Product data

Product part	Mass [kg]	Material	Disposal ?
Delovi od celika	3873.428	Celik	landfill ▼
Delovi od legiranog celika	1200.950	Legirani celik	landfill ▼
Delovi od gume	924.760	Guma	landfill ▼
Delovi od plastike	112.640	Poliester i poliamid	landfill ▼
Delovi od bakra	126	Bakar	landfill ▼
Delovi od livenog gvozdja	639	Liveno gvozdje	landfill ▼
Delovi od celicnog lima	1950	Celicni lim	landfill ▼
FOR LPD 2	10.495	Ulje na bazi litijuma	hazardous waste ▼
Reduktol	45	Mineralno ulje	hazardous waste ▼

17. Packaging data

Part of packaging	Mass [kg]	Material	Disposal ?
Euro palette	456	Drvo	landfill ▼
Drveni sanduci/kutije	607	Drvo	landfill ▼

goto next form

Слика 3.7 Унос података за EoL фазу у првој итерацији

3.3. Резултати ЕА и дискусија – анализа осетљивости

Добар део ове анализе спроведен је у [Ђорђевић, et al., 2015] и [Ђорђевић, et al., 2024]. У првој и другој итерацији сви параметри унети у формуларе су бирани тако да резултирају највећим штетним утицајем на животну средину, Слика 3.8.

The screenshot displays the ECODESIGN PILOT Assistant interface. At the top, there is a navigation bar with 'INTRODUCTION' and 'PILOT ASSISTANT' tabs. The main content area is titled 'Description Raw Material Manufacture Distribution Product Use End of Life Result'. Under the 'Product' section, the following data is entered: Name: 'Trakasti transporter', Functional Unit: 'Transport 3465 m3/h lignita', Life Time: '30 years', and Use: '296 times per year'. The 'Classification' section states: 'The analysed product seems to be a basic type D, the phase 'use' is significant here.' The 'Recommendations' section lists strategies: (Main) Strategies with high priority: S12. [Ensuring environmental safety performance](#), S13. [Reducing consumption at use stage](#); (More) Strategies to be realized later: S10. [Optimizing product functionality](#), S14. [Avoidance of waste at use stage](#), S15. [Improving maintenance](#); (Other) Additional, recommended strategies: S4. [Optimizing type and amount of process materials](#), S5. [Avoiding waste in the production process](#), S6. [Ecological procurement of external components](#), S19. [Recycling of materials](#). A 'Save For Reenter' button is located at the bottom.

Product

Name: Functional Unit

Life Time: years

Use: times per year

Classification

The analysed product seems to be a basic type D, the phase 'use' is significant here.

Recommendations

We recommend the following improvement strategies. The listed strategies forward you to the checklists of the ECODESIGN PILOT.

(Main) Strategies with high priority:

- S12. [Ensuring environmental safety performance](#)
- S13. [Reducing consumption at use stage](#)

(More) Strategies to be realized later:

- S10. [Optimizing product functionality](#)
- S14. [Avoidance of waste at use stage](#)
- S15. [Improving maintenance](#)

(Other) Additional, recommended strategies:

- S4. [Optimizing type and amount of process materials](#)
- S5. [Avoiding waste in the production process](#)
- S6. [Ecological procurement of external components](#)
- S19. [Recycling of materials](#)

Слика 3.8 Резултат прве итерације – иницијални резултат (ИР)

Транспортер је производ који има највећи утицај у фази употребе (производ типа D). У поређењу са [Ђорђевић, et al., 2015], утицај фазе употребе је у овом случају још израженији, јер је ова анализа обухватила и резервне делове, њихову репарацију и замену, као и отпад који настаје током фазе употребе. У складу са тиме резултат прве итерације у оквиру секундарних стратегија садржи једну додатну – S14, која се односи на избегавање отпада у фази употребе. Она се јавља због тога што се сада разматрају и резервни делови.

У наредним итерацијама, параметри су варирани са циљем да се спроведе свеобухватна анализа што више категорија утицаја на животну средину и изврши оптимизација и унапређење еколошких перформанси тракастог транспортера, како би исти имао што мањи штетан утицај на животну средину.

Паковање је разматрано на исти начин у свакој од итерација.

Приликом разматрања да ли производ има делова који садрже опасне супстанце, постоје 3 опције за избор овог параметра:

1. да – има таквих делова (yes);
2. непознато (unknown);
3. не – нема таквих делова (no).

Избором једне од прве две опције добија се иницијални резултат, док се при избору треће опције губи стратегија S19 из списка додатних стратегија побољшања.

Оптимизација еколошких перформанси приказана је помоћу Табеле 3.21 у коју су унети параметри/задаци за сваки од формулара ЕА са понуђеним опцијама и помоћу Табеле 3.22 у којој су приказане спроведене итерације и како различите комбинације параметара утичу на резултат.

Табела 3.21. Параметри и опције за избор у оквиру ЕА формулара

Бр.	Задатак/параметар	Опција
Формулар фазе сировина		
1.	Део производа	
2.	Део паковања	
3.	Да ли неки део производа садржи опасне (штетне) супстанце (hazardous substances) ?	
3.1		Да
3.2		Непознато
3.3		Не
Формулар фазе производње		
4.	Количина додатне енергије (overhead energy)	
4.1		Велика – Rather much (200%)
4.2		Умерена – Moderate (100%)
4.3		Укључена у производњу – Included (0%)
5.	Отпад у производњи	
5.1		Одлагање на отпад (Unsorted to waste)
5.2		Сепарација отпада (Thorough separation of materials)
5.3		Парцијална рециклажа (Partial recycling of materials)
6.	Годишњи капацитет производње (Production volume)	
7.	Употреба/количина опасних (штетних) додатних и процесних материјала (Input of environmentally hazardous auxiliary and process materials)	
7.1		Много (More)
7.2		Релативно много (Rather more)
7.3		Релативно мало (Rather few)

7.4		Мало (Few)
8.	Проценат екстерних (готових) делова који се уграђују у производ (Percentage of external parts)	
8.1		Преко 60%
8.2		30% ÷ 60%
8.3		10% ÷ 30%
8.4		Мање од 10%
9.	Удаљеност са које се допремају екстерни делови по јединици производа (Hauling distance for external parts per unit)	
9.1		Дуга (Long)
9.2		Прилично дуга (Rather long)
9.3		Прилично кратка (Rather short)
9.4		Кратка (Short)
Формулар фазе транспорта (дистрибуције)		
10.	Просечан транспорт за дистрибуцију производа (Average transportation for product distribution)	
11.	Тип паковања	
11.1		Једнократно (Disposable)
11.2		Повратно (Returnable)
Формулар фазе употребе		
12.	Број употреба годишње (Use frequency per year)	
13.	Унос (додатног/процесног материјала) по употреби (Input per use)	
14.	Отпад у фази употребе (Waste per use)	
15.	Да ли је производ потенцијално опасан/штетан ако се користи на непримерен начин или ако се поквари ?	
15.1		Вероватно (Probable)
15.2		Мало вероватно (Improbable)
15.3		Немогуће (Impossible)
Формулар фазе краја животног циклуса (EoL)		
16.	Део производа	
16.1		Реупотреба (Reuse)
16.2		Рециклажа (Recycling)
16.3		Инсинерација (Incineration)
16.4		Одлагање на депонију (Landfill)
16.5		Опасан отпад (Hazardous waste)
17.	Део паковања	
17.1		Реупотреба (Reuse)
17.2		Рециклажа (Recycling)
17.3		Инсинерација (Incineration)
17.4		Одлагање на депонију (Landfill)
17.5		Опасан отпад (Hazardous waste)

Било каква промена капацитета производње нема никакав утицај на иницијални резултат.

Број екстерних делова има већи утицај од удаљености са које се они допремају. Пошто се, у овом случају, већина делова производи у фабрикама „Колубара Метал“ и „Колубара Универзал“, логичан избор за проценат екстерних делова је 30% ÷ 60% (опција 8.2) или 10% ÷ 30% (опција 8.3).

Табела 3.22. Приказ утицаја комбинације параметара у итерацијама на резултат

Ит. ¹	Комбинација параметара	Резултат
1	3.1 + 4.1 + 5.1 + 7.1 + 8.1 + 9.1 + 11.1 + 15.1 + 16.4 + 17.4	ИР
2	Ит.1 + 3.3	ИР – S19
3	Ит.1 + 4.2	ИР
4	Ит.1 + 5.2 (5.3)	ИР – S5
5	Ит.1 + 7.2 (7.3 или 7.4)	ИР – S4
6	Ит.1 + 8.2 (8.3)	ИР
7	Ит.1 + 8.4	ИР – S6
8	Ит.1 + 8.4 + 9.2 (9.3 или 9.4)	ИР – S6
9	Ит.1 + 9.2 (9.3 или 9.4)	ИР
10	Ит.1 + 11.2	ИР + S7
11	Ит.1 + 15.2	S12 у додатним стратегијама (More)
12	Ит.1 + 15.3	ИР – S12
13	Ит.1 + 16, 17 (EoL ₁) ² или (EoL ₂) ³	ИР – S19
16	Ит.1 + 5.2(5.3) + 7.2 + 8.3 + 9.3 + 15.2 + 16,17 (EoL ₂)	ИР – Other, S12 у додатним стратегијама (More)

¹ Ит. = Итерација

² EoL₁ = поновна употреба еуро палета (reuse), рециклажа металних делова, лубриканти су означени као опасан отпад, остали делови се одлажу на депонију

³ EoL₂ = поновна употреба еуро палета и пластичних делова (reuse), лубриканти су означени као опасан отпад, остали делови се рециклирају

Реупотреба пластичних делова подразумева да се врши регенерација транспортне траке. У том случају језгро траке се поново користи, а са дотрајале траке се стружу остаци гумених облога и наносе нове облоге. Сви делови од челика се рециклирају, као и делови од бакра и од гуме. Рециклирани делови од гуме дају гуму лошијег квалитета и користе се за производњу делова са мање захтевном класом квалитета. Избор било које опције за делове паковања (опција 17) не утиче на резултат. Реално је претпоставити да се еуро палете поново користе, а да се дрвени сандуци бацају. Лубриканти су разматрани као опасан отпад и морају бити специјално третиран.

Избор EoL опција, као што је приказано на Слици 3.9, даје сценарио са највећим штетним утицајем на животну средину (worst case scenario). Овакав избор утиче на резултат тако што S12 постаје једна од главних стратегија за побољшање производа. Најпожељније решење се добија комбинацијом опција 8.3+9.3 или 8.2+9.4 и адекватним начином одлагања.

ECODESIGN
online PILOT

INTRODUCTION
@ ▲ ◀ ▶ 🏠 📄 🖨

PILOT ASSISTANT

Assistant

Description Raw Material Manufacture Distribution Product Use **End of Life ▶** Result

Please indicate how the product will be disposed of at the end of its service life.
The parts indicated here have been taken from the "Raw Material" form.

16. Product data

Product part	Mass [kg]	Material	Disposal ?
Delovi od celika	3873.428	Celik	landfill ▼
Delovi od legiranog celika	1200.950	Legirani celik	landfill ▼
Delovi od gume	924.760	Guma	landfill ▼
Delovi od plastike	112.640	Poliester i poliamid	landfill ▼
Delovi od bakra	126	Bakar	landfill ▼
Delovi od livenog gvozdja	639	Liveno gvozdje	landfill ▼
Delovi od celicnog lima	1950	Celicni lim	landfill ▼
FOR LPD 2	10.495	Ulje na bazi litijuma	hazardous waste ▼
Reduktol	45	Mineralno ulje	hazardous waste ▼

17. Packaging data

Part of packaging	Mass [kg]	Material	Disposal ?
Euro palete	456	Drvo	landfill ▼
Drveni sanduci/kutije	607	Drvo	landfill ▼

goto next form

Слика 3.9. Сценарио са највећим штетним утицајем на животну средину (worst case scenario)

Последња итерација (Слика 3.10) представља реалистичан избор параметара и даје најбољи резултат у погледу утицаја на животну средину.

Assistant

Description Raw Material Manufacture Distribution Product Use End of Life **Result**

Product

Name:	Trakasti transporter	Functional Unit
Life Time:	30 years	Transport 3465 m3/h lignita
Use:	296 times per year	

Classification

The analysed product seems to be a basic type D, the phase 'use' is significant here.

Recommendations

We recommend the following improvement strategies. The listed strategies forward you to the checklists of the ECODESIGN PILOT.

(Main) Strategies with high priority:

S13. [Reducing consumption at use stage](#)

(More) Strategies to be realized later:

S10. [Optimizing product functionality](#)

S12. [Ensuring environmental safety performance](#)

S14. [Avoidance of waste at use stage](#)

S15. [Improving maintenance](#)

(Other) Additional, recommended strategies:

Слика 3.10 Резултат последње итерације – најбоље решење

Стратегија S13 има највећи утицај на животну средину и присутна је у свим итерацијама. Стратегије предложене у последњој итерацији ће бити размотрене у наредном поглављу уз предложена решења за побољшање еколошких перформанси тракастог транспортера.

3.4. Анализа помоћу ЕР

Последња итерација спроведена помоћу ЕА представља оптимизовано решење са најмањим утицајем тракастог транспортера на животну средину. Разматра се једна главна стратегија, S13 – Reducing consumption at the use stage – Смањење потрошње у фази употребе, следеће секундарне стратегије:

- S10 – Optimizing product functionality
Оптимизација функционалности производа;
- S12 – Ensuring environmental safety performance
Осигурање еколошки-безбедног рада;
- S14 – Avoidance of waste at use stage
Избегавање отпада у фази употребе;
- S15 – Improving maintenance
Побољшање одржавања;

и следеће додатне стратегије:

- S4 – Optimizing type and amount of process materials
Оптимизација типа и количине процесних материјала;
- S5 – Avoiding waste in the production process
Избегавање отпада у процесу производње;
- S6 – Ecological procurement of external components
Еколошка набавка екстерних делова;
- S19 – Recycling of materials
Рециклирање материјала.

3.4.1. S13 – Смањење потрошње у фази употребе

Смањење потрошње електричне енергије у фази употребе коришћењем ЕМ са већом енергетском ефикасношћу може значајно допринети смањењу утицаја на животну средину тракастог транспортера [Ђорђевић, et al., 2014c]. Лубриканти су разматрани као делови у фази сировина или као процесни материјал у фази употребе. Када су разматрани као процесни материјал, узето је у обзир да се генерише и отпад у производњи, јер количина новог лубриканта који се додаје по употреби, мења исту количину дотрајалог лубриканта који постаје отпад. Ова чињеница не утиче значајно на исход анализе, јер је тракасти транспортер свакако производ са највећим утицајем на животну средину у фази употребе. Разматрање лубриканата у виду процесних/додатних материјала у фази употребе уз додатак резервних делова само додатно повећава утицај фазе употребе.

Поред побољшања енергетске ефикасности, а имајући у виду да сваки облик трења или пригушивања представља губитак енергије, следи да свако смањење отпора кретању доприноси повећању ефикасности. Једно од могућих решења је употреба бољих лежајева (energy-saving bearings), којима се може побољшати енергетска ефикасност и смањити губици [Ђорђевић, et al., 2013].

Отпор услед набирања траке, односно локалне деформације површине траке на месту контакта са ваљцима и добошима (indentation rolling resistance), као и отпор савијању траке (flexure resistances) могу се редуковати адекватним избором

трансверзалне крутости траке, односно употребом тзв. енергетски-ефикасних трака (energy-saving belts) [Đorđević, et al., 2013]. Међутим, проблеми у вези са овим отпорима су од много већег значаја за транспортере дугих деоница. Код тракастих транспортера кратких деоница, који су предмет анализе, ови отпори имају мали утицај.

Утицај потрошње електричне енергије може бити смањен и успостављањем локалне електричне мреже која би се напајала из обновљивих извора енергије као што су соларна и еолска енергија – пример: 200 MW електричне енергије се у луци Роттердам добија од локално инсталираних ветротурбина [Đorđević, et al., 2015].

3.4.2. S10 – Оптимизација функционалности производа

Поузданост представља вероватноћу да ће производ обављати своју функцију под датим условима употребе у предефинисаном периоду времена без настанка квара [Đorđević, et al., 2015]. Поузданост у многостави зависи од одабране стратегије одржавања. Одговарајућа стратегија одржавања треба да обезбеди висок ниво поузданости [Đorđević, et al., 2014b], [Pantelić, 2009], [Pantelić, et al., 2011]. Употреба заштитних уређаја и механизма, као што су уређаји за спречавање преоптерећења, уређаји за чишћење траке (нпр. плутови), уређаји за центрирање траке и други слични уређаји доприносе повећању поузданости система.

Висока функционалност обезбеђује да производ исправно обавља своју функцију и кад услови рада нису оптимални. Будући да је транспортна трака најзначајнија компонента транспортера, употреба самоподесивих уређаја за њено чишћење, као што су плутови и чистачи са регулацијом контактеног притиска, остварује се висока функционалност траке и продужава њен радни век.

Сама транспортна трака је изузетно изложена трењу и прљању, односно стварању налепа. Осим уређаја за чишћење траке, спречавање формирања налепа на траци може се постићи употребом тзв. „самочистећих“ ваљака (self-cleaning rollers), односно ваљака опремљених гуменим дисковима (данас је то уобичајена пракса у повратној грани траке), спиралним ваљцима, као и употребом трака са адекватним квалитетом површине, на којој се налеп теже формира. Пожељно је истражити различите врсте материјала, као што су био-полимери и други материјали са добрим антифрикционим особинама (anti-friction) и материјали за које се тешко лепи транспортовани материјал (dirt/sticky repellent material), како би се они користили за формирање површинског слоја траке, који је у контакту са транспортованим материјалом [Đorđević, et al., 2014b]. Тиме би се олакшало чишћење и смањила подложност заправању траке, односно формирању налепа.

3.4.3. S12 – Осигурање еколошки-безбедног рада

Минимизирање ризика од оштећења животне средине у случају квара у фази употребе мора се узети у обзир кроз безбедан и здрав рад, предвиђање могућих грешака у експлоатацији и ангажовање адекватних система заштите (нпр. безбедносни системи који задржавају цурење помоћних и процесних материјала). Количина и врста опасних материја садржаних у производу треба да буду назначене

[Wimmer, et al., 2000]. Ове супстанце треба да буду идентификоване и јасно обележене, као и да постоје утврђене процедуре у случају незгода, као и начини њиховог одлагања и поступци рециклаже.

Замена помоћних и процесних материјала обновљивим доприноси одрживом развоју. Типична маст за подмазивање се састоји од базног уља, згушњивача и адитива. Лубрикант на бази минералног уља може се заменити истим на бази биљног уља, јонске течности или синтетичког естара, што може резултирати сличним или чак бољим триболошким, као и бољим еколошким својствима у исто време [Ђорђевић, et al., 2013], [Sukirno, et al., 2009], [Barriga, et al., 2006] и [Reeves, et al., 2012].

3.4.4. S14 - Избегавање отпада у фази употребе

Ова стратегија препоручује затварање циклуса материјала у фази употребе. То је већ поменуто и добрим делом испуњено, јер се врши реупотреба, репарација и рециклажа ваљака и добоша, као и рекондиционирање траке. Имајући у виду резервне делове и лубриканте, избегавање и смањење количине отпада у фази употребе може се сагледати и кроз продужење радног века компонената, а то се опет постиже применом одговарајућих стратегија одржавања, употребом бољих компонената, унификацијом итд. Редукција емисија, будући да већина потиче од производње електричне енергије, може се постићи употребом обновљивих извора енергије на локацији (onsite).

3.4.5. S15 – Побољшање одржавања

Као што је већ наведено код унапређења функционалности транспортера, олакшано чишћење и смањена подложност запрљавању траке побољшале би функционалност транспортера. На тај начин уједно би било олакшано и одржавање.

Трака може бити опремљена одређеним индикаторима или маркерима, како би се могла пратити њена истрошеност и предвидети њен преостали рани век [Ђорђевић, et al., 2014b]. Радни век транспортера може бити продужен избором одговарајућег концепта и интервала одржавања, као и конструисањем компонената на такав начин да оне подложне (или изложене) трењу и трошењу буду једноставно замењиве, или да се могу репарирати. Ово је делимично испуњено тиме што се ваљци, односно слогови који су стигли у своју EoL фазу регенеришу и репарирају [Ђорђевић, et al., 2013]. Најчешће је код њих у питању замена дотрајалих лежајева, ређе репарација потрошеног плашта (однос ових врста отказа је приближно 1:20). Код дефинисања интервала одржавања, пожељно је дефинисати униформне интервале одржавања за већи број компонената. На тај начин се смањује време застоја предвиђено за сервисирање (односно има мање планираних застоја) и повећава се продуктивност. Реупотреба и репарација делова омогућава да они задрже високу резидуалну вредност и да се затвори циклус рециклаже. Међутим, дефинисање интервала одржавања и замене делова веома је изазовно, или готово немогуће, због бројних поремећајних фактора, као што су тешки радни услови, врста материјала који се транспортује, радна дисциплина итд.

Код одржавања транспортне траке, у случају гумене транспортне траке са вучним слојевима од челичне ужади, њено стање може бити дијагностиковано и применом уређаја за неструктивну инспекцију, као што су скенери за неструктивну анализу транспортних трака са челичном ужади, који раде на принципу вртложних струја и могу детектовати прекиде ужади, спојеве, чак и корозију. Међутим, употреба скупе опреме мора бити оправдана. Уградња сензора и уређаја који могу спречити кварове, критична стања, резонантне режиме и сличне ситуације може бити корак у правом смеру.

Када се ради о одржавању ЕМ, главни проблем који се може јавити је прегревање. Решење може бити употреба заштитних уређаја против прегревања, као и адекватно изабран фактор снаге, односно преоптерећења ЕМ, као што је описано у [Ђорђевић, et al., 2014c].

Стање лежајева може бити надгледано праћењем температуре уз употребу сензора (RTD) [Ђорђевић, et al., 2014c], [CEMA Belt Book, 2007]. Имплементација система за праћење вибрација је још један начин да се унапреди систем одржавања.

3.4.6. Допунске стратегије: S4, S5, S6 и S19

Потрошња процесних и додатних материјала у фази производње може бити редукована затварањем циклуса материјала. То може бити остварено рециклажом расхладних течности, лубриканата и процесне воде. Њихов утицај на животну средину може се смањити и употребом обновљивих материјала (нпр. употребом EAL лубриканата) и избегавањем употребе токсичних супстанци. Њих такође треба заменити алтернативним супстанцама где год је то могуће. Међутим, ако то није могуће, неопходно је адекватно обележити такве супстанце и према њима поступати сходно важећој регулативи [Ђорђевић, et al., 2014b].

Производња гуме подразумева примену „прљавих“ технологија. Ради умањења штетног утицаја таквих технологија на животну средину треба размотрити примену технологија са нижом емисијом штетних гасова у фази производње, као и употребу одговарајућих филтера.

Да би се смањила количина генерисаног отпада у фази производње треба ефикасно користити ресурсе, нпр. добрим димензионисањем делова (без предимензионисања – значи мање потребних сировина), рециклажом отпада у производњи итд. Уопштено, мање генерисаног отпада води ка мањим потребама за сировинама, а самим тим смањују се утицаји на животну средину, што путем очувања ресурса, што од избегавања емисија и генерисања отпада приликом њихове производње.

Затварањем циклуса материјала у производњи сепарацијом и прикупљањем отпада на извору (у производњи) доприноси се одрживом развоју. Сепарација материјала је предуслов за рециклажу и реупотребу, било да се ради о поступку који се спроводи на месту производње (in-house recycling) или у рециклажним постројењима (external recycling/reuse of materials). У одређеним случајевима довољан допринос представља и сама сепарација на извору на класе материјала. Рециклажа на месту производње редукује трошкове транспорта у односу на екстерну рециклажу и одлагање на депонију. Регенерација траке повећава постотак

реупотребе и рециклаже отпада. Састругана отпадна гума може се користити за мање захтевну намену у погледу квалитета, нпр. за производњу гумених дискова и прстенова за самочистеће ваљке или другу гумено-техничку робу. „Колубара Универзал“ регенерише рабљене транспортне траке код којих је језгро употребљиво, а поред тога не генерише отпад у производњи гумене смесе, јер се сва неупотребљена количина враћа поново у производњу гумене смесе или се користи за производњу гумено-техничке робе. Рабљена трака чије језго је превише оштећено не може бити регенерисана, долази до своје EoL фазе и одлаже се на депонију. Проблем отпадних транспортних трака, слично отпадним пнеуматичима, није адекватно решен. Преостала отпадна гума може се самлети у регенерат, мрве или прах и користити у разне намене као што је наведено у [Zrnić & Đorđević, 2012]. Отпадна ужад код трака са челичном испуном, може се рециклирати, а отпадни текстил код трака са текстилном испуном, може се спалити са повратом енергије. Међутим, наведено је додатно усложњено чињеницом да транспортна трака представља вишеслојни композит, чија је прерада и рециклажа технолошки сложена.

Локално доступне сировине уз комбинацију са еколошки прихватљивим видовима транспорта (нпр. железницом или баржама уместо друмског саобраћаја) смањују утицај транспорта на животну средину. Ово се додатно може поспешити и производњом екстерних делова у локалу (околини).

Унификацијом делова се поједностављује монтажа и демонтажа, као и одржавање, обезбеђује снабдевање резервним деловима и олакшава регенерација и реупотреба делова и компонената. Ово се у доброј мери може постићи модуларним приступом и употребом стандардизованих делова и компонената, као што су слогови, ваљци, лежајеви итд. Код тракастих транспортера ово је иначе уобичајена пракса.

3.4.7. Додатне препоруке

Смањење укупне потрошње енергије у оквиру производног постројења може се остварити на основу анализе токова енергије и трошковима са тим у вези, употребом савремених машина, које су више енергетски-ефикасне, реупотребом отпадне топлоте, избегавањем или изменом поступака са вишеструким процесима грејања и хлађења, употребом комбинованих топлотних и енергетских постројења (CHP – Combined Heat and Power plants) итд. [Đorđević, et al., 2014b]. Као пример може послужити „Колубара Универзал“, која део прегрејане паре добија од оближње трермолектрране „Колубара“.

3.5. Закључак

Одговарајући концепт одржавања, праћен употребом опреме за недеструктивну анализу и праћење радних услова, као што је вибро-дијагностика или термографија, затим примена поступака рекондиционирања и замене конвенционалних материјала обновљивим значајно доприноси одрживом развоју. Анализа токова енергије, употреба енергетски-ефикасних ЕМ, употреба квалитетнијих, енергетски-ефикасних, лежајева и транспортних трака, као и употреба обновљивих извора енергије, може значајно смањити потрошњу електричне енергије. Иако то повећава почетну инвестицију, највећа уштеде енергије може се постићи употребом енергетски најефикаснијег ЕМ доступног на тржишту. Употреба самочистећих ваљака, самоподесиве опреме и развој нових материјала са бољим анти-фрикционим карактеристикама и бољом отпорношћу према формирању налепа, као и унапређење одржавања може значајно продужити радни век транспортера. Отпад који настаје током фазе употребе додатно повећава утицај ове фазе. Приликом разматрања фазе краја животног циклуса доступно је више еколошки прихватљивих опција. Неке од њих већ су примењене у концепту одржавања транспортера. На пример, плаштови ваљака се репарирају и поново користе или рециклирају, добоши се репарирају, а оштећени гумени делови се рециклирају или користе за мање захтевне намене. Тако се постиже затварање циклуса материјала уз примену регенерације и рециклаже, као и редукација транспорта услед примене рециклаже у оквиру производног постројења и локалне производње екстерних делова.

4. LCA АНАЛИЗА КОМПЛЕТНОГ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА

Треба имати на уму да упрошћене анализе не обезбеђују свеобухватност и прецизност у процени утицаја на животну средину, обзиром на то да одређени аспекти анализираног система нису погодни за упрошћене приступе. Тада је неопходно применити методу оцењивања животног циклуса производа која омогућава квантитативно сагледавање и поуздану процену утицаја на животну средину.

У овој фази истраживања је спроведена LCA анализа употребом SimaPro 8.0.4.7 програмског пакета и Ecoinvent 3.1 базе података [Ђорђевић, et al., 2026]. Анализа је параметарска и представља окосницу за формирање методологије за LCA анализе тракастих транспортера кратких деоница, односно базу на коју се методологија надограђује.

Анализа разматра фазу сировина, производне процесе и технологије, транспорт, фазу употребе транспортера, заједно са резервним деловима и концептом, односно стратегијама одржавања. У фази транспорта, прорачун је базиран на удаљености фабрика добављача од површинског копа на коме се роторни багер користи. Паковање није посебно разматрано. Задржана је подела на 5 категорија главних компонената, као код упрошћених анализа. Раније спроведене LCA анализе појединачних компонената, као што је анализа котрљајног лежаја [Ђорђевић, et al., 2019], интегрисане су у ову анализу у виду поданализа. За моделирање ваљкастих лежајева, који се уграђују у добоше, употребљена је анализа кугличних лежајева уз извршене модификације и скалирање параметара на одговарајуће вредности.

4.1. Анализиране компоненте комплетног транспортера

Комплетна анализа се састоји од следећих поданализа/елемената:

- куглични, котрљајни лежај 6310 C3 (ball bearing);
- носећи ваљак (roller - carrying);

- пријемни ваљак (roller - impact);
- повратни ваљак (roller - return);
- добоши (pulleys);
- електромотор (electric motor - EM);
- трака (belting или conveyor belt);
- редуктор (gearbox - other parts);
- спојница (coupling - other parts);
- добошаста кочница (drum brake - other parts);
- левак и олука (chute - other parts);
- затезни механизам (take-up device - other parts) (додато у односу на [Đorđević, et al., 2026]);
- лубрикант / уље редуктора (lubricant oil - gearbox oil - changed every year) - фаза употребе;
- годишња потрошња електричне енергије ЕМ - фаза употребе.

Унос параметара у програмски пакет је приказан на Слици 4.1. Код уноса компонената су урачунати и резервни делови.

Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste Category	Comment	
BC PRODUCTION per piece & USE per processes	1	p	Amount	100 %	Others		
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 Min	Max	Comment	
Roller (carrying)	32	p	Undefined				
Roller (impact)	38	p	Undefined				
Roller (return)	8	p	Undefined				
Pulleys	1.5*0.5+1.5 = 2.25	p					
EM RZKT 280 M-4 (electric motor)	1	p	Undefined				
Belting per 1 m	16*1.5 = 24	m					
Gearbox	1	p	Undefined				
Coupling C250-500-75-80	1	p	Undefined				
Drum brake RT 500-0.3	1	p	Undefined				
Chute	1	p	Undefined				
Lubricant oil (1)	50	l	Undefined				
EM electricity consumption per year	1	p	Undefined				
Take-up device	1	p	Undefined				
(Insert line here)							

Слика 4.1 Параметризован унос података за производњу и употребу транспортера

Сваки процес је параметризован и нормиран у односу на одговарајућу јединицу, односно референтну вредност. Тако је унос података за ваљке нормиран у односу на један комад, а број комада је одређен укупном количином која укључује и резервне делове. Добоши су такође нормирани у односу на 1 комад уз урачунат унос резервних делова (односно сервисирање добоша). Транспортна трака је нормирана на 1 m дужине, а укупна количина је одређена укупном дужином траке и податком да се трака мења на 2-3 године. Сходно томе усвојено је да се дужина од 16 m множи коефицијентом 1,5. Лубрикант је нормиран према 1. литру. Укупно 45 kg лубриканта је еквивалентно количини од 50 l.

Параметризација процеса омогућава једноставне модификације система простим изменама броја делова, дужине одговарајућих компонената или количине. Тако се мењају границе система и формира потпуно нови систем за анализу.

У фази употребе транспортеру су за обављање функције неопходни лубриканти, електрична енергија и резервни делови, Слика 4.2. У поље за коментар унети су интервали одржавања.

Поданализе које су имплементирани у комплетну анализу, биће редом презентоване у наредним потпоглављима.

Documentation Input/output Parameters System description							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste Category	Comment	
BC USE	1	year	Time	100 %	Others	mass per 1 piece is 7100 kg i.e. = 7.1 t	
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Roller (carrying)	16	p	Undefined			REPLACEMENT: every year	
Roller (impact)	19	p	Undefined			REPLACEMENT: every year	
Roller (return)	4	p	Undefined			REPLACEMENT: every year	
Pulleys	1.5*0.5 = 0.75	p	Undefined			REPLACEMENT: every 2 year	
EH RZKT 280 M-4 (electric motor)	0	p	Undefined				
Belt per 1 m	16*0.5 = 8	m	Undefined			REPLACED: 2-3 years	
Gearbox	0	p	Undefined				
Lubricant oil (l)	50	l	Undefined			from Gearbox USE	
Coupling C250-500-75-80	0	p	Undefined				
Drum brake RT 500-0.3	0	p	Undefined				
Chute	0	p	Undefined				
Take-up device	0	p	Undefined				
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	1980*296 = 5.86E5	kWh				1980 kWh per use (day) Total usage per year: 296 days	

University of Belgrade 08 | R.0.4.7 PhD

Слика 4.2 Параметризован унос података за фазу употребе транспортера

4.1.1. Куглични лежај 6310 С3

Анализа лежаја типа 6310 С3 спроведена је за један комад, односно јединицу. Разматрани елементи који улазе у анализу представљени процесима датим у оквиру програмског пакета су:

- corrugated board box {GLO} - кутија од таласастог картона;
- carton board box production, with offset printing {GLO} - производња кутије од картона са штампом;
- lubricating oil {GLO} - лубрикант;
- steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} - вруће ваљани легирани челик (хромиран) - за куглице и котрљајне стазе;
- chromium steel removed by turning, average, conventional {GLO} - хромирани челик уклоњен конвенционалном обрадом резањем - производња куглица и котрљајних стаза;
- chromium steel removed by milling, average {GLO} - хромирани челик уклоњен брушењем – производња куглица и котрљајних стаза;
- forging, steel {GLO} – ковање челика – производња куглица и котрљајних стаза;

- kerosene {Europe without Switzerland} – керозин за чишћење делова током производње;
- laser machining, metal, with YAG-laser, 30W power {CA-QC} – ласерско означавање/брендирание лежачеја;
- transport, freight, lorry > 32 metric ton, EURO3 {GLO} - транспорт, и
- electricity, medium voltage {RS} – електрична енергија потребна за рад машине при аутоматском склапању и инспекцији лежачеја и за термичку обраду.

Додатно, процес „vegetable oil, refined {GLO}“ доступан је у бази података Ecoinvent 3.1 и сматра се алтернативом са мањим утицајем на животну средину у односу на стандардне лубриканте [Ђорђевић, et al., 2013], [Sukirno, et al., 2009], [Barriga, et al., 2006] и [Reeves, et al., 2012].

Терминологија која се користи прати тачне називе процеса како су дефинисани у софтверу ради јасноће и доследности при уносу и анализи података.

Количине материјала, транспорта и енергије унете у програмски пакет одређене су прорачунима у складу са [Ђорђевић, et al., 2019], Слика 4.3.

Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Ball Bearing 6310	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	m = 1.1 kg (skf)
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max		Comment
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max		Comment
Corrugated board box {GLO} market for corrugated board box Alloc Def, U	0.05	kg	Undefined				Packaging material
Lubricating oil {GLO} market for Alloc Rec, U	0.21	kg	Undefined				Lubrication of ball bearing. Assumed to be 100g + Oil for grinding and quenching of raceways and balls
Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} market for Alloc Def, U	1	kg	Undefined				Raceways and balls m=0.8+0.2=1.0 kg
Kerosene {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	0.11	kg	Undefined				
Vegetable oil, refined {GLO} market for Alloc Def, U	0	kg	Undefined				EAL version for lubrication
Carton board box production, with offset printing {GLO} market for Alloc Def, U	0.29	kg	Undefined				Production of 50 g cardboard box
Chromium steel removed by turning, average, conventional {GLO} market for Alloc Def, U	0.43	kg	Undefined				Machining = 10-60% scrap (13) middle value = 35% which is 0.43 kg (both raceways)
Chromium steel removed by milling, average {GLO} market for Alloc Def, U	0.29	kg	Undefined				Grinding - raceways - assumed 10% scrap (13) - both raceways (m = 0.8 kg) - amount = 0.09 kg balls - assumed 50% scrap (13) (m = 0.2 kg)
Forging, steel {GLO} market for Alloc Def, U	1.337	kg	Undefined				Steel wire cutting and die-punching processes are replaced by forging - balls m = 0.2 kg - 20-25% scrap (13) - amount = 0.27 kg + Forging - raceways m = 0.8 kg - 20-25% (13) gives amount of 0.067 kg
Laser machining, metal, with YAG-laser, 30W power {CA-QC} laser machining, metal, with Y	0.0014	hr	Undefined				Laser marking - duration 5 s = 5/3600 h = 0.0014h - the least power laser
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 {GLO} market for Alloc Def, U	0.575	tkm	Undefined				m = 1.15 kg, L = 500 km
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max		Comment
Electricity, medium voltage {RS} market for Alloc Def, U	0.376	kWh	Undefined				Automatic Assembly & Inspection - 1200 W, 20-25 psc/min-1.2*1/20*1/60 = 0.001 kWh (14) + Heat treatment replaced with electricity - 1.5 min per 1 mm of bearing diameter - 110 - 50 = 60 mm * 1.5 min = 90 min - assumed for 100 psc batch - 25 kW furnace (15)
(Insert line here)							

Слика 4.3 Унос података за поданализу лежачеја 6310 С3

4.1.2. Ваљци

Ваљци су моделирани на исти начин као у упрошћеној анализи, с том разликом што су у овој анализи и куглични лежачеји укључени као подпроцеси, односно поданализе. Као резултат оваквог разматрања, ваљци се састоје од делова од челика (SR1 и SR2), делова од гуме, делова од полиамида и полипропилена (касније су изостављени због, како се показало, занемарљивог утицаја) и кугличних лежачеја. Сваки ваљак садржи два куглична лежачеја 6310 С3 (BB).

Носећи ваљци (carrying rollers) моделирани су као ваљци типа SR1, Слика 4.4. У склоп целог транспортера улази 16 оваквих ваљака. То су глатки челични ваљци са

по два куглична лежаја сваки. Сходно томе, унос параметара за фазу производње може се представити као:

$$16 \times (SR1 + 2 \times BB) \quad (4.1)$$

Пошто се ваљци, у складу са интервалом одржавања, мењају једном годишње (видети Табелу 3.19), у фази употребе треба урачунати додатних 16 ваљака.

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste Category	Comment	
Roller (carrying)	1	p	Amount	100 %	Metals/Ferro/Market	mass per piece: 15.9+0.07+0.092+2.2 = 18.3 kg	
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Roller_Steel parts SR1	1	p	Undefined				
Roller_Polyamide parts: Seal ring, external labyrinth	0.07	kg	Undefined				0.07 kg
Roller_Polypropylene parts: Distance Ring, inner labyrinth, cover	0.092	kg	Undefined				0.092 kg
Ball Bearing 6310	2	p	Undefined				mass of 1 piece is 1.1 kg, for 2 pieces it is 2.2 kg
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO Mass	0.0183*20 = 0.364	tkm					m=18.3 kg, L=20 km
(Insert line here)							

Слика 4.4 Унос података за поданализу носећих ваљака

Пријемни ваљци (impact rollers) моделирани су као ваљци типа SR1 уз додатак гумених дискова (RD), Слика 4.5. На анализираном транспортеру, уграђено је 19 оваквих ваљака, сваки са по 9 гумених дискова и 2 лежаја. Могу се представити помоћу израза:

$$19 \times (SR1 + 9 \times RD + 2 \times BB) \quad (4.2)$$

Према стратегији одржавања, ови ваљци се такође мењају једном годишње, тако да у фази употребе треба урачунати још 19 пријемних ваљака.

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste Category	Comment	
Roller (Impact)	1	p	Amount	100 %	Metals/Ferro/Market	mass per piece: 15.9+0.07+0.092+2.2+9= 27.3 kg	
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Roller_Steel parts SR1	1	p	Undefined				
Rubber disc	9	p	Undefined			1 piece is 1 kg	
Roller_Polypropylene parts: Distance Ring, inner labyrinth	0.092	kg	Undefined			0.092 kg	
Roller_Polyamide parts: Seal ring, external labyrinth	0.07	kg	Undefined			0.07 kg	
Ball Bearing 6310	2	p	Undefined			mass of 1 piece is 1.1 kg, for 2 pieces it is 2.2 kg	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO	0	tkm	Undefined			m=27.3 kg, L=20 km	
(Insert line here)							

Слика 4.5 Унос података за поданализу пријемних ваљака

Повратни ваљци (return rollers) моделирани су као ваљци типа SR2 уз додатак 16 гумених дискова (RD) и 4 гумена, дистантна прстена (RR), сваки, Слика 4.6. Има укупно 4 оваква ваљка, и могу се представити помоћу израза:

$$4 \times (SR2 + 16 \times RD + 4 \times RR + 2 \times BB) \quad (4.3)$$

Према стратегији одржавања, ови ваљци се такође мењају једном годишње, тако да у фази употребе треба урачунати још 4 повратна ваљка.

Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Roller (return)	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	mass per piece: 36.7+16+0.8+0.07+0.092+2.2= 55.9 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max		Comment
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max		Comment
Roller_Steel parts SR2	1	p	Undefined				36.7 kg per piece
Rubber disc	16	p	Undefined				1 piece is 1 kg
Rubber Ring	4	p	Undefined				0.2 kg per piece
Roller_Polypropylene parts: Distance Ring, inner labyrinth, cover	0.092	kg	Undefined				0.092 kg
Roller_Polyamide parts: Seal ring, external labyrinth	0.07	kg	Undefined				0.07 kg
Ball Bearing 6310	2	p	Undefined				mass of 1 piece is 1.1 kg, for 2 pieces it is 2.2 kg
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO Mass	55.9*20 = 1.12E3	kgkm					m=55.9 kg, L=20 km

Слика 4.6 Унос података за поданализу повратних ваљка

За све три врсте ваљка, анализом се разматрају следећи елементи:

- куглични лежај 6310 (BB) – 2 комада по ваљку, Слика 4.3;
- челични делови ваљка (SR1 или SR2), Сlike 4.7 и 4.8;
- гумени делови ваљка (RD и RR), Сlike 4.9 и 4.10;
- делови ваљка од полиамида;
- делови ваљка од полипропилену;
- транспорт, који се обавља камионом носивости 20 t на растојању од 20 km, од производног погона „Колубара Метал“ до површинског копа;
- уље за подмазивање.

Делови од полиамида и полипропилену у склопу ваљка користе се за заптивање и осигурање кугличних лежајева. Ови делови су првобитно били укључени у анализу, али је у наредним корацима утврђено да се могу занемарити. Гумени дискови и прстенови производе се од исте гумене смеше као и трака (као што је касније описано у тексту), поступком ињекционог ливења (бризања под притиском) у производном погону „Колубара Универзал“.

Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Roller_Steel parts SR1	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	Steel parts 1 piece=15.9 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max		Comment
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max		Comment
Steel, low-alloyed (GLO) market for Alloc Def, U	15.9+(15.9*0.4) = 22.3	kg					+ 40% Scrap
Steel removed by turning, primarily roughing, conventio	6.36	kg	Undefined				Machining = 10-60% scrap (13) middle value iz ortezla G-052 pp 40% scrap machining
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/C	15.9*20 = 318	kgkm					20 km distance
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max		Comment
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	49.2	MJ	Undefined				49.2 MJ for SR1 (Steel parts)
(Insert line here)							
Outputs							

Слика 4.7 Унос података за поданализу челичних делова ваљка типа SR1

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Roller_Steel parts SR2	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	Steel parts 1 piece = 36.7 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Steel, low-alloyed (GLO) market for Alloc Def, U	36.7+(36.7*0.4) = 51.4	kg				+ 40% Scrap	
Steel removed by turning, primarily roughing, conventional (GLO) market for Alloc Def, U	14.68	kg	Undefined			Machining = 10-60% scrap (13) middle value iz crteža G-052 pp 40% scrap machining	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO Mass	36.7*20 = 734	kgkm				20 km distance	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	113.6	MJ	Undefined			113.6 MJ for SR2 (Steel parts)	
(Insert line here)							

Слика 4.8 Унос података за поданализу челичних делова ваљака типа SR2

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Rubber disc	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	weight per piece is 1 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
D_Rubber(NR+SR)	1.2	kg	Undefined			20% scrap	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO Mass	0.001*20 = 0.02	tkm				20 km distance	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	19*1 = 19	MJ				19 MJ per kg	
(Insert line here)							
Outputs							

Слика 4.9 Унос података за поданализу гумених дискова

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Rubber Ring	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	weight per piece is 0.2 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
D_Rubber(NR+SR)	0.24	kg	Undefined			20% scrap	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO Mass	0.2*20 = 4	kgkm				20 km distance	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	19*0.2 = 3.8	MJ				19 MJ per kg	
(Insert line here)							
Outputs							

Слика 4.10 Унос података за поданализу гумених прстенова

4.1.3. Добоши

Као што је већ поменуто, анализирани транспортер састоји се од два добоша: погонског и повратног (затезног) добоша. Добоши су моделирани на исти начин као у упрошћеним анализама, Слика 4.11.

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Edit, Calculate, Tools, Window, Help) and a toolbar. The main area contains several data entry tables:

- Known outputs to technosphere. Products and co-products:** A table with columns: Name, Amount, Unit, Quantity, Allocation %, Waste, Category, Comment. It contains one entry for 'Pulleys' with a mass of 2160.6.
- Known outputs to technosphere. Avoided products:** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It has an 'Insert line here' button.
- Inputs:** A section for entering inputs from nature (resources) and from the technosphere (materials/fuels).
- Known inputs from nature (resources):** A table with columns: Name, Sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It has an 'Insert line here' button.
- Known inputs from technosphere (materials/fuels):** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 Min, Max, Comment. It contains several entries for steel, rubber, and roller bearings.
- Known inputs from technosphere (electricity/heat):** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It contains one entry for electricity.
- Emissions to air, water, and soil:** Three tables with columns: Name, Sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. Each has an 'Insert line here' button.
- Final waste flows:** A table with columns: Name, Sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It contains one entry for steel waste.
- Non material emissions, Social issues, and Economic issues:** Three tables with columns: Name, Sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. Each has an 'Insert line here' button.

Слика 4.11 Унос података за поданализу добоша

Ваљкасти лежајеви (RB – roller bearing) моделирани су на исти начин као куглични лежајеви. Употребљена је поданализа за кугличне лежајеве, а компоненте су скалиране на вредности које одговарају ваљкастим лежајевима, како је приказано на Слици 4.12. Пошто се добоши мењају сваке 2 године, резервни делови и одржавање су представљени додатном количином у износу од $1,5 \times 0,5 = 0,75$ добоша годишње у фази употребе, што је приказано на Сликама 4.1 и 4.2.

Documentation | Input/output | Parameters | System description |

Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Roller Bearing 22240 CCK/W33	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	m = 42.5 kg (skf)
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Corrugated board box {GLO} market for corrugated board box Alloc Def, U	0.05*42.5/1.1 = 1.93	kg				Packaging material	
Lubricating oil {GLO} market for Alloc Rec, U	0.21*42.5/1.1 = 8.11	kg					
(Insert line here)							
Steel, chromium steel 18/8, hot rolled {GLO} market for Alloc Def, U	1*42.5/1.1 = 38.64	kg					
Kerosene {Europe without Switzerland} market for Alloc Def, U	0.11*42.5/1.1 = 4.25	kg					
Vegetable oil, refined {GLO} market for Alloc Def, U	0	kg	Undefined			EAL version for lubrication	
Carton board box production, with offset printing {GLO} market for Alloc Def, U	0.29*42.5/1.1 = 11.20	kg					
Chromium steel removed by turning, average, conventional {GLO} market for Alloc Def, U	0.43*42.5/1.1 = 16.61	kg					
(Insert line here)							
Chromium steel removed by milling, average {GLO} market for Alloc Def, U	0.29*42.5/1.1 = 11.20	kg					
Forging, steel {GLO} market for Alloc Def, U	1.337*42.5/1.1 = 51.66	kg					
(Insert line here)							
Laser machining, metal, with YAG-laser, 30W power {CA-QC} laser machining, metal, with Y	0.0014*42.5/1.1 = 0.054	hr					
Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 {GLO} market for Alloc Def, U	0.575*42.5/1.1 = 22.22	tkm					
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2^SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage {RS} market for Alloc Def, U	0.376*42.5/1.1	kWh					
(Insert line here)							

Слика 4.12 Унос података за поданализу ваљкастих лежачева

4.1.4. Електромотор

Електромотор типа RZKT 280 М-4 је анализиран разматрањем следећих елемената (Слика 4.13):

- windings and bars – намотаји и шипке – од бакра;
- housing – кућиште – од ливеног гвожђа;
- steel parts – челични делови – статор и ротор;
- транспорт – извршен камионом носивости 20 t, на релацији од 250 km од фабрике која се налази у Суботици до монтажног плаца;
- medium voltage electricity {RS} – електрична енергија средњег напона {RS}, коришћена за производњу електромотора [Ђорђевић, et al., 2014c], [Ђорђевић, et al., 2015].

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
EM RZKT 280 M-4 (electric motor)	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	electric motor RZKT 280 M-4, with the power of 110 kW and weight 630 kg Consist of: Windind and bars (copper) = 126 kg Housing (Cast iron) = 189 kg Steel parts = 315 kg Scrap = 10% (12.6 kg, 18.9 kg adn 31.5 kg)
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 Min	Max	Comment	
Steel, low-alloyed (GLO) market for Alloc Def, U	315+31.5 = 347	kg					
Cast iron (RER) production Alloc Def, U	189+18.9 = 208	kg					Production of shaft
Copper (GLO) market for Alloc Def, U	126+12.6 = 139	kg					Machining = 10-60% scrap (13) middle value
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, empty return/GLO Mass	0.63*290 = 158	tkm					250 km distance (produced in Subotica)
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	947	MJ	Undefined				thermal energy! SEC: ref. (Zrnica, Dordjevic, Kalpakjian) casting iron, copper die-casting and machining
(Insert line here)							
Outputs							
Emissions to air							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to soil							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Final waste flows							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Steel waste		31.5	kg	Undefined			
Copper waste		12.6	kg	Undefined			
Iron waste		18.9	kg	Undefined			
(Insert line here)							

Слика 4.13 Унос података за поданализу ЕМ

Најважнија чињеница у вези са ЕМ јесте да је он једина компонента транспортера која захтева електричну енергију за обављање функције, Слика 4.14. Касније ће бити показано да се највећи утицај, како ЕМ, тако и целог транспортера, огледа управо у потрошњи електричне енергије.

Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
EM electricity consumption per year	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	electric motor RZKT 280 M-4, with the power of 110 kW and weight 630 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	1980*296 = 5.86E5	kWh					1980 kWh per use (day) Total usage per year: 296 days
(Insert line here)							
Outputs							

Слика 4.14 Годишња потрошња електричне енергије ЕМ

4.1.5. Транспортна трака

Транспортна трака је параметризована по јединици дужине. Састоји се од гумене смесе и текстилних вучних слојева од најлона (тј. полиамида). У састав гумене смесе улазе природни и синтетички каучук (NR & SR). Најлон производи компанија „DOMO Chemicals“ из Лојна (Leuna) у Немачкој. Транспортује се камионом носивости 20 t. За производњу транспортне траке потребна је електрична енергија средњег напона из Србије (RS) и Немачке (DE). Најлон се у Немачкој производи поступком ињекционог ливења (бризгања под притиском), са специфичном потрошњом енергије (SEC) од 19 MJ/kg [Thiriez & Gutowski, 2006]. Производња паре за обраду гумене смесе на каландеру и вулканизацију траке захтева сагоревање одређене количине угља (подаци су преузети од „Колубара Универзал“), Слика 4.15.

The screenshot shows a software interface with several data entry sections:

- Products:** A table with columns: Name, Amount, Unit, Quantity, Allocation %, Waste, Category, Comment. It contains one entry: "Belting per 1 m" with amount 1, unit m, quantity Length, allocation 100%, category Plastics/Thermoplasts, and a detailed comment about BWE SchRs 1201 conveyor belting.
- Known outputs to technosphere. Avoided products:** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It has an "Insert line here" button.
- Inputs:** A section with two sub-tables:
 - Known inputs from nature (resources):** A table with columns: Name, Sub-compartment, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It has an "Insert line here" button.
 - Known inputs from technosphere (materials/fuels):** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 Min, Max, Comment. It contains entries for "D_Rubber(NR+SR)", "Nylon", and "Transport, truck >20t, EURO4, 100%LF, empty return/GLO Mass" with calculated values.
- Known inputs from technosphere (electricity/heat):** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It contains entries for "Electricity, medium voltage (RS) | market for | Alloc Def, U", "Coal", and "Electricity, medium voltage (DE) | market for | Alloc Def, U" with calculated values.
- Outputs:** A table with columns: Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SD Min, Max, Comment. It has an "Insert line here" button.

Слика 4.15 Унос података за поданализу траке

Гумена смеша се израђује од природног каучука (NR), синтетичког каучука (SR), чађи и хемикалија (креч, цинков концентрат, уља и друге хемикалије) у одређеном односу.

Да би поступак добијања гумене смесе био јасан, потребно је прво објаснити неке основне појмове у вези са гумом:

- **латекс** - млечнобела течност која се добија цурењем из стабала дрвета гуме (*Hevea brasiliensis*). Садржи воду, полимерне честице (изопренске мономере, који представљају основу будуће гуме), протеине, смоле и друге природне материјале. Латекс је сировина из које се производи природни каучук;
- **природни каучук (NR - Natural Rubber)** - чврсти полимер изопрена (цис-1,4-поли-изопрен) који се добија коагулацијом, тј. згушавањем и сушењем (дехидратацијом) латекса. Еластичан је али и слабо отпоран на уље, озон и

високе температуре. У индустрији се често под овим називом подразумева хемијски чист материјал одвојен од нечистоћа из латекса;

- **природна гума** - нешто „шири“ појам од природног каучука и углавном се односи на готов производ на бази природног каучука, често уз додатке (чађ, хемикалије за вулканизацију, пунила...);
- У пракси, „**природна гума**“ и „**природни каучук**“ се често користе као синонимима, али разлика је у томе што **каучук означава чист полимер**, док **гума може значити и већ обрађени материјал намењен употреби** (на пример у гуменим тракама, гумама за аутомобиле, заптивкама итд.);
- **синтетички каучук (SR - Synthetic Rubber)** - Еластомер добијен хемијском синтезом, тј. полимеризацијом мономера бутадиена (50÷70%) и стирена (20÷40%) методом емулзијске или растворне полимеризације у реактору, затим коагулацијом и дехидратацијом/каландирањем уз додавање адитива. Добија се у виду сувог полимера, плоча или гранула каучука. Примери: стирен-бутадиен каучук (SBR - Styrene Butadiene Rubber), нитрил-бутадиен каучук (NBR - Nitrile Butadiene Rubber), неопрен, полихлоропрен (CR - Chloroprene Rubber), бутадиен каучук (BR - Butadiene Rubber);
- **синтетичка гума** - Готов производ на бази синтетичког каучука. Мешавина синтетичког каучука и пунила, пластификатора, антиоксиданата итд.

Једноставнији приказ даје Табела 4.1, а Табела 4.2 упоредни приказ производње природног и синтетичког каучука.

Табела 4.1. Природна и синтетичка гума - појмови

Појам	Опис
Латекс	Млечнобела емулзија воде, полимера (изопрен), протеина, смола и др., која се добија цурењем из стабала дрвета гуме
Природни каучук (NR – Natural Rubber)	Еластомер добијен дехидратацијом и коагулацијом из латекса. Добија се у виду сувих блокова или плоча.
Природна гума	Готов производ на бази природног каучука, често са адитивима и пунилима
Синтетички каучук (SR – Synthetic Rubber)	Еластомер добијен хемијском синтезом, затим коагулацијом и дехидратацијом уз додавање адитива. Добија се у виду сувог полимера, плоча или гранула каучука.
Синтетичка гума	Готов производ на бази синтетичког каучука. Мешавина синтетичког каучука и пунила, пластификатора, антиоксиданата итд.

На основу претходног може се рећи да је за производњу природног каучука (NR) или производа на његовој бази (природне гуме) потребна вода и латекс, Слика 4.16. Производња природног каучука захтева примену мравље киселине (0,5÷1% у односу на масу латекса) за коагулацију (згрушавање) латекса и употребу ручних каландера и преса за процес сушења, а малим делом и електричне енергије {ТН} (NR углавном потиче са Тајланда). Потребно је приближно 4÷6 литара свежег латекса за добијање 1. kg сувог, природног каучука, у зависности од процентуалног садржаја

сувог каучука у латексу (DRC – Dry Rubber Content – проценат суве материје (каучука) у природном латексу; што је већи, то је бољи квалитет). Латекс обично садржи 30÷40% каучука по маси [Motina & Rex, 2021]. Узимајући у обзир густину од 0,9 kg/l и количину од 6 l свежег латекса потребних за производњу једног килограма сувог природног каучука, улаз од 6 l свежег латекса има масу од 5,4 kg.

Табела 4.2. Природна и синтетичка гума – производња – упоредни приказ

Својство / Фаза	NR - Природни каучук	SR - Синтетички каучук
Сировине / материјали	Латекс (4÷6 l/1 kg NR), мравља киселина (~0,5÷1%), вода, адитиви по потреби	Бутадиен (50÷70%), стирен (20÷40%), иницијатори радикалне полимеризације (1÷2%), растваривачи по потреби, адитиви (антиоксиданти, стабилизатори)
Процес	1. Сакупљање латекса 2. Коагулација (мравља киселина) 3. Притискање / роловање 4. Сушење (електрична / топлотна енергија) 5. Млиновање / сечење	1. Полимеризација мономера (емулзијска / растворна) 2. Коагулација / издвајање полимера 3. Сушење / каландрирање 4. Додавање адитива за побољшање особина
Коначна форма	Суви блокови / плоче	Суви полимер / плоче / грануле каучука
Однос сировина	4÷6 l латекса → 1 kg сувог каучука	1 kg мономера → ~0,9÷1 kg готовог каучука
Додатни процесни материјали	Хемикалије за сушење, адитиви	Антиоксиданти, стабилизатори, растваривачи
Земља порекла / локација	Тајланд (латекс)	Немачка, САД, Кина или друга индустријска производња

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste Category	Comment	
B_Natural rubber	1	kg	Mass	100 %	not de	Wood	Products
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment
Water, river, TH		0.2	m3	Undefined			TH - Thailand, as the NR is produced in Thailand
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 Min	Max	Comment	
Latex	5.4	kg	Undefined			Approximately 4–6 liters of fresh latex are needed to produce 1 kg of dry natural rubber, depending on the dry rubber content (DRC) of the latex. Latex typically contains 30–40% rubber by weight (ASR JOURNAL, DSPACE REPOSITORY) The density of fresh natural latex typically ranges between 0.92 and 0.98 kg/L, depending on the specific composition and water content. This means that 1 liter of fresh latex generally weighs approximately 0.92 to 0.98 kg (SLEEP DOCTOR/POLYTEK/LUCKY MAG.) If you need precise measurements for specific applications, it's best to refer to the latex's exact formulation or consult a supplier for detailed data considering the density of 0.9 kg/L and amount of 6 L of fresh latex needed to produce 1 kg of dry natural rubber (input), the input of 6 l of fresh latex weights 5.4 kg!	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment
Electricity, medium voltage (TH) market for Alloc Def, U		0.03	kWh	Undefined			Tajlandska struja
Formic acid (RER) market for Alloc Def, U		0.003	kg	Undefined			density of formic acid is approximately 1.22 g/mL at room temperature
- coagulated with 0.31 of 1.0% Formic Acid/Kg of rubber							
Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market for Alloc Def, U		1*16000 = 1.6E4	kgkm				16000 km via ocean from Thailand to Rotherdam
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 (GLO) market for Alloc Def, U		1*1800 = 1.8E3	kgkm				1800 km Rotherdam-Veliki Crijeni
(Insert line here)							
Outputs							
Emissions to air							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to soil							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Final waste flows							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD [^] 2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Слика 4.16 Унос података за поданализу природног каучука (гуме)

Синтетички каучук (SR) се добија од бутадиена, стирена, сапуњаве воде и хемикалија, као што је приказано на Слици 4.17. Једињење синтетичког каучука које се користи у фабрици „Колубара Универзал“ за производњу основне гумене смесе, носи ознаку SBR-1705. Допрема се из града Вороњежа, који се налази у Сибиру, Русија. Количине састојака унете у поданализу синтетичког каучука добијене су од произвођача и из [Durfor, 1963], [Karunaratne & Piyadasa, 1973] и [Motina & Rex, 2021], Слика 4.17.

Documentation | Input/output | Parameters | System description

Products

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
D_Synthetic rubber	1.0	kg	Mass	100 %		Rubber/Plasti...	SBR-1705 TDAE, SBR-1705 HI-AR Synthetic styrene-butadiene rubber Oil-extended styrene-butadiene synthetic rubber SBR-1705 is a styrene (23.5%) and butadiene (76.5%) copolymer obtained by emulsification method with the usage of resin and fatty soaps. The copolymer is filled with oil TDAE or High Aromatic oil (HI-AR) and stabilized with staining antioxidant source: Producer Styrene-butadiene rubber (SBR) is made by forcing styrene and butadiene to react in a soapy water solution and form minute particles of synthetic rubber. This suspension of rubber in soapy water, called latex, is coagulated to form a rubber crumb that is washed and dried. Aqueous solutions of oil and carbon black may be added to the latex before coagulation, to extend the volume of rubber. source: Water Requirements of the Styrene, Butadiene and Synthetic-Rubber Industries By CHARLES N. DURFOR Transport iz Voronježa, RUSIJA!

(Insert line here)

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	in water	0.045	m3	Lognormal	2.0687		Data from base from paper "Water Requirements of the Styrene, Butadiene and Synthetic-Rubber Industries" By CHARLES N. DURFOR WATER REQUIREMENTS OF SELECTED INDUSTRIES

(Insert line here)

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Butadiene E	0.765	kg	Lognormal	1.6328		Data from producer
Styrene E	0.235	kg	Lognormal	1.6328		Data from producer
Chemical, organic (GLO) market for Alloc Def, U	0.0582	kg	Lognormal	1.6328		Data from base
Soap (RoW) production Alloc Def, U	0.02	kg	Undefined			

(Insert line here)

Known inputs from technosphere (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Electricity, medium voltage (RU) market for Alloc Def, U	0.719	kWh	Lognormal	1.6328		0.719 kWh - data from database
Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EUROS (RER) transport, freight, lorry 16-32 met	1*2500 = 2.5E3	tkm				L=2500

(Insert line here)

Emissions to air

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Water/m3		0.0174375	m3	Lognormal	1.5688		Calculated value based on literature values and expert opinion. See comments in the parameters' comment field.

(Insert line here)

Emissions to water

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Water, RoW		0.0275625	m3	Lognormal	1.5688		Calculated value based on literature values and expert opinion. See comments in the parameters' comment field.

(Insert line here)

Emissions to soil

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Final waste flows

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Non material emissions

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Social issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Economic issues

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Слика 4.17 Унос података за поданализу синтетичког каучука (гуме)

У састав основне гумене смесе, према рецептури из фабрике „Колубара Универзал“, улазе састојци у следећем односу, Слика 4.18:

- NR – природни каучук – 19%;
- SR – синтетички каучук – 31%;
- carbon black – чађ – 34%;
- chemicals – хемикалије у које спадају уља, омекшивачи и др. – 16%.

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
D_Rubber(NR+SR)	1.0	kg	Mass	100 %	Rubber	Plast...	Transformation NR(19%) + SR(31%) + carbon black (34%) + chemicals (16%) dodati transport
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	in water	0.045	m3	Lognormal	2.0687		
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
D_Natural rubber	0.19	kg	Lognormal	1.63;			
D_Synthetic rubber	0.31	kg	Undefined				
Carbon black {GLO} market for Alloc Def, U	0.34	kg	Lognormal	1.63;			
Lime, packed {GLO} market for Alloc Def, U	0.0883	kg	Lognormal	1.63;			
Lubricating oil {GLO} market for Alloc Def, U	0.155	kg	Lognormal	1.63;			
Zinc concentrate {GLO} market for Alloc Def, U	0.0191	kg	Lognormal	1.63;			
Chemical, organic {GLO} market for Alloc Def, U	0.16	kg	Lognormal	1.63;			

Слика 4.18 Унос података за поданализу гумене смесе (гуме)

4.1.6. Редуктор

За анализу редуктора, као што је приказано на Слици 4.19, узети су у обзир следећи елементи:

- steel, chromium steel 18/8 {GLO} - хромирани челик - за прирубницу;
- cast iron {GLO} - ливено гвожђе - за кућиште;
- steel, low-alloyed {GLO} - нисколегирани челик - делови редуктора;
- lubricating oil - уље за редуктор;
- transport - транспорт камионом носивости 20 t;
- medium voltage electricity {RS} - електрична енергија средњег напона.

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Gearbox	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	mass per 1 piece = 561.5 kg Scrap 10%
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Cast iron {GLO} market for Alloc Def, U	450+45 = 495	kg				Scrap 10%	
Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Alloc Def, U	74+7.4 = 81.4	kg				Scrap 10%	
Steel, low-alloyed {GLO} market for Alloc Def, U	37.6+3.76 = 41.4	kg				Scrap 10%	
Lubricant oil (1)	50	l				Po potrebi ukljuciti ili iskljuciti da vidimo osetljivost sistema jer povlacimo ko zna sta	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, default/GLO Mass	0.561*75 = 42.1	tkm	Undefined			Transportation distance is 75 km as gearbox is produced in "Goša FOM"	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage {RS} market for Alloc Def, U	2230	MJ	Undefined			SEC: Zmic, Djordjevic 2012 (MHCL 15) casting, machining and forging	
(Insert line here)							
Outputs							
Emissions to air							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to soil							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Final waste flows							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Iron waste		45	kg	Undefined			
Steel waste		3.76+7.4 = 11.2	kg				

Слика 4.19 Унос података за поданализу редуктора

Редуктор садржи 50 литара уља „Редуктол“, које се мења једном годишње. Транспорт се обавља камионом носивости 20 t на релацији од 75 km, пошто се редуктор производи у фабрици „Гоша ФОМ“ у Смедеревској Паланци. Електрична енергија се користи за ливење, ковање и машинску обраду делова. Улазни подаци за прорачуне дати су у Поглављу 3, а унос у софтвер за LCA анализу дат је на Слици 4.19.

4.1.7. Спојница, добошаста кочница и левак са олуком

Спојница и левак са олуком производе се у компанији „Колубара Метал“, чији се производни погон налази на удаљености од око 20 km од површинског копа где се користи транспортер. Добошаста кочница се производи у Немачкој и транспортује камионом носивости 20 t на удаљеност од приближно 1500 km. Енергија производње изражена је у MJ и израчуната у складу са подацима датим у Поглављу 3 и [Đorđević, et al., 2015]. Релевантни елементи који су узети у обзир за овај део анализе укључују:

- steel, low-alloyed {GLO} – нисколегирани челик,
- transport – транспорт камионом носивости 20 t; и
- medium voltage electricity {RS} – електрична енергија средњег напона, као што је приказано на Сликама 4.20, 4.21 и 4.22.

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Coupling C250-500-75-80	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	50% scrap total weight is 20 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max		Comment
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ² Min	Max		Comment
Steel, low-alloyed (GLO) market for Alloc Def, U	30	kg	Undefined				10 kg is 50% lost in the production as a scrap
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, default/GLO Mass	20*20 = 400	kgkm					Coupling is produced by "Kolubara metal", distance is 20 km
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max		Comment
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	76	MJ	Undefined				THERMAL ENERGY SEC: (MHCL 15) Zrnica, Đorđević, 2012
(Insert line here)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to soil							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Final waste flows							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
Steel waste		10	kg	Undefined			
(Insert line here)							
Non material emissions							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Social issues							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Economic issues							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ² or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Слика 4.20 Унос података за поданализу спојнице

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Drum brake RT 500-0.3	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	drum brake RT 500-0.3 These components are analysed as parts predominantly made of steel with 10% waste in manufacturing stage (10% scrap) total weight is 120 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Steel, low-alloyed (GLO) market for Alloc Def, U	120+12 = 132	kg				12 is 10% lost in the production as a scrap	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, default/GLO Mass	0.120*1500 = 180	tkm				Drum brake is produced in Germany, L = approx 1500 km;	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	91.2	MJ	Undefined			THERMAL ENERGY SEC: (MHC 15) Zrnica, Dordjevic, 2012	
(Insert line here)							
Emissions to air							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to soil							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Final waste flows							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Steel waste		12	kg	Undefined			
(Insert line here)							
Non material emissions							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Social issues							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Economic issues							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							

Слика 4.21 Унос података за поданализу добошасте кочице

Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste	Category	Comment
Chute	1	p	Amount	100 %		Metals/Ferro/Market	These components are analysed as parts predominantly made of steel with 10% waste in manufacturing stage (10% scrap) total weight is 1950 kg
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 Min	Max	Comment	
Steel, low-alloyed (GLO) market for Alloc Def, U	1950+195 = 2.15E3	kg				195 is 10% lost in the production as a scrap	
Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, default/GLO Mass	1950*20 = 3.9E4	kgkm				Coupling and chute are produced by "Kolubara metal", distance is 20 km	
(Insert line here)							
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
Electricity, medium voltage (RS) market for Alloc Def, U	1482	MJ	Undefined			THERMAL ENERGY SEC: (MHC 15) Zrnica, Dordjevic, 2012	
(Insert line here)							
Emissions to air							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to water							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Emissions to soil							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Final waste flows							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
Steel waste		195	kg	Undefined			
(Insert line here)							
Non material emissions							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Social issues							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Economic issues							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment
(Insert line here)							
Known outputs to technosphere. Waste and emissions to treatment							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SD Min	Max	Comment	
(Insert line here)							

Слика 4.22 Унос података за поданализу левка са олуком

4.1.8. Затезни уређај

Као и претходне компоненте, затезни уређај производи компанија „Колубара Метал“, удаљена око 20 km од површинског копа где се користи транспортер. Енергија производње изражена је у MJ и израчуната у складу са подацима датим у Поглављу 3 и [Jatić, 2025]. Релевантни елементи који су узети у обзир за овај део анализе укључују:

- steel, low-alloyed {GLO} – нисколегирани челик;
- thrust ball bearing – аксијални куглични лежај – поданализа базирана на анализи кугличног лежаја 6310 C3;
- transport – транспорт камионом носивости 20 t и
- medium voltage electricity {RS} – електрична енергија средњег напона, као што је приказано на Слици 4.23.

The screenshot displays the SimaPro software interface, specifically the 'Products' and 'Inputs' sections. The 'Products' section shows a table for 'Known outputs to technosphere. Products and co-products' with columns for Name, Amount, Unit, Quantity, Allocation %, Waste, Category, and Comment. A single entry is visible: 'Take-up device' with an amount of 1, unit 'p', quantity 'Amount', allocation of 100%, waste 'Metals/Ferro/Market', and comment 'mass per 1 piece = 388.914 kg'. Below this is a section for 'Known outputs to technosphere. Avoided products' with columns for Name, Amount, Unit, Distribution, SD^2 or 2*SDMin, Max, and Comment. The 'Inputs' section contains three sub-tables: 'Known inputs from nature (resources)', 'Known inputs from technosphere (materials/fuels)', and 'Known inputs from technosphere (electricity/heat)'. The 'Known inputs from technosphere (materials/fuels)' table lists 'Steel, low-alloyed {GLO} | market for | Alloc Def, U' (388.914+49.872 = 439 kg), 'Transport, truck >20t, EURO3, 20%LF, default/GLO Mass' (0.389*20 = 7.78 tkm), and 'Ball Bearing 6310' (2 p). The 'Known inputs from technosphere (electricity/heat)' table lists 'Electricity, medium voltage {RS} | market for | Alloc Def, U' (106.72 kWh). The interface also includes a footer with 'University of Belgrade 08' and '8.0.4.7 PhD'.

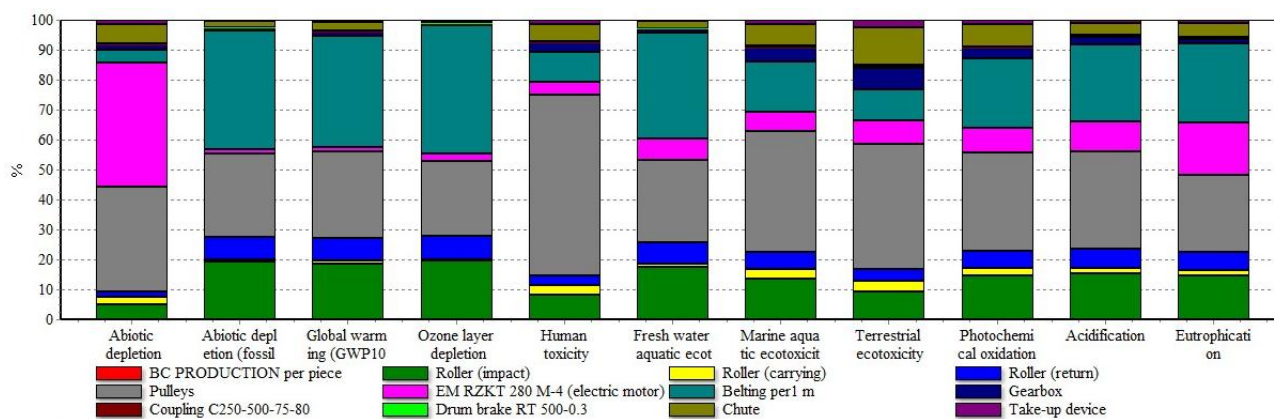
Слика 4.23 Унос података за поданализу затезног механизма

4.2. Резултати и дискусија

У трећој фази LCA студије (LCIA), еколошки утицаји су израчунати коришћењем базе података Ecoinvent 3.1 и методе CML-IA baseline V3.02. Процена утицаја је спроведена кроз неколико итерација.

За фазу сировина, производње и транспорта, резултати су приказани на Слици 4.24, и у Табели 4.3.

Резултати показују да су добоши компоненте са највећим утицајем на животну средину, што одговара њиховом доминантном масеном уделу од приближно 40% у укупној маси тракастог транспортера. Добоши имају највећи утицај у више категорија, укључујући токсичност по људе - 61% (НТ - Human toxicity), екотоксичност земљишта - 42% (ТЕТ - Terrestrial ecotoxicity), екотоксичност морске воде - 40% (МЕТ - Marine aquatic ecotoxicity), фотохемијску оксидацију - 33% (РОС - Photochemical oxidation) и ацидификацију - 33% (АС - Acidification), Табела 4.3.



Слика 4.24 Резултати карактеризације за фазе сировина, производње и транспорта тракастог транспортера

Табела 4.3. Резултати карактеризације за фазу производње транспортера

Impact category	Unit	Total (units)	Roller I (%)	Roller C (%)	Roller R (%)	Pulleys (%)	EM (%)	Belting (%)	Gearb. (%)	Coupl. (%)	Brake (%)	Chute (%)	Take-up (%)
AD	kg Sb eq	0.78	5	3	2	35	41	5	2	0	0	6	1
ADff	MJ	2002483.88	19	1	8	28	1	40	1	0	0	2	0
GWP100a	kg CO ₂ eq	137704.65	19	1	7	29	1	37	1	0	0	3	1
OD	kg CFC-11 eq	0.02	20	0	8	25	2	43	1	0	0	1	0
HT	kg 1,4-DB eq	213325.09	8	3	3	61	4	10	3	0	0	6	1
FET	kg 1,4-DB eq	1958.49	17	1	7	28	7	35	1	0	0	2	1
MET	kg 1,4-DB eq	26505369.63	14	3	6	40	7	17	5	0	0	7	2
TET	kg 1,4-DB eq	591.01	9	4	4	42	8	10	7	0	1	12	3
POC	kg C ₂ H ₄ eq	29.50	15	2	6	33	8	23	3	0	0	7	2
AC	kg SO ₂ eq	558.48	16	2	6	33	10	26	3	0	0	4	1
ET	kg PO ₄ eq	87.44	15	2	6	26	17	27	1	0	0	5	1

Трака је друга компонента са највећим оптерећењем животне средине, пре свега због енергетски интензивне производње гуме. Она највише доприноси потрошњи фосилних горива - 40% (ADff – Abiotic depletion fossil fuels), глобалном загревању - 37% (GWP100a – Global warming potential – 100-годишњи период), оштећењу озонског омотача - 43% (OD – Ozone depletion) и слатководној екотоксичности - 35% (FET – Fresh water aquatic ecotoxicity), Табела 4.3.

Амортизујући (пријемни) ваљци такође показују значајан утицај на животну средину, углавном због свог броја - 19 комада код овог тракастог транспортера. Они знатно доприносе потрошњи необновљивих (абиотичких) ресурса (19%) и фосилних горива (19%), глобалном загревању (19%), оштећењу озонског омотача (20%) и слатководној екотоксичности (17%), док је у категоријама као што су фотохемијска оксидација, ацидификација и еутрофикација (ЕТ - Eutrophication) њихов допринос приближно 15%, Табела 4.3.

Електромотор (ЕМ) показује највећи утицај у категорији потрошње необновљивих ресурса - 41% (ADff – Abiotic depletion), због употребе бакра и челика у његовој производњи. Све остале компоненте имају минималан утицај на животну средину, док спојница и левак са олуком имају занемарљив утицај у свим категоријама (<1%).

У категоријама утицаја које се односе на токсичност по људе и екотоксичност земљишта, највећи допринос потиче од производње високоугљеничног ферохрома (68% Cr), који се користи у производњи нерђајућег челика. У потрошњи необновљивих ресурса, значајни утицаји повезани су са производњом концентрата руде хромита и бабра, који се углавном користе за производњу добоша и ЕМ. У категоријама потрошње фосилних горива и општећења озонског омотача, највећи утицај потиче од производње нафте, пре свега због њене улоге као сировине за синтетичку гуму (транспортна трака и облога добоша), као и због велике потрошње енергије у процесима њене екстракције, рафинације и производње.

Процес „Транспорт, теретни камион 16–32 t, EURO5“ показује највећи допринос у категоријама глобалног загревања, фотохемијске оксидације, ацидификације и еутрофикације. То је последица транспорта бројних тешких компонената тракастог транспортера на велике удаљености - укључујући добошасту кочницу, редуктор, ЕМ и лежачеве. Чак и локално произведени делови, као што су левак са олуком, спојница и затезни механизам, знатно доприносе укупном оптерећењу животне средине током друмског транспорта. Комбинација тежине и удаљености резултира значајним емисијама CO₂, NO_x и SO₂, које су директно повезане са овим категоријама утицаја.

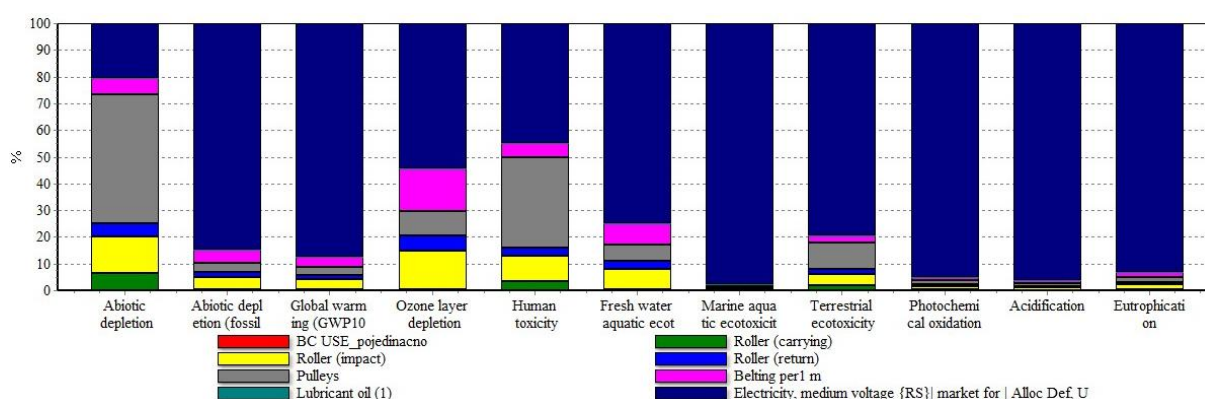
У категоријама које се односе на токсичност - укључујући слатководну и морску водену екотоксичност, као и токсичност по људе - емисије настале хабањем кочница током теретног транспорта појављују се као значајни фактори утицаја. Ове емисије потичу од друмског транспорта тешких компонената транспортера на велике удаљености. Честице настале хабањем кочница садрже тешке метале као што су бакар, цинк и антимоњ, који су веома токсични, постојани и могу доспети у водене токове путем површинских вода, чиме утичу на слатководне и морске екосистеме. Поред тога, ове fine честице доприносе токсичности по људе путем удисања (нпр. PM2.5) и контаминације воде и извора хране. Иако такве емисије нису директно повезане са производњом тракастог транспортера, оне су укључене у фазу транспорта његовог животног циклуса, што указује на шири еколошки и здравствени значај логистике и протока материјала унутар система производа.

У категорији морске, водене екотоксичности, процеси „electricity, medium voltage {RS} | market for | Alloc Def, U“ и „electricity, high voltage {RS} | electricity production, lignite | Alloc Def, U“ показују највећи допринос. Ови утицаји углавном су повезани са емисијама тешких метала у воду и ваздух - као што су жива (Hg), арсен (As) и кадмијум (Cd) - које настају током сагоревања лигнита, који представља доминантан извор електричне енергије у Србији. Ови загађивачи могу ући у морске екосистеме путем атмосферског таложења и испуштања отпадних вода из термоелектрана.

Значајан допринос еутрофикацији потиче од процеса „sulfidic tailings, off-site {GLO} | treatment for“, који одражава оптерећење животне средине рударским отпадом богатим сулфидним минералима. Овај утицај је превасходно повезан са експлоатацијом и прерадом метала као што су бакар и хром, који се користе у компонентама попут ЕМ, добоша, ваљака и лежачева. Отпадни материјал од прераде металних руда може ослобађати нитрате, сулфате и тешке метале у водене системе,

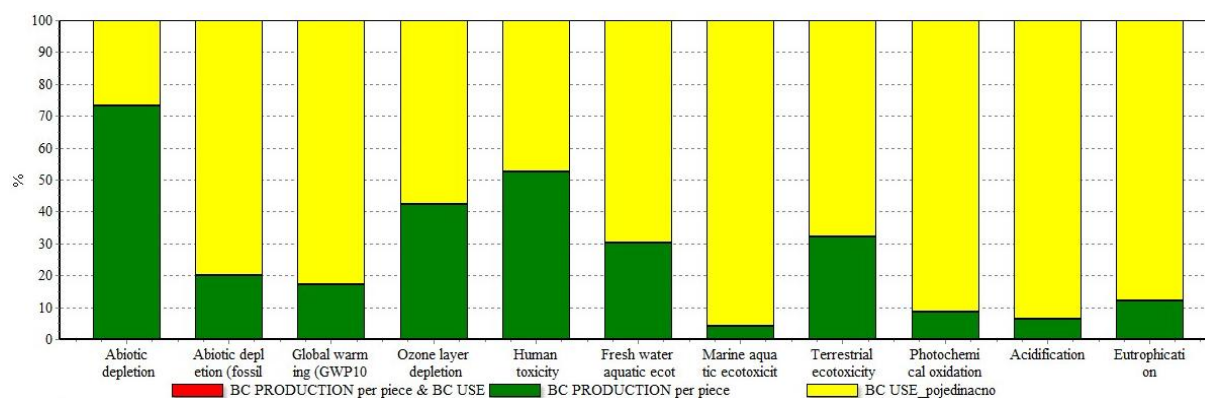
чиме се подстиче прекомерно обогаћивање хранљивим материјама и еколошка неравнотежа у воденим екосистемима, односно појава еутрофикације.

Резултати LCA анализе за фазу употребе тракастог транспортера на годишњем нивоу показују да потрошња електричне енергије - углавном услед рада ЕМ (586.080 kWh, Табела 4 у [Đorđević, et al., 2015]) - има највећи утицај на животну средину у скоро свим категоријама утицаја, Слика 4.25. То укључује глобално загревање, оштећење озонског омотача, потрошњу фосилних горива и све главне категорије повезане са токсичношћу. Додатни утицаји потичу од употребе уља за подмазивање и хабања траке, што утиче на токсичност по људе и водену екотоксичност. Утицаји од употребе осталих компонената транспортера повезани су са истим процесима као у фази производње, али се њихови релативни доприноси разликују у зависности од учесталости и интензитета употребе на годишњем нивоу.



Слика 4.25 Резултати карактеризације за фазу употребе транспортера

Фазе сировина и производње транспортера, у поређењу са фазом употребе, имају већи утицај углавном у категоријама потрошње необновљивих ресурса и токсичности по људе (73% и 53%, респективно), са значајним уделом у оштећењу озонског омотача (42%), екотоксичности земљишта (32%) и слатководној екотоксичности (30%). У свим осталим категоријама - укључујући морску, водену екотоксичност, глобално загревање, оштећење озонског омотача, фотохемијску оксидацију, ацидификацију и еутрофикацију - доминира фаза употребе, као што је приказано на Слици 4.26.



Слика 4.26 Поређење доприноса фаза сировина, производње и транспорта у односу на фазу употребе за одабране категорије утицаја

4.3. Закључак

У овом поглављу и раду [Ђорђевић, et al., 2026] спроведена је LCA анализа типа „од колевке до гроба“ (cradle-to-grave) за тракасти транспортер кратке деонице. Резултати процене утицаја животног циклуса (LCIA) показују да фаза употребе, нарочито потрошња електричне енергије електромотора (586.080 kWh годишње), представља највеће оптерећење за животну средину у већини категорија утицаја, укључујући фотохемијску оксидацију (~95%), глобално загревање (~87%), потрошњу фосилних горива (~85%), оштећење озонског омотача (~54%), ацидификацију (~96%), еутрофикацију (~93%) и токсичност по водене екосистеме и људе (45–98%). Производња електричне енергије значајно доприноси овим утицајима, посебно путем емисија CO₂, SO₂, NO_x и тешких метала као што су жива и кадмијум. Ови налази истичу кључну улогу енергетске потрошње током рада и наглашавају извор електричне енергије као једно од главних поља за унапређење одрживости.

У фази производње, добоши, услед великог масеног удела добоша у укупној маси целог транспортера, показују највеће оптерећење животне средине, доприносећи са 61% токсичности по људе, 42% екотоксичности земљишта и 40% морској воденој екотоксичности. То је првенствено последица употребе високоугљеничног ферохрома (68% Cr) у производњи нерђајућег челика и гуме за облогу добоша. Трака доприноси са 40% потрошњи фосилних горива, 37% глобалном загревању и 43% оштећењу озонског омотача, што је условљено производњом гуме на бази нафте. Ваљци (пријемни) такође показују значајан утицај због свог броја, доприносећи са 19% потрошњи фосилних горива (због великог броја гумених дискова), 20% оштећењу озонског омотача и 17% слатководној екотоксичности.

Транспорт, посебно друмски транспорт теретним возилима (16–32 t, EURO5 стандард), такође има значајан утицај на животну средину, доминантно у категоријама фотохемијске оксидације, ацидификације и еутрофикације. Емисије настале хабањем кочница и гума током транспорта представљају главне узроке штетних утицаја у категоријама токсичности и загађењу водених екосистема. Стога се транспортна логистика издваја као критична тачка у еколошком профилу производње транспортера.

Остали релевантни фактори укључују третман сулфидних јаловишта (еутрофикација) и производњу нафте и бакра у раним фазама (потрошња необновљивих ресурса, оштећење озонског омотача). Ово указује на важност разматрања рударских процеса у раним фазама ланца снабдевања у оквиру укупног еколошког профила индустријске опреме као што су тракасти транспортери.

Да би се смањили утицаји на животну средину, могу се применити следеће препоруке:

- примена ЕМ високе енергетске ефикасности;
- употреба самочистећих ваљака, самоподесивих компонената и енергетски ефикасних лежајева;
- продужавање радног века компонената применом опрема за неструктивну контролу и праћење стања (нпр. термографија, вибродијагностика);

- повећање степена поновне употребе и рециклаже добоша, ваљака и гумених делова;
- замена примарних материјала мање токсичним алтернативама;
- набавка електричне енергије из обновљивих извора или инсталирање локалних извора производње енергије.

Иако захтева већа почетна улагања, најзначајнија дугорочна уштеда енергије може се постићи употребом енергетски најефикаснијег ЕМ доступног на тржишту. Продужавање радног века транспортера такође доприноси дугорочној одрживости. Нека од ових решења већ се примењују у пракси. На пример, плаштови ваљака се поправљају и поново користе, добоши се редовно сервисирају, а оштећени гумени елементи се рециклирају или користе у друге сврхе.

Закључно, применом стратегија наведених у овом истраживању могуће је остварити значајна еколошка побољшања и уштеде - чиме се доприноси развоју одрживог, односно „зеленог“ тракастог транспортера.

5. МЕТОДОЛОГИЈА LCA АНАЛИЗЕ ТРАКАСТОГ ТРАНСПОРТЕРА

5.1. Увод

Методологија за LCA анализе тракастих транспортера кратких деоница се ослања на LCA анализу транспортера спроведену у Поглављу 4. Суштина примењеног приступа је модуларни концепт самог транспортера, који омогућава његово рашчлањивање на главне компоненте, или боље рећи типове компонената. Када су главне компоненте анализиране, приступа се њиховим модификацијама, које се врше простим варирањем параметара. На тај начин формирају се фамилије главних (и других компонената које су сврстане у „Остале компоненте“) компонената и омогућава се анализа разнородних варијантних решења тракастих транспортера кратких деоница. Било која недостајућа компонента се може додатно анализирати и имплементирати у већ формиран модел.

Параметризација процеса омогућава једноставне модификације система, а дефинисање параметара за сваку од компонената транспортера омогућава да се изменама параметара дефинише потпуно нови систем, односно било који други транспортер. Таквим варирањем параметара се мењају границе система и формира потпуно нови систем за анализу.

5.2. Методологија

Приступ моделирању тракастих транспортера кратких деоница различитих концепција градње заснован је на главним компонентама дефинисаним са становишта екодизајна:

1. ваљци;
2. добоши;
3. транспортна трака;
4. електромотор;
5. остале компоненте.

5.2.1. Ваљци

Уопштено, сваки ваљак може бити представљен помоћу глатког, челичног ваљка и пара кугличних лежачева. У зависности од његове намене, односно врсте,

може бити додатно опремљен гуменим дисковима (пријемни) или гуменим дисковима и гуменим, дистантним прстеновима (повратни). У LCA анализи приказаној у Поглављу 4, разматрани су ваљци пречника Ø159 mm и дужине 600 mm (SR1), односно 1800 mm (SR2). Да би се формирала фамилија ваљака, којом се могу анализирати разнородна варијантна решења тракастих транспортера кратких деоница, потребно је дефинисати параметре помоћу којих се могу обухватити различити пречници и дужине ваљака. Такође, пожељно је дефинисати полазну, тј. референтну дужину и пречник ваљка, у односу на које ће се прерачунавати остали ваљци. Поред тога што су заступљени на разматраном тракастом транспортеру роторног багера SchRs 1201, ваљци пречника $d = 159 \text{ mm}$ и дужине $L_1 = 600 \text{ mm}$, спадају међу најзаступљеније ваљке, и стога су изабрани за референтне при формирању методологије. Међутим, овај избор је подложен редефинисању, и уколико би се указала потреба да се то у правцима даљих истраживања промени, може се једноставно изабрати најмањи или највећи стандардни ваљак за референтни. Сви остали ваљци се могу дефинисати у односу на изабрани, референтни ваљак помоћу параметара.

Преглед односа стандардних дужина и пречника ваљака у складу са ширином траке и врстом слога дат је у Табели 5.1, која је преузета из [Gašić, 2010]. У Табели 5.2, дат је преглед комбинација стандардних дужина ваљака за одговарајуће пречнике ваљака, а у Табели 5.3 преглед комбинација пречника и дужина ваљака, као и одговарајућих лежачева који се користе у РБ „Колубара“.

Табела 5.1. Основне геометријске величине ваљака у зависности од ширине траке (B), [Gašić, 2010]

Širina trake B [mm]	Prečnik valjka D [mm]	Dužina valjka				Ugao nagiba bočnih valjaka	
		L [mm]		L_1 [mm]	L_2 [mm]	α_1^*	α_2
300 **	63,5	400	-	-	-	-	-
400	63,5; 89; 108	500	-	160	-	10; 20; 30; 45; 60 ***	-
500		600	-	200	-		-
650		750	-	250	-		-
800	63,5; 89; 108; 133; 159; 194; 219; 245	950	1150	315	465	10; 20; 30; 45	10
1000	89; 108; 133; 159; 194; 219; 245	1150	1400	380	600		
1200		1400	1600	465	670		
1400	108; 133; 159; 194; 219; 245	1600	1800	530	750		
1600		1800	2000	600	900		
1800	133; 159; 194; 219; 245	2000	2200	670	1000		
2000		2200	2400	750	1150		
2250	159; 194; 219; 245	-	-	800	1250		
2500		-	-	900	1400		
2750		-	-	1000	1500		
3000		-	-	1150	1600		

* Ugao nagiba $\alpha = 10^\circ$ se primenjuje kod valjaka ispred doboša,
 ** Oslanjanje trake širine do 300 mm vrši se samo preko jednog valjka,
 *** Ugao nagiba bočnih valjaka od 45° i 60° se primenjuje pri transportu žitarica

Величина лежача зависи од пречника ваљка, а параметризована је према масеном уделу. Тако масени параметар за лежач 6310 износи 1, Табела 5.4. Подаци за

LCA анализу свих других кугличних лежајева за ваљке добијају се у складу са односом маса датог лежаја и лежаја 6310. Маса лежаја 6310 износи 1,1 kg.

Табела 5.2. Комбинације стандардних дужина и пречника ваљака

d [mm]	L [mm]
63,5	160; 200; 250; 315; 400; 465; 500; 600; 750; 950; 1150
89	160; 200; 250; 315; 380; 465; 500; 600; 670; 750; 950; 1150; 1400; 1600
108	160; 200; 250; 315; 380; 465; 500; 530; 600; 670; 750; 900; 950; 1150; 1400; 1600; 1800; 2000
133	315; 380; 465; 530; 600; 670; 750; 900; 950; 1000; 1150; 1400; 1600; 1800; 2000; 2200
159	315; 380; 465; 530; 600; 670; 750; 800; 900; 950; 1000; 1150; 1250; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400
194	
219	
245	

Табела 5.3. Комбинације дужина, пречника ваљака и одговарајућих лежајева који се користе у РБ „Колубара“

Пречник ваљка [mm]	Пречник рукавца [mm]	Ознака лежаја	Димензије лежаја [mm]	Дужина плашта [mm]	Напомене
60,3	20h6	6204 C3	20 × 47 × 14	380	Бочни ваљак уводника
89	20	6204 C3	20 × 47 × 14	180 220	T-BO-026-2
108	30h7 40h7	6206 C3 6308	30 × 72 × 19 40 × 90 × 23	748	T-176D 170 19 20
133	40h6 40h6 50h7	22308 6310	40 × 90 × 33 40 × 90 × 33 50 × 110 × 27	620 330 1150	O3-22100A O3-22100B 1488.02.01
159	50	6310	50 × 110 × 27	800	G-052
191	80	22316	80x170x58	800	T-T-G-01
194	60	6312C3	60 × 130 × 31	750	1489.02.01
219	50	6310	50 × 110 × 27	1150	24-070/CE
245	Ваљак овог пречника се не користи у РБ „Колубара“				

Табела 5.4. Масени коефицијент за лежаје - $k_{m, BB}$

Лежај	6310	6204	6206	6306	6308	6312	22308	22316
Маса [kg]	1,100	0,102	0,193	0,350	0,611	1,670	1,000	6,150
$k_{m, BB}$	1,0	0,093	0,175	0,318	0,555	1,518	0,909	5,591

Дужина ваљака за $d = 159 \text{ mm}$ параметризована је у односу на $L = 600 \text{ mm}$. Сви ваљци истог пречника имају идентичан део, који представља кућиште лежаја, и то на оба краја ваљака. Разликују се у дужини осовине и плаштова. У складу са тиме, Табела 5.5 даје приказ коефицијената за прерачунавање потребних параметара за челичне делове ваљака. Маса челичних делова ваљака (SR) добија се сабирањем два кућишта лежаја и скалиране дужине осовине и плашта помоћу коефицијената $k_{m, O}$ и $k_{m, P}$, респективно. Од масе челичних делова за ваљак $\varnothing 159 \times 600$, која је износила 15,9 kg, одузета је маса два лежаја 6310 у износу од 2,2 kg (првобитно су лежајеви били урачунати у масу челичних делова, касније су обрађени као поданализа). Сходно томе, маса челичних делова за ваљак $\varnothing 159 \times 600$ у Табели 5.5 износи 13,7 kg. Слично томе, разликује се и маса челичних делова за ваљак $\varnothing 159 \times 1800$, у односу на Поглавље 4. Међутим, без обзира на наведене разлике, Табела 5.5 приказује довољно прецизно прерачунате масе челичних делова фамилије ваљака пречника 159 mm, да се оне могу користити приликом спровођења LCA студије коришћењем овде представљене методологије.

За сваки стандардни пречник ваљака, формира се табела са коефицијентима за скалирање челичних делова ваљака. За гумене делове ваљака потребно је масу гумених дискова (RD) и гумених прстенова (RR) помножити њиховим укупним бројем у зависности од дужине датог ваљака. За ваљак пречника 159 mm, масе ових делова износе $m_{RD} = 1,0 \text{ kg}$ и $m_{RR} = 0,2 \text{ kg}$.

У даљим истраживањима потребно је формирати ове табеле са коефицијентима за скалирање за челичне, као и за гумене делове за сваки стандардни пречник ваљака.

Табела 5.5. Коефицијенти за скалирање челичних делова ваљака, за ваљак пречника 159 mm, део 1:

Дужина ваљака [mm]	600	1800	315	380	465	530	670
2 x Кућиште лежаја [kg]	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Маса осовине[kg] * $k_{m, O}$	1,9 * 1,0	1,9 * 3,5	1,9 * 0,4	1,9 * 0,54	1,9 * 0,72	1,9 * 0,85	1,9 * 1,15
Маса плашта[kg] * $k_{m, P}$	5,4 * 1,0	5,4 * 3,0	5,4 * 0,5	5,4 * 0,63	5,4 * 0,77	5,4 * 0,88	5,4 * 1,12
SR [kg]	13,70	29,25	9,86	10,83	11,93	12,77	14,63

Табела 5.5. Коефицијенти за скалирање челичних делова ваљака, за ваљак пречника 159 mm, део 2:

Дужина ваљака [mm]	750	800	900	950	1000	1150	1250
2 x Кућиште лежаја [kg]	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Маса осовине[kg] * $k_{m, O}$	1,9 * 1,31	1,9 * 1,42	1,9 * 1,63	1,9 * 1,73	1,9 * 1,83	1,9 * 2,15	1,9 * 2,35
Маса плашта[kg] * $k_{m, P}$	5,4 * 1,25	5,4 * 1,33	5,4 * 1,5	5,4 * 1,58	5,4 * 1,67	5,4 * 1,92	5,4 * 2,08
SR [kg]	15,64	16,28	17,60	18,22	18,89	20,85	22,10

Табела 5.5. Коефицијенти за скалирање челичних делова ваљака, за ваљак пречника 159 mm, део 3:

Дужина ваљка [mm]	1400	1500	1600	2000	2200	2400
2 x Кућиште лежаја [kg]	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Маса осовине[kg] * $k_{m, O}$	1,9 * 2,67	1,9 * 2,88	1,9 * 3,08	1,9 * 3,92	1,9 * 4,33	1,9 * 4,75
Маса плашта[kg] * $k_{m, P}$	5,4 * 2,33	5,4 * 2,5	5,4 * 2,67	5,4 * 3,33	5,4 * 3,67	5,4 * 4,00
SR [kg]	24,06	25,37	26,67	31,83	34,45	37,03

5.2.2. Добоши

Сви добоши могу се моделирати на исти начин, као што је представљено у Поглављу 4. Разматрају се деови од челика, легираног челика, гуме (облога добоша) и ваљкасти лежајеви, који се моделирају на исти начин као и котрљајни. Делови од челика, легираног челика и гуме скалирају се према масеном уделу у односу на погонски добош, представљен у [Ђорђевић, et al., 2014a], Табела 5.6.

Табела 5.6. Масени коефицијент за добоше - $k_{m, pulley}$

Добош	L x D 1600 x 800	L ₁ x D ₁	L ₂ x D ₂	...
Маса делова од челика [kg]	$m_{steel} = 1252,00$	$m_{1, steel}$	$m_{2, steel}$	...
Маса делова од легираног челика [kg]	$m_{all. steel} = 751,30$	$m_{1, all. steel}$	$m_{2, all. steel}$	...
Маса гумене облоге [kg]	$m_{rubber} = 157,37$	$m_{1, rubber}$	$m_{2, rubber}$	...
$k_{m, pulley, steel}$	1,0	$m_{1, steel} / m_{steel}$	$m_{2, steel} / m_{steel}$	...
$k_{m, pulley, all. steel}$	1,0	$m_{1, all. steel} / m_{all. steel}$	$m_{2, all. steel} / m_{all. steel}$	...
$k_{m, pulley, rubber}$	1,0	$m_{1, rubber} / m_{rubber}$	$m_{2, rubber} / m_{rubber}$	...

Ваљкасти лежајеви моделирају се на исти начин као котрљајни лежајеви и скалирају се према Табели 5.7.

Табела 5.7. Масени коефицијент за ваљкасте лежајеве - $k_{m, RB}$

Лежај	6310 C3	22240 CCK/W33	...
Маса [kg]	1,1	42,5	...
$k_{m, RB}$	1,0	38,636	...

5.2.3. Транспортна трака

Разматрана је гумирана транспортна трака са текстилним уметцима, тј. вучним слојевима. За анализирани тракасти транспортер на роторном багеру SchRs 1201, трака типа EP 500/3 је дужине $L = 16 \text{ m}$ и ширине $B = 1,6 \text{ m}$ и масе $m_B = 563,2 \text{ kg}$. Површина траке износи $P = L \times B = 16 \times 1,6 = 25,6 \text{ m}^2$.

Транспортна трака је нормирана на 1 m дужине, а укупна количина траке је одређена укупном дужином траке и податком да се трака мења на 2-3 године. Сходно томе потребна дужина траке у метрима множи се коефицијентом 1,5. У случају да је транспортна трака друге ширине или различитог броја вучних слојева, у оквиру поданализе Трака по 1 m (Belting per 1 m) одговарајућа ширина се добија скалирањем, односно множењем одговарајућим параметром. Будући да је анализа приказана у Поглављу 4, спроведена за траку ширине $1,6 \text{ m}$, предлаже се нормирање ширине траке у односу на основну ширину од 1 m , из практичних разлога.

Исто се односи и на измену броја вучних слојева. Трака анализирана у Поглављу 4, има језгро које се састоји од 3 вучна слоја. Предлаже се нормирање дебљине траке у односу на два параметра:

1. дебљина једног вучног слоја – дебљина језгра формирала би се множењем са одговарајућим бројем вучних слојева;
2. по 1 mm дебљине гумене облоге - дебљина гумених облога формирала би се множењем одговарајућом укупном дебљином радне и нерадне гумене облоге заједно.

За случај транспортне траке са челичном ужади, неопходна је додатна анализа такве траке. Део анализе би био идентичан овде презентованој, док би други део, који се односи на језгро од челичне ужади, морао бити урађен и имплементиран у дату поданализу.

Формирање коефицијената за параметризацију транспортне траке своди се на нормирање према дужини, ширини и дебљини траке. Траку дефинишу две целине, део траке од гуме, који чине облоге, и текстилно језгро које чине вучни слојеви. И језгро и вучни слојеви нормирају се у односу на 1 mm дебљине.

За транспортну траку на роторном багеру SchRs 1201, конкретно, маса гумених облога износи $m_R = 450,56 \text{ kg}$, а маса језгра (вучних слојева) $m_{EP} = 112,64 \text{ kg}$. За производњу облога транспортних трака обично се користи гума густине у распону $1100 \div 1250 \text{ kg/m}^3$. Рачунајући са средњом вредношћу густине $q_{R, SR} = 1175 \text{ kg/m}^3$ (Табела 5.8), за масу гуменог дела траке од $m_R = 450,56 \text{ kg}$, из израза (5.1) добија се дебљина од $\delta_R = 15 \text{ mm}$.

$$\delta_R = m_R / (q_{R, SR} \cdot P) = 450,56 / (1175 \cdot 25,6) = 0,01498 \text{ m} \approx 15 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Да би се количина гуме употребљена за производњу траке могла параметризовати, треба је нормирати у односу на 1 m дужине, 1 m ширине и 1 mm дебљине. Тако се, на основу израза (5.2), за траку дужине 1 m , ширине 1 m и дебљине 1 mm добија маса гуме од $1,173 \text{ kg}$.

$$m_R''' = m_R / (L \cdot B \cdot \delta_R) = 450,56 / (16 \cdot 1,6 \cdot 15) = 1,173 \text{ kg} \quad (5.2)$$

Табела 5.8. Густина неких врста гуме

Врста гуме	Густина [kg/m ³]
Природна гума (NR)	920 – 940
Синтетичка гума (SBR, NBR)	950 – 1000
Гума са пуниоцима (техничка гума)	1100 – 1500
Тврда гума (вулканизирана, ебонит)	1100 – 1250

Стандардне ширине траке дате су у Табели 5.9.

Табела 5.9. Стандардне ширине траке

B [mm]	100	200	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------

У складу са стандардним ширинама траке и израчунатом вредношћу $m_R''' = 1,173 \text{ kg}$, преглед маса гумених облога транспортних трака дат је Табелом 5.10.

Табела 5.10. Маса 1 mm дебљине гумене облоге стандардних транспортних трака по дужном метру - m_R''

B [mm]	100	200	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
m_R'' [kg]	0,117	0,235	0,352	0,469	0,587	0,762	0,938	1,173	1,408	1,642	1,877	2,346	2,933

На исти начин дефинише се и маса језгра. Друга опција је дефинисање масе по вучном слоју (тј. за један вучни слој), при чему број вучних слојева варира у опсегу $z = 1 \div 8$ [Gašić, 2010]. Обе варијанте дају исти резултат, а коју је практичније користити, зависи од доступних података.

Вучни слојеви су са основом од полиестера и потком од полиамида. Код ове траке језгро се састоји од 3 вучна слоја. Густина језгра у складу са Табелом 5.11 и начином ткања језгра износи $\rho_{EP} = 1250 \text{ kg/m}^3$.

На основу израза (5.3) и (5.4), за траку дужине 1 m, ширине 1m и дебљине 1 mm добија маса језгра од 1,257 kg.

$$\delta_{EP} = m_{EP} / (\rho_{EP} \cdot P) = 112,64 / (1250 \cdot 25,6) = 0,00352 \text{ m} \approx 3,5 \text{ mm} \quad (5.3)$$

$$m_{EP}''' = m_{EP} / (L \cdot B \cdot \delta_{EP}) = 112,64 / (16 \cdot 1,6 \cdot 3,5) = 1,257 \text{ kg} \quad (5.4)$$

Тада је, у складу са стандардним ширинама траке и израчунатом вредношћу $m_{EP}''' = 1,257 \text{ kg}$, преглед маса језгара транспортних трака са основом од полиестера и потком од полиамида дат Табелом 5.12.

Табела 5.11. Физичка и механичка својства неких пластика

Материјал	Тип	Густина [g/cm ³]	Затезна чврстоћа [Мра]	Модул еластичности [Гра]	Издужење при кидању [%]	Температура топљења [°C]	Хидроскопност [%]	Карактеристике / Напомене
Полиестар (РЕТ)	Полукристалан	1.37–1.41	55–75	2.5–3.0	30–300	255–260	0.1–0.4	Крута, јака, стабилна, мала упојност влаге
Полиамид (РА6)	Полукристалан	1.13–1.15	60–80	2.0–3.0	60–300	220–225	1.2–2.0	Жилав, отпоран на удар, упија влагу
Полиамид (РА66)	Полукристалан	1.14–1.15	70–90	2.5–3.0	50–250	255–265	1.5–2.5	Већа чврстоћа и температура топљења од РА6
Полипропилен (РР)	Полукристалан	0.90–0.91	30–40	1.2–1.8	200–600	160–170	0.01–0.05	Лаган, отпоран, јефтин
Полиетилен (HDPE)	Полукристалан	0.94–0.97	20–35	0.8–1.2	100–1000	130–135	0.01–0.1	Хемијски отпоран, флексибилан
Поликарбонат (РС)	Аморфан	1.20	60–70	2.3–2.6	80–150	250–260	0.15	Прозиран, велика жилавост
ABS	Аморфан	1.03–1.08	40–50	2.0–2.5	10–50	220	0.2–0.3	Жилав, добро се машински обрађује
РОМ (Ацетал)	Полукристалан	1.41–1.43	60–70	2.8–3.2	40–75	165–175	0.2	Висока крутост, отпоран на хабање
PTFE (Тефлон)	Полукристалан	2.15–2.20	20–30	0.4–0.6	200–400	327	<0.01	Ниско трење, изузетна хемијска отпорност
PVC (крути)	Аморфан	1.35–1.45	40–55	2.4–4.1	10–30	75–105	0.1–0.4	Отпоран на хемикалије и пламен
РММА (Акрил)	Аморфан	1.18–1.20	60–75	2.4–3.3	2–10	160–170	0.3	Прозиран, ломљив, УВ отпоран

Табела 5.12. Маса 1 mm дебљине језгра стандардних транспортних трака са основом од полиестера и потком од полиамида по дужном метру - m_{EP}''

B [mm]	100	200	300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
m _{EP} '' [kg]	0,126	0,251	0,377	0,503	0,629	0,817	1,006	1,257	1,508	1,760	2,011	2,514	3,143

5.2.4. Електромотор

У случају ЕМ, разматрају се његове главне компоненте, тј. кућиште, компоненте од челика (статор и ротор) и намотаји. Када су намотаји израђени од бакра, анализа се своди на скалирање параметара из Поглавља 4 у складу са масом делова разматраног ЕМ. За случај намотаја од алуминијума, потребно је урадити додатну поданализу, којом би се обрадиле производне технологије и израчунала потрошња енергије и материјала за тај случај. У фази употребе, потребно је унети конкретну потрошњу датог ЕМ у корелацији са његовом снагом.

5.2.5. Остале компоненте и друге напомене

Остале компоненте скалирају се у односу на њихову масу у односу на компоненте анализиране у Поглављу 4.

Лубрикант се нормира према једном литру. За редуктор транспортера разматраног у Поглављу 4, разматрана је количина од 45 kg лубриканта, што је еквивалентно количини од 50 l. Замена уља у редуктору на годишњем нивоу,

симулирана је дуплирањем ове количине ($50 + 50 = 100$ l). За било који други редуктор, била би разматрана количина уља садржана у том конкретном редуктору.

Транспорт и потрошња енергије за компоненте транспортера одређују се у односу на масу компоненте скалирањем сваке од поданализа представљених у Поглављу 4. Исто важи и за фазу употребе, уз имплементирање стратегије одржавања, односно интервала сервисирања и замене резервних делова транспортера који се разматра.

6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На основу спроведених упрошћених анализа и формалне LCA студије приказани следећи резултати.

Упрошћена анализа ваљака указала је на следеће проблеме и могућа решења:

- лубриканти – представљају опасне материје. Побољшања еколошких, па чак и триболошких својстава могу се остварити заменом стандардних мазива еколошки прихватљивијим (EALs);
- утицај динамичких оптерећења на местима утовара материјала могуће је смањити применом еластичних елемената за пригушење удара и различитим конструкцијским решењима за ослањање ваљака на носећу конструкцију;
- смањење отпора, а тиме и смањење потрошње електричне енергије, могуће је остварити и применом штедљивих лежајева (energy-saving bearings), а њиховом репродукованом додатно се смањују утицаји на животну средину;
- примена секундарних сировина у производњи компонената, као и њихова репарација и рециклажа могу довести до значајних уштеда и смањења утицаја на животну средину;
- означавање потрошености компонената уз дефинисане интервале сервирања у оквиру стратегије одржавања може скратити планиране (и друге) застоје или смањити њихов број, повећавајући поузданост и ефикасност целог система;
- будући да су ваљци подложни запрљавању и изложени хабању, примена материјала са повећаном отпорношћу према хабању, као и конструкцијска решења за спречавање формирања налепа могу продужити њихов радни век и утицати на остваривање значајних уштеда, како у мањој потрошњи ресурса, тако и у другим категоријама утицаја на животну средину.

Упрошћена анализа добоша указала је на то да за проблеме и могућа унапређења у вези са лубрикантима, лежајевима и деловима које се репарирају и рециклирају важе исте препоруке као код ваљака, штавише, оне су универзалне.

Анализом транспортне траке установљено је да:

- је рекондиционирање рабљене траке једна од примењених пракси која доноси већу корист у погледу економске ефикасности и очувању животне средине услед смањене потрошње ресурса и редукције генерисања отпада, као и потребе за одлагањем истог;

- је производња гуме, препозната као „прљава“ технологија. С тим у вези, у фази производње треба избећи употребу опасних супстанци, у мери у којој је то могуће;
- је трака компонента транспортера изложена изразитом запрљавању и хабању, што може изузетно неповољно утицати на транспортовање материјала и функционалност транспортера уопште. Стога се препоручује истраживање различитих био-полимера и других материјала, са посебним освртом на антифрикционе карактеристике њихове површине и отпорност на хабање;
- због изразитог хабања, примена индикатора похабаности, на основу кога би се одређивао преостали радни век траке, односно сервисни интервали, може допринети продужењу њеног радног века и спречавања хаваријских отказа;
- је спој траке место на које треба обратити посебну пажњу, као и његову изведбу;
- еластичне карактеристике облога немају значајан утицај на флексибилност траке, већ број вучних слојева и њихова дебљина. Постизањем одговарајуће крутости траке, могу се смањити отпор кретању траке преко ваљака и отпор савијању траке и произвести тзв. енергетски-штедљива трака (energy-saving belt), која може допринети значајној уштеди енергије у фази употребе и значајном продужењу радног века из истих разлога;
- производња транспортних трака се разликује од произвођача до произвођача, али потрошња енергије зависи од машина које се користе. Ово важи за производњу било које компоненте, генерално. Сходно томе, побољшање енергетске ефикасности се може постићи употребом најсавременијих машина (state-of-the-art). Овако се значјно повећавају инвестициони трошкове, али се на дуге стазе може остварити значајна уштеда у производњи;
- енергетска ефикасност може да се повећа и код постојећих машина применом сталног надзора (мониторинга) и оптимизација параметара процеса у виду компјутеризоване контроле процеса. Ове је, такође, опште примењиво;
- се анализом енергетских токова и из тога проистеклих трошкова, може смањити укупна потрошње енергије производног постројења. Један од могућих приступа је у каскадном коришћењу топлоте на различитим температурним нивоима, при чему се поновном употребом отпадне топлоте, као процесне топлоте, могу постићи нивои ефикасности већи од 80%. Поред тога, на располагању су и постројења за комбиновану производњу топлоте и електричне енергије (CHP). Ове опције су примењиве и на све остале производне процесе;
- се отпад у производном процесу може избећи или минимизирати применом затворених циклуса материјала – сепарацијом и рециклажом материјала током производног процеса, или одвајањем материјала за даљу прераду у специјализованим постројењима.

Анализом електромотора утврђено је да:

- ЕМ свој највећи утицај на животну средину, баш као и транспортер у целини, остварује у фази употребе, највећим делом услед потрошње електричне енергије потребне за његов рад. У складу са тиме потенцијално најбоље

решење је употреба ЕМ са највећом доступном енергетском ефикасношћу, јер и најмање унапређење енергетске ефикасности електричних мотора, може допринети значајној уштеди у потрошњи електричне енергије и одрживом развоју;

- је прегревање главни узрок отказа ЕМ и да се висока поузданост ЕМ може се обезбедити употребом заштитних уређаја од термичког преоптерећења и/или правилним одабиром фактора снаге. Температура ЕМ може се мерити и помоћу сензора отпора (RTD – Resistance Temperature Devices), термопарова или термистора;
- температура лежајева такође се може надгледати коришћењем RTD сензора;
- поред повећања енергетске ефикасности ЕМ, значајно смањење утицаја на животну средину могло би се постићи коришћењем обновљивих извора енергије за њихово напајање;
- до сада није довођена у питање употреба ЕМ за погон транспортера. Међутим, развојем нових технологија и индустријских пробоја на пољу мотора, на тржишту се појављују, и улазе у комерцијалну употребу, мотори који не користе електричну енергију за погон (нпр. магнетни мотори и водонични мотори), а који могу смањити утицаје на животну средину у тој мери да фаза употребе, малтене, може да се занемари.

Упростила оцена животног циклуса комплетног тракастог транспортера кратке деонице довела је до сумарних закључака који могу допринети смањењу утицаја тракастих транспортера на животну средину. Међу њима су:

- одговарајући концепт одржавања;
- употреба опреме за недеструктивну анализу и праћење радних услова (вибродиагностика, термографија ...);
- рекондиционирање, репарација и реупотреба компонената;
- замене конвенционалних материјала обновљивим, као и развој нових материјала са бољим антифрикционим карактеристикама и бољом отпорношћу према формирању налепа;
- анализа токова енергије;
- употреба енергетски најефикасних ЕМ;
- употреба енергетски-ефикасних лежајева и транспортних трака;
- употреба обновљивих извора енергије;
- употреба самочистеће и самоподесиве опреме.

Коначно, формална LCA студија комплетног тракастог транспортера кратке деонице типа „од колевке до гроба“, показала је да фаза употребе, нарочито потрошња електричне енергије ЕМ, представља највеће оптерећење за животну средину у већини категорија утицаја. Производња електричне енергије из лигнита значајно доприноси овим утицајима, путем емисија гасова стаклене баште и тешких метала. Сходно томе, начин добијања електричне енергије представља једно од главних поља за унапређење одрживости.

У фази производње, највеће оптерећење животне средине, токсичност по људе и еко-токсичност земљишта и морске воде, последица је употребе високоугљеничног

ферохрома (68% Cr) у производњи нерђајућег челика. Потрошњи необновљивих ресурса, глобалном загревању и оштећењу озонског омотача највише доприноси производња гуме, која је на бази нафте.

Транспорт има значајан утицај на животну средину, доминантно у категоријама фотохемијске оксидације, ацидификације и еутрофикације, док се његов индиректан утицај огледа у емисијама насталим хабањем кочница и гума током транспорта, које представљају главне узроке штетних утицаја у категоријама токсичности и загађењу водених екосистема.

Овом формалном LCA студијом потврђени су претходно наведени сумарни закључци формиран на бази упрошћене анализе. Применом стратегија наведених у овом истраживању могуће је остварити значајна еколошка побољшања и уштеде, чиме се доприноси одрживом развоју, односно добијању „зеленог“ тракастог транспортера.

У складу са протходно наведеним и односу на дефинисане главне компоненте тракастих транспортера кратких деоница, формиране су фамилије главних компонената. Будући да је том приликом примењен модуларни приступ и да су све компоненте параметризоване и нормиране, било која недостајућа или нова компонента се може засебно анализирати и имплементирати у постојећи модел. У зависности од разматране компоненте, табеле за скалирање компонената одговарајуће фамилије су параметризоване / нормиране према једном метру дужине, литру, слоју, итд. Тако је нпр. код фамилије ваљака, модел формиран на основу глатког ваљка, на који се могу додати гумени дискови и/или гумени прстенови. Дужина ваљка је за дефинисани пречник нормирана у складу са стандардним дужинама ваљака. За сваки стандардни пречник ваљка који се користи у пракси, потребно је формирати табеле за скалирање димензија. На тај начин, формирана је комплетна фамилија ваљака. Уколико се покаже да фамилија ипак није комплетна, на исти начин се дефинише и недостајући тип и имплементира у фамилију ваљака. Исти принцип примењује се за сваку компоненту, односно фамилију.

Код ваљака се фамилија за дати пречник формира скалирањем основног модела у односу на:

- дужину плашта – L_p у [mm];
- дужину осовине – L_o у [mm];
- лежај – y [kg];
- број гумених дискова – RD [N];
- број гумених прстенова – RR [N].

Када су у питању добоши, принцип је потпуно исти као и код ваљака. Гумена облога добоша анализира се на исти начин као код транспортне траке – у односу на 1 mm дебљине облоге.

Код гумене транспортне траке са текстилном испуном се разматрају две основне компоненте: гумене облоге и језгро. Језгро се нормира према дебљини вучног слоја и њиховом броју ($n \times z$), док се гумене облоге нормирају према једном милиметру дебљине гумене облоге ($1m \times 1m \times 1mm = L \times B \times \delta$). Гумене транспортне траке са челичном испуном нису разматране. Оне представљају други тип

транспортних трака, који је потребно засебно анализирати и након тога имплементирати у фамилију транспортних трака.

Елементи електромотора се анализирају упрошћено, као што је приказано у [Ђорђевић, et al., 2014c] и нормирају према маси компонената.

Потрошња, односно употреба лубриканата се нормира у литрима на годишњем нивоу, а резервни делови у складу са стратегијом одржавања и интервалима сервисирања.

6.1. Критички осврт на полазне хипотезе

Након спроведених упрошћених анализа компонената и тракастог транспортера кратке деонице у целини, као и формалне LCA студије, може се констатовати да постављене хипотезе представљају релевантну и методолошки оправдану основу за сагледавање утицаја система, те да у значајној мери потврђују очекиване тенденције. Ипак, оне не обезбеђују потпуну обухватност и прецизност у процени утицаја, с обзиром на то да одређени аспекти анализираног система нису погодни за упрошћене приступе. У таквим случајевима неопходно је применити, ако не формалну LCA студију, онда најмање методу оцењивања животног циклуса производа која омогућава квантитативно сагледавање и поуздану процену утицаја на животну средину. Конкретно:

- добро спроведеним упрошћеним анализама, са добрим квалитетом прикупљених података, ипак се не може заменити формална LCA студија без квантификације утицаја на животну средину. На овај начин се губи одређена транспарентност и могућност прецизног сагледавања „жарних“ тачака;
- упрошћеним, парцијалним анализама може се адекватно заменити комплетна анализа целог тракастог транспортера, што је показано тако што су сумарни резултати парцијалних анализа довели до истих исхода и закључака, као и анализа целог тракастог транспортера;
- ради поједностављења анализе, поједине сложене компоненте могу се представити као компоненте сачињене доминантно од једног материјала, ако се при анализи узму у обзир и утицаји на животну средину у осталим фазама животног циклуса. Ово је потврђено на примеру лежаја, спровођењем различитих упрошћених анализа, као и формалном LCA анализом. При томе је веома значајно прецизно сагледати које све процесе треба узети у обзир приликом моделирања овакве компоненте;
- спровођењем парцијалних анализа животног циклуса и њиховом синтезом може се добити потпуна анализа животног циклуса тракастог транспортера, уколико те парцијалне анализе обухватају и квантификацију утицаја на животну средину.

6.2. Применљивост и значај резултата истраживања

Резултати спроведених анализа и развијених модела имају вишеструку применљивост, како у научноистраживачком, тако и у индустријском контексту. Развијени модели за упрошћене и формалне оцене животног циклуса могу послужити као методолошки оквир за евалуацију енергетских и еколошких перформанси различитих типова тракастих транспортера кратких деоница, као и сродних транспортних система.

Практична вредност резултата огледа се у могућности њихове непосредне примене у пројектовању, избору материјала, оптимизацији одржавања и унапређењу енергетске ефикасности постојећих система. Применом предложених стратегија и препорука може се постићи значајно смањење укупних утицаја на животну средину, што доприноси развоју „зелених“ транспортних система и унапређењу концепта одрживе индустријске производње.

Са научног аспекта, резултати представљају допринос унапређењу методологије оцене животног циклуса техничких система сложене структуре, јер показују да комбинација упрошћених и формалних приступа може дати поуздане и репрезентативне резултате, уз значајно смањење утрошка времена и ресурса у процесу анализе.

7. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведених парцијалних и упрошћених анализа, као и формалне LCA студије, изведени су следећи закључци.

Спроведене упрошћене анализе омогућиле су идентификацију критичних места, односно „жарних“ тачака, које се јављају код појединих компонената тракастих транспортера. Применом предложених решења за сваку од компонената могу се остварити делимична побољшања еколошких карактеристика тракастих транспортера. Показано је да се, уз примену одговарајућих претпоставки и модела, могу спровести довољно поуздане упрошћене LCA анализе, које омогућавају идентификацију мера за значајно смањење утицаја тракастих транспортера на животну средину.

Поред тога, резултати упрошћених анализа послужили су као основа за формирање прецизног модела тракастог транспортера кратке деонице, који је коришћен за спровођење формалне LCA студије. У оквиру развијеног модела главне компоненте транспортера дефинисане су као модули, чијом параметризацијом су формиране фамилије главних компонената тракастих транспортера кратких деоница. Модел је конципиран тако да омогућава једноставно проширење додавањем нових компонената.

Применом развијеног модела, уз дефинисан начин параметризације фамилија компонената, формирана је методологија која омогућава анализу разнородних варијантних решења тракастих транспортера кратких деоница.

Поред тога, додавањем нових типова компонената може се проширити модел и омогућити анализа тракастих транспортера средњих и дугих деоница.

7.1. Научни доприноси

Целокупно истраживање обухватило је дефинисање главних компонената тракастих транспортера кратких деоница са аспекта екодизајна, помоћу којих је омогућено формирање модуларне структуре транспортера и формирање фамилије главних компонената. Развој модела главних компонената оваквих транспортера за упрошћене оцене животног циклуса дефинисао је и главне проблеме који се односе на ове компоненте, као и могућа унапређења, која се пре свега односе на енергетску ефикасност и њихове еколошке карактеристике. Затим је развијен модел за формалну LCA студију, који је основа за формирање методологије за евалуацију енергетских и еколошких перформанси тракастих транспортера кратких деоница.

Претходно наведено је довело до конкретног научног доприноса који се огледа у формираној методологији за евалуацију енергетских и еколошких перформанси тракастих транспортера кратких деоница, уз формиране фамилија главних компонената тракастих транспортера кратких деоница са аспекта екодизајна, помоћу које се могу анализирати тракасти транспортери кратких деоница различитих концепција градње.

7.2. Могући правци даљих истраживања

На основу спроведених анализа, развијених модела и идентификованих ограничења, могу се дефинисати следећи правци даљег истраживања:

- разрада фамилија ваљака различитих пречника:
 - формирати табеле са коефицијентима за скалирање челичних и гумених делова за све стандардне пречнике ваљака, чиме би се омогућило проширење модела и његова примена на различите типове транспортера;
- увођење нових главних компонената у модел:
 - додати шесту компоненту – затезни механизам и формирати фамилију затезних механизма, у складу са различитим типовима затезних механизма;
 - размотрити увођење носеће конструкције као седме главне компоненте, која би се могла третирати као челична конструкција, специфична за дати транспортер, или нормирана у односу на секцију (или полусекцију), слично решењима примењеним код транспортера других деоница;
- преуређење четврте и пете главне компоненте:
 - као четврту главну компоненту предложено је дефинисање погона, под којим би били сврстани ЕМ и компоненте овде разматране као остале компоненте: редуктор, спојнице и кочница;
- проширење области примене на транспортере других деоница, различитих конфигурација и намена:
 - проширење модела новим компонентама и подсистемима, као што су системи за рекуперацију енергије, устављачи, чистачи, плугови, фреквентни регулатори, окретни и гарланд слогови, као и заштитни системи и уређаји.
 - применити и прилагодити развијену методологију анализи тракастих транспортера других траса, укључујући дефинисање њихових главних компонената, специфичних радних услова и карактеристичних проблема који се јављају током рада;
- разрада фазе краја животног циклуса:
 - унапредити постојећу методологију додавањем детаљније анализе фазе краја животног циклуса, која би обухватила различите опције у складу са пирамидом приоритета, укључујући рециклажу, поновну употребу и управљање отпадом;
- интеграција са савременим дигиталним технологијама:
 - истражити могућност повезивања предложених модела са дигиталним системима за мониторинг, управљање и предиктивно одржавање у складу

са концептом Индустије 4.0, ради успостављања динамичке LCA процене у реалном времену и даљег унапређења енергетске и еколошке ефикасности система.

ЛИТЕРАТУРА

- Agencija za zaštitu životne sredine. (2024). Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2023., Ministarstvo zaštite životne sredine, Beograd, RS.
<https://sepa.gov.rs/wp-content/uploads/2025/02/ZivotnaSredina2023.pdf>.
- Ahrens, M., & Southby, S. (2010, March/April). Cutting edge, energy efficient conveyor systems. *Australian Bulk Handling Review: March/April 2010*. 48-55.
- Allen, V., & Reicks, P.E. (2012, October). *Conveyor models as quantitative platforms for belt conveyor energy options* [Paper presentation]. Bulk Solids Europe 2012.
- Alspaugh, M.A. (2003). The evolution of intermediate driven belt conveyor technology. *Bulk Solids Handling*, 23(3), p. 5.
- Alspaugh, M.A. (2004, September 27). *Latest developments in belt conveyor technology* [Paper presentation]. MINExpo 2004, Las Vegas, NV, USA.
- Antoniak, J. (2003). Theoretical basis and industrial applications of energy-saving and increased durability belt conveyors. *Acta Montanistica Slovaca*, 8(2-3), 106-117.
- Antoniak, J. (2010). Energy saving belt conveyors installed in Polish collieries. *Transport problems*, 5(4), 5-14.
- ATB SEVER DOO. (n.d.). *Low voltage three phase TEFC cage motors IE2 high efficiency*.
http://sever.rs/wp02/?page_id=259, accessed on 2014-06-17.
- Awuah-Offei, K., & Adekpedjou, A. (2011). Application of life cycle assessment in the mining industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, 82-89.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-010-0246-6>
- Awuah-Offei, K., Checkel, D., & Askari-Nasab, H. (2009). Evaluation of belt conveyor and truck haulage systems in an open pit mine using life cycle assessment. *Environment*, Paper 8.
https://www.researchgate.net/publication/260991564_Valuation_of_Belt_Conveyor_and_Truck_Haulage_Systems_in_an_Open_Pit_Mine_using_Life_Cycle_Assessment
- Barriga, J., Aranzabe, A., Galda, P., Kruse, M., Jumaine, S., & Andret, M. (2006). Sunflower Based Grease for Heavy Duty Applications. *Mecanica Experimental*, 13, 129-133.
<https://scispace.com/pdf/sunflower-based-grease-for-heavy-duty-applications-13l48thy6f.pdf>
- Bârsan, A., & Bârsan L. (Eds.). (2007). *Ecodesign for Sustainable Development, Volume 1: Fundamentals*. Transylvania University of Brasov, Romania.
- Bošnjak, S., & Zrnić, N. (2012). Dynamics, failures, redesigning and environmentally friendly technologies in surface mining systems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12(3), 348-359.

- Bošnjak, S., Petković, Z., Zrnić, N., Dunjić, M., & Dragović, B. (2011). Redesign of the Bucket Wheel Excavators Substructures Based on the Comparative Stress – Strain Analysis. *Advanced Materials Research*, 402, 660–665.
- Bošnjak, S., Petković, Z., Dunjić, M., Gnjatović, N., & Đorđević, M. (2012). Redesign of the vital subsystems as a way of extending the bucket wheel excavators life. *Technics Technologies Education Management*, 7(4), 1620–1629.
- Bouhaya, L., Le Roy, R., & Feraille-Fresnet, A. (2009). Simplified Environmental Study on Innovative Bridge Structure. *Environmental Science and Technology*, 43(6), 2066–2071.
- Brunner, C.U., Werle, R., & van Werkhoven, M. (2025, August 25). *How International Standards for electric motor systems support policies of countries using these in their regulations*.
<https://www.iec.ch/government-regulators/electric-motors>, accessed on 2025-11-20.
- Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). CEMA Standard No. 502-2004. *Bulk Material Belt Conveyor Troughing and Return Idlers Selection and Dimensions*. Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA) Naples, Florida: 2004.
- Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2007). *Belt Conveyors for Bulk Materials, Sixth Edition, 2nd Printing*. Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA).
- Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA). (2014). *Belt Conveyors for Bulk Materials, Seventh Edition*. Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA).
- Chaoguangyue. (n.d.). *Qindao Chaoguangyue Industry Co., Ltd., Product Category*.
<https://chaoguangyue.en.alibaba.com/>, accessed on 2014-05-15.
- Czaplicka, K. (2003). Eco-design of non-metallic layer composites with respect to conveyor belts. *Materials & Design*, 24, 111–120.
- DIN 22101:2011-12. *Continuous conveyors - Belt conveyors for loose bulk materials - Basis for calculation and dimensioning*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: 2011 (in German).
- DIN 22261-2:2016. *Excavators, spreaders and auxiliary equipment in brown coal opencast lignite mines - Part 2: Calculation Principles*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: 2016 (in German).
- Ditsele, O. (2010). *Application of LCA to estimate environmental impacts of surface coal mining* [Doctoral dissertation]. Missouri University of Science and Technology.
- Ditselle, O., & Awuah-Offei, K. (2012). Effects of mine characteristics on life cycle impact of US surface coal mining. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(3), 287–294.
https://www.researchgate.net/publication/257680025_Effect_of_mine_characteristics_on_life_cycle_impacts_of_US_surface_coal_mining
- Durfor, C.N. (1963). *Water Requirements of the Styrene, Butadiene and Synthetic-Rubber Industries : Water Requirements of Selected Industries* (Geological Survey Water-Supply Paper 1330-F). United States Department of the Interior.
<https://doi.org/10.3133/wsp1330F>
- Durst, W., & Vogt, W. (1988). *Bucket Wheel Excavators*. Trans Tech Publications.
- Đorđević, M., Zrnić, N., & Pantelić, M. (2013). Simplified Life Cycle Assessment of a Return Belt Conveyor Idler. In Golubović-Bugarški, V. (Ed.), *Proceedings of the 11th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering*

- and Information Technology (DEMI 2013) (pp. 243-248). University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering.
http://is.fink.rs/podaci/Slobodan_Savic/47/DEMI%202013.pdf
- Dorđević, M., Zrnić, N., & Jerman, B. (2014a). Simplified Life Cycle Assessment of Belt Conveyor Drive Pulley. In Jovanović, M. (Ed.), *Proceedings of the 5th International Conference Transport and Logistics 2014 (TIL 2014)* (pp. 55-58). University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering.
https://til.masfak.ni.ac.rs/images/pdf/Proceedings_TIL2014.pdf
- Dorđević, M., Zrnić, N., & Jerman, B. (2014b). Simplified Life Cycle Assessment of a Conveyor Belting. In Gašić, M. (Ed.), *Proceedings of the 8th Triennial International Conference Heavy Machinery 2014 (HM 2014) - A SESSION: Earth-moving and Transportation Machinery* (pp. 165-170). University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering in Kraljevo.
<https://www.scribd.com/document/264609928/Proceedings-HM-2014>
- Dorđević, M., Zrnić, N., & Jerman, B. (2014c). Simplified Life Cycle Assessment of a Belt Conveyor Electric Motor. In Dašić, V. (Ed.), *Proceedings of the 14th International Conference Research and Development in Mechanical Industry (RaDMI 2014)* (pp. 671-678). SaTCIP, Vrnjačka Banja.
- Dorđević, M., Zrnić, N., & Jerman, B. (2015). Simplified Life Cycle Assessment of a Belt Conveyor. In Kartnig, G., Zrnić, N., & Bošnjak, S. (Eds.), *Proceedings of the 21st International Conference on Material Handling Constructions and Logistics (MHCL 2015)* (pp. 199-206). University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering.
<https://www.mhcl.info/download?task=download.send&id=39&catid=39&m=0>
- Dorđević, M., Zrnić, N., & Bošnjak, S. (2017). LCA of a Belt Conveyor and its Application, Book chapter No. 8. In Jereb, B. (Ed.), *Scientific monograph: Next Generation Logistics: Technologies and Applications* (pp. 175-197). SPH – Scientific Publishing Hub.
- Dorđević, M., Mladenović, G., Zrnić, N., & Bošnjak, S. (2018). LCA of the Manufacturing Stage of the Laboratory Belt Conveyor. *FME Transactions*, 46(3), 410-417.
- Dorđević, M., Milojević, G., Vujičić, A., & Zrnić, N. (2019). Life Cycle Assessment of the belt conveyor idler ball bearing, In Kartnig, G., Zrnić, N., & Bošnjak, S. (Eds.), *Proceedings of the 23rd International Conference on Material Handling Constructions and Logistics (MHCL 2019)* (pp. 111-116). University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering.
<https://www.mhcl.info/download?task=download.send&id=226&catid=270&m=0>
- Dorđević, M., Zrnić, N., Perić, M., & Komatina, M. (2024). Simplified LCA of a short belt conveyor, In Georgiev, A. (Ed.), *Proceedings of short papers of the 7th International Scientific Conference on Alternative Energy Sources, Materials and Technologies (AESMT'24), Vol. 6* (pp. 117-118). Bulgarian Academy of Sciences, Union of Chemists in Bulgaria, Bulgaria.
<https://machinery.mas.bg.ac.rs/bitstream/id/20079/ShortPaper23.MilosDjordjevic.24.pdf>
- Dorđević, M., Zrnić, N., Perić, M., & Komatina, M. (2026). Life Cycle Assessment of a Short-Flight Belt Conveyor. *Thermal Science*, 30 (2B), 1361-1374.
<https://doi.org/10.2298/TSCI250516155D>

- ECHA European Chemicals Agency. (n.d.). *REACH Candidate List of Substances of Very High Concern for Authorisation Grows*.
<https://echa.europa.eu/-/reach-candidate-list-of-substances-of-very-high-concern-for-authorisation-grows>, accessed on 2025-11-16.
- Erkayaoğlu, M., & Demirel, N. (2016). A comparative life cycle assessment of material handling systems for sustainable mining. *Journal of Environmental Management*, 174, 1-6.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716301013>
- FAM. (n.d.). *FOR LPD 2*.
<https://fam.co.rs/art/246/mazive-masti-i-specijalna-maziva/specijalna-maziva-za-dugotrajno-podmazivanje/for-lpd-2.html>, accessed on 2013-05-11.
- Ferreira, H., & Garcia Praça Leite, M. (2015). A Life Cycle Assessment study of iron ore mining. *Journal of Cleaner Production*, 108(Part A), 1081-1091.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615007611>
- Furmanik, K. (2009). Analysis of Load Application on Idler Roller Bearing of Belt Conveyor in Different Dynamic Models. *Journal of Friction and Wear*, 30(2), 142-147.
- Gašić, M. (2010). *Transportni uređaji: Neprekidni transport*. Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet Kraljevo.
- Goedkoop, M. (2013). *SimaPro: Life Cycle Assessment Software (Version 8.0.4.7)* [Computer software]. PRé Sustainability.
- Günthner, W.A., Tilke, Ch., & Rakitsch, S. (2010). Energy Efficiency in Bulk Materials Handling. *Bulk Solids Handling*, 30(3), 138-142.
- IEC 60034-30-1:2014 *Rotating electrical machines - Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)*. International Electrotechnical Commission. Geneva: 2014 (in English/French).
- ISO 14001:2015. *Environmental management systems — Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization. Geneva: 2015.
- ISO 14006:2020. *Environmental management systems — Guidelines for incorporating ecodesign*. International Organization for Standardization. Geneva: 2020.
- ISO 5048:1989. *Continuous mechanical handling equipment — Belt conveyors with carrying idlers — Calculation of operating power and tensile forces*. International Organization for Standardization. Geneva: 1989.
- Jatić, D. (2025). *Uprošćena ocena životnog ciklusa ručnog, zateznog mehanizma na trakastom transporteru rotornog bagera* [Master teza]. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.
- JCB. (n.d.). *Hydrogen is working*.
<https://www.jcb.com/en-gb/campaigns/hydrogen>, accessed on 2025-11-20.
- Kalpakjian, S., & Schmid, R.S. (2007). *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th Edition, Pearson Prentice Hall.
- Karunaratne, S.W., & Piyadasa, K.A. (1973). Coagulation of Natural Rubber Latex with Hydrochloric Acid (Hcl). *Q. Jl. Rubb. Res. Inst. Sri Lanka (Ceylon)*, 50, 151-156.
<https://dl-rri.nsf.gov.lk/rri/api/core/bitstreams/2016b272-a2fa-4a71-ae5a-622551934247/content>
- Konieczna-Fuławka, M. (2025). Energy-Saving Solutions Applied in Belt Conveyors: A Literature Review. *Energies* 2025, 18(12), 3019.
<https://doi.org/10.3390/en18123019>

- Kreitlein, S., Hofmann, B., Meyer, A., Spreng, S., Kuehl, A., & Franke, J. (2016). Strategies and methods for energy efficient production of electric drives. *Procedia CIRP*, 48, 114-121.
- Kurle, D., Schulze, C., Herrmann, C., & Thiede, S. (2016). Unlocking waste heat potentials in manufacturing. *Procedia CIRP* 48, 289-294.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116300774>
- Landi, D., Vitali, S., & Germani, M. (2016). Environmental analysis of different end of life scenarios of tires textile fibers. *Procedia CIRP* 48, 508-513.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116301123>
- Langerholc, M., Zrnić, N., Đorđević, M., & Jerman, B. (2013). Conveyor Design Optimization as the Provision of Sustainability. *TEHNICKI VJESNIK-TECHNICAL GAZETTE*, 20(5), 837-846.
- Levandowska, A., & Matuszak-Flejszman, A. (2014). Eco-design as a normative element of Environmental Management Systems – the context of the revised ISO 14001:2015. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 19, 1794-1798. DOI 10.1007/s11367-014-0787-1.
- Markos, P., & Dentsoras, A. (2018). An Index that Correlates Service Performance and Energy Consumption of Belt Conveyors. *FME Transactions*, 46(3), 313-319.
- Morris, R. (Ed.). (2007). *Ecodesign for Sustainable Development, Volume 2: Product Life Cycle Assessment*. Transylvania University of Brasov, Romania.
- Motina, L., & Rex, A. (2021). Reducing Over-consumption of Acid during Skim Latex Coagulation in Cameroon's Rubber Processing Factories. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 80(1), 1-16.
- Nieuwlaar, E., Warringa, G., Brink, C., & Vermeulen, W. (2005). Supply curves for eco-efficient environmental improvements using different weighting methods. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 85-96.
- Norgate, T., & Haque, N. (2010). Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations. *Journal of Cleaner Production* 18(3), 266-274.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652609003199>
- Pantelić, M. (2009). *Unapređenje koncepcije održavanja putem operationog upravljanja sigurnošću bagerskih jedinica na površinskim kopovima* [Doktorska disertacija]. Fakultet tehničkih nauka u Čačku Univerziteta u Kragujevcu.
- Pantelić, M., Papić, Lj., & Aronov, J. (2011). *Inženjerstvo održavanja i sigurnosti bagerskih jedinica*. Istraživački centar DQM.
- Paralika, M. (Ed.). (2007). *Ecodesign for Sustainable Development, Volume 3: Product Recycling Technologies*. Transylvania University of Brasov, Romania.
- Reeves, C.J., Garvey, S., Menezes, P.L., Dietz, M., Jen, T-C., & Lovell, M.R. (2012). Tribological Performance of Environmentally Friendly Ionic Liquid Lubricants. *Proceedings of the ASME/STLE 2012 International Joint Tribology Conference - IJTC2012*, 1-3.
- Ristić, L., Bebić, M., Štatkić, S., Mihailović, I., Jevtić, D., & Fevtenić, B. (2011). Bulk material transportation system in open pit mines with improved energy efficiency, In *Proceedings of the 15th WSEAS international conference on Systems* (pp. 327-332). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).

- Sangwan, K.S., Herrmann, C., Egede, P., Bhakar, V., & Singer, J. (2016). Life cycle assessment of arc welding and gas welding processes. *Procedia CIRP* 48, 62-67.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282711630066X>
- Schröder, D.L. (2003, June 8-11). *The use of in-pit crushing and conveying methods to significantly reduce transportation costs by truck* [Paper presentation]. Coaltrans Asia, Bali International Convention Centre.
- Slach Hydratecs Equipment (P) Limited. (n.d.). *Slach Hydratecs Hitech Two Roll Mixing Mill*.
<https://4.imimg.com/data4/JT/JF/MY-440677/slach-hydratecs-rubber-mixing-mills.pdf>, accessed on 2014-05-15.
- SKF. (n.d.). *SKF Energy Efficient deep groove ball bearings*.
<https://docs.rs-online.com/b7ae/A700000009135425.pdf>, accessed on 2013-05-13.
- SRPS EN 60034-30-1:2017 *Obrtne električne mašine – Deo 30-1: Klase efikasnosti mrežno napajanih motora naizmenične struje (IE kôd)*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2017.
- SRPS EN ISO 14050: 2020. *Menadžment životnom sredinom – Rečnik*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2020.
- SRPS EN ISO 14067: 2019. *Gasovi staklene bašte – Ugljeni otisak proizvoda – Zahtevi i smernice za kvantifikaciju*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2019.
- SRPS ISO 14040:2008. *Upravljanje zaštitom životne sredine – Ocenjivanje životnog ciklusa – Principi i okvir*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2008.
- SRPS ISO 14044:2009. *Upravljanje zaštitom životne sredine – Ocenjivanje životnog ciklusa – Zahtevi i uputstva za primenu*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2009.
- SRPS ISO 14045:2014. *Menadžment životnom sredinom – Ocenjivanje eko-efikasnosti sistema proizvoda – Principi, zahtevi i smernice*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2014.
- SRPS ISO 14046:2017. *Menadžment životnom sredinom – Vodni otisak – Principi, zahtevi i smernice*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2017.
- SRPS ISO/TR 14049:2018. *Menadžment životnom sredinom – Ocenjivanje životnog ciklusa – Ilustrovani primeri načina primene ISO 14044 u definisanju ciljeva, predmeta i područja primene i analize inventara*. Institut za standardizaciju Srbije. Beograd: 2018.
- SRPS ISO/TS 14048:2006. *Upravljanje zaštitom životne sredine – Ocenjivanje životnog ciklusa – Dokumentacioni format podataka*. Zavod za standardizaciju Srbije. Beograd: 2006.
- Sukirno, Fajar, R., Bismo, S., & Nasikin, M. (2009). Biogrease Based on Palm Oil and Lithium Soap Thickener: Evaluation of Antiwear Property. *World Applied Sciences Journal*, 6(3), 401-407.
- Tanabe, I. (2016). Double-ECO model technologies for an environmentally-friendly manufacturing. *Procedia CIRP* 48, 495-501.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116305339>
- Tapp, A.G. (2000). Energy saving troughing idler technology. *Bulk Solids Handling*, 20(4), 437-449.
- Telenko, C., & Seepersad, C.C. (2012). A Comparative Evaluation of Energy Consumption of Selective Laser Sintering and Injection Molding of Nylon Parts. *Rapid Prototyping Journal*, 18(6), 472-481.
<http://utw10945.utweb.utexas.edu/Manuscripts/2011/2011-04-Telenko.pdf>

- Thiriez, A., & Gutowski, T. (2006). An Environmental Analysis of Injection Molding. *Proceedings of the 2006 IEEE - International Symposium on Electronics and the Environment*, 1-7.
- Toyota. (n.d.). 2025 Toyota Mirai.
<https://www.toyota.com/mirai/>, accessed on 2025-11-20.
- Tutton, D., & Streck, W. (2009, October 8-9). *The application of in-pit crushing and conveying in large, hard rock open-pit mines* [Paper presentation]. Mining Magazine Congress, Niagara-on-the-lake.
- Wheeler, C.A. (2003, July 23–24). *Predicting the main resistances of belt conveyors* [Paper presentation]. BELTCON 12 - International Materials Handling Conference, Johannesburg, RSA.
<http://www.saimh.co.za/beltcon/beltcon12/paper1208.htm>.
- Wilson, B., Davis, S.J., & Wolton, M. (2011). Options for long-distance, large-capacity bulk materials conveying, *Bechtel Technology Journal*, 3(1), 1-15.
- Wimmer, W. (Ed.). (2007). *Ecodesign for Sustainable Development, Volume 4: Product Development*, Transylvania University of Brasov, Romania.
- Wimmer, W., & Züst, R. (2003). *Ecodesign PILOT – Product Investigation, Learning and Optimization Tool for Sustainable Product Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (The Netherlands).
- Wimmer, W., Huber, M., Pamminger, R., Judmaier, P., Schmid, J., & Ostad, H. (2000). ECODESIGN PILOT (Version 3.0) [Computer software]. Vienna University of Technology, Institute for Engineering Design and Logistic Engineering.
www.ecodesign.at
- Yeo, Z., Sze Choong Low, J., Ng, R., & Tan H.X. (2016). Planning for environmental sustainability improvements – A concept based on Eco-efficiency improvement, *Procedia CIRP* 48, 526-531.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116301287>
- Zhang, S., & Xia, X. (2011). Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors. *Applied Energy*, 88, 3061-3071.
- Zimmermann, E., & Kruse, W. (2006). Mobile crushing and conveying in quarries - a choice for better and cheaper production! *ISCSM Aachen*.
<https://www.911metallurgist.com/wp-content/uploads/2015/12/mobile-crushing.pdf>
- Zrnić, N., & Đorđević, M. (2012). *Dizajn i ekologija: Održivi razvoj proizvoda*. Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet.

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Милош Ђорђевић је рођен 13.07.1980. године у Београду. Основну и средњу школу завршио је у Београду. Био је ученик генерације ТШ „Петар Драпшин“ 1999. године. Исте године уписао је Машински факултет, Универзитета у Београду, а дипломирао 2007. године. Исте године уписао је докторске студије у истој установи, где се и запослио у својству сарадника – истраживача. Радни однос заснива као Сарадник на пројекту ТР 14052, 01.10.2008, затим на пројекту ТР 35006, 01.01.2011. Дана 01.03.2012. бива изабран у звање Истраживач сарадник. Радни однос наставља у својству Стручног сарадника, од 01.06.2015. г. до данас.

Коаутор је 35 научних и стручних радова (7 са SCI листе). Учествовао је на 3 пројекта финансирана од стране МПНТР РС, затим у реализацији 2 техничка решења и 52 оригинална стручна остварења за потребе привреде.

Коаутор је уџбеника Машинског факултета Универзитета у Београду, објављеног 2012. године под називом: „Дизајн и екологија – одрживи развој производа“. Учествовао је у приређивању монографије под називом „140 година наставе у области машинства у Србији и 65 година самосталности Машинског факултета у Београду“, објављене 2013. године.

Био је члан Организационог одбора Међународне конференције „МНCL“, и то 2009., 2012., 2015., 2017., 2019., 2022. и 2024. године.

За свој рад, добио је следеће награде:

- Златну медаљу са ликом Николе Тесле, 2010. године;
- Диплому Привредне коморе Београда, 2010. године.

Обучен је за рад на скенеру за испитивање трака са челичном ужади „Introcon S 2000“. У свакодневном раду користи CAD и LCA програмске пакете.

Поред матерњег, говори енглески, мађарски и руски језик.

Активно учествује у извођењу наставе на предметима Катедре за механизацију, за. Његов наставни и педагошки рад високо је вреднован.

Од 2022. године отац је једног детета – Марије.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани Милош Д. Ђорђевић, дипл. инж. маш.

број индекса Д20/16

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Утицај екодизајна на унапређење еколошких карактеристика тракастих
транспортера кратких деоница

- 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, 23.03.2026.

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милош Ђорђевић

Број индекса Д20/16

Студијски програм _____

Наслов рада Утицај екодизајна на унапређење еколошких карактеристика тракастих
транспортних средстава кратких деоница

Ментор др Ненад Зрнић, редовни професор

Потписани Милош Д. Ђорђевић, дипл. инж. маш.

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао 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, 29.04.2026.

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

Утицај екодизајна на унапређење еколошких карактеристика тракастих
транспортних средстава кратких деоница

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао 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.

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, 23.03.2026.

1. Ауторство - Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.

