

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

др Предраг Петровић, дипл. грађ. инж.

**ОПТИМИЗАЦИЈА ИЗБОРА  
ГРАЂЕВИНСКИХ МАШИНА**

**- ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА -**

Београд, 2011. године







РД-21319

Универзитет у Београду  
Грађевински факултет



мр Предраг Петронијевић, дипл. грађ. инж.

**ОПТИМИЗАЦИЈА ИЗБОРА  
ГРАЂЕВИНСКИХ МАШИНА**

-докторска дисертација-

Београд, 2011. године



Ментори:

проф. др Живојин Прашчевић, дипл. грађ. инж.

проф. др Бранислав Ивковић, дипл. грађ. инж.



## Мојој породици



мр Предраг Петронијевић, дипл. грађ. инж.

## Оптимизација избора грађевинских машина

### Резиме

Грађевинска механизација представља кључни ресурс при извођењу већине грађевинских пројеката. Планирање рада грађевинске механизације има значајан утицај на економску успешност рада грађевинске фирме као и сваког појединачног пројекта. Једна од кључних одлука при извођењу инвестиционих пројеката у грађевинарству је избор грађевинских машина на поједином пројекту.

Проблем избора грађевинских машина најчешће представља слабу тачку планирања у грађевинарству. Услед недостатка научног приступа овом проблему, као и доступних метода избора и оптимизације у овој области, избор машина је углавном базиран на препорукама произвођача, као и интуицији извођача у избору типа, модела и марке опреме која ће се користити.

Предмет истраживања ове дисертације је начин оптималног избора грађевинске механизације. Процес избора машина обухвата избор оптималне, између више алтернатива, што захтева како техничке тако и економске анализе. За добијање оптималног избора машина, неопходно је сагледати све релевантне утицаје. Потребно дефинисати шта представља избор машина, на основу чега се он врши, шта утиче на улазне параметре, како да се они сагледају на исправан начин, како креирати и користи базе историјских података у овом поступку, које критеријуме применити при оптимизацији избора, и како спровести саму оптимизацију избора грађевинских машина.

Нови присуп избору машина, описан у овом раду, је последица већих могућности финансирања набавке машина, потребе за више критеријума оптималности, прилагођавања прорачуна коштања радног сата и детаљније анализе технолошких ограничења на појединој позицији рада. Увођењем нових критеријума усклађености рада машина могуће је лакше и брже сагледавање могућности да се појединачна комбинација машина побољша и утврде њене граничне вредности могућих побољшања.

На основу описаног новог модела избора машина, као и дефинисаних критеријума оптималности, креиран је информациони систем за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације CESAD (Construction Equipment Selection ADviser). Из расположивог скупа машина, описа позиције рада и услова ограничења, овај програм одређује најбоље комбинације машина по више критеријума. Од формираних комбинација машина, као и задатих критеријума, дефинисан је модел за оптимизацију избора. Обзиром да оптимизација избора има изразити вишекритеријумски карактер, изабрана је метода Аналитичког хијерархијског процесирања – АХП.

У раду је приказан математички модел АХП методе и дефинисан је начин поређења алтернатива у складу са раније дефинисаним критеријумима. Модел оптимизације тестиран је на конкретном примеру са анализом осетљивости решења.

**Кључне речи:** Грађевинске машине, избор машина, оптимизација, АХП, CESAD



Predrag Petronijević, M.Sc CE

## **Construction equipment selection optimization**

### **Abstract**

A key resource in the realization of construction projects is the choice of construction mechanization. Correct and careful planning in the usage of this mechanization plays a vital role in and determines the economic success of not only major construction companies but any number of other individual construction projects. Therefore, the choice and decision of which construction machinery to be applied is of the utmost significance prior to any constructional investment decision.

A lack of planning and analysis in construction is more often than not the source of problems in the optimal choice of construction machinery. Another factor influencing poor choice is due to the lack of an analytical scientific approach, which is further compounded by a lack of availability of choice optimization methods. Consequently, the choice of type, model and brand of machinery is based on recommendations made by manufactures or the business sense and intuition of the contractor.

The research subject of the dissertation is the application of an efficient and optimal methodology in choosing construction mechanization. Among the variety of alternatives, the choice of machinery requires optimality. It requires both a technical and economical analysis. To achieve optimal machinery choice, it is essential that all relevant influences are taken into account. It is necessary to define what represents machine choice, on what this representation is based on and how it is formed, what influences there are on input parameters, how these parameters should be perceived in the light of facts, how to create and use historical data in this process, which criteria should be employed prior to optimal choice and how to carry through with the optimal construction mechanization choice (once made) itself.

A new approach in the choice of machinery, as detailed in this work, is a consequence of greater financial capabilities in the acquisition of machinery, a need for a more stringent optimality criteria, adaptability in the calculation of the cost of the work hour and detailed analysis of the technical limitations in some positions. The introduction of new a criterion in relation to the employment of machinery will allow for an easier and quicker analysis of the possible combinations of machinery to improve their efficiency, optimal performance and improve limitation values.

A new information system, CESAD (Construction Equipment Selection Adviser) has been devised in order to facilitate and support the planning and usage of the construction mechanization. It is based on the principal of the new descriptive model choice and the defining optimality criteria. This program can determine the best machine combination from a pool of machinery, work location and conditional limitation values, using a number of criteria. An optimal model choice is given from formed machine combinations and existing criteria. The optimal choice is thereby based on a distinctive multi characteristic criterion – the Analytical Hierarchal Process or AHP. The mathematical model AHP method has been demonstrated at work and a comparison of alternatives has been defined in accordance with existing defining criteria. The optimality model has been tested on concrete samples with an analysis of solution perceptibility.

---

Key words: Construction equipment, selection, optimization, AHP, CESAD



## Садржај:

<b>1 Увод</b> .....	<b>1</b>
1.1 Увод.....	2
1.1.1. Експлоатација грађевинских машина .....	2
1.1.2 Принципи приликом избора грађевинских машина .....	6
1.2 Дефинисање предмета истраживања.....	6
1.3 Хипотезе истраживања.....	7
1.4 Циљеви истраживања.....	7
1.5 Обим и ограничења истраживања .....	8
1.6 Дијаграм структуре докторске дисертације.....	9
1.7 Структура докторске дисертације.....	10
<b>2 Анализа и систематизација прикупљених података</b> .....	<b>12</b>
2.1 Увод.....	13
2.2 Трошкови основног средства .....	14
2.2.1 Прорачун трошкова депресијације .....	14
2.2.1.1 Метода равномерне амортизације.....	15
2.2.1.2. Метода збира година (Sum-of-the-Years Method).....	15
2.2.1.3 Метода силазне равнотеже (Declining - Balance Method).....	16
2.2.2 Коришћење историјских података при процени резидуалне вредности.....	17
2.2.3 Анализа осетљивости метода .....	21
2.3 Радни век машине и његов утицај на избор машине.....	26
2.3.1 Типови радног века машине.....	27
2.4 Утицај трошкова енергената на коштање радног сата.....	28
2.4.1 Утицај трошкова енергије на коштање радног сата машина.....	29
2.4.2 Утицај трошкова мазива на коштање радног сата машина.....	31
2.4.3 Утицај техничке дотрајалости машине на потрошњу горива и мазива.....	31
2.5 Прорачун трошкова рада грађевинских машина према USACE .....	33
2.5.1 Увод .....	33
2.5.2 Извори технолошких информација .....	33
2.5.3. Дефиниција проблема.....	34
2.5.4 USACE .....	35
2.5.5 Утицај услова рада машине.....	37
2.5.6 Избор механизације .....	38
2.5.7 Набавна вредност машине.....	38



2.5.8 Економски век машине и годишњи фонд радног времена .....	38
2.5.9 Преостала вредност грађевинске вредности машине .....	40
2.5.10 Трошкови основног средства .....	40
2.5.10.1 Трошкови депресијације (DEP) .....	40
2.5.10.2 Трошкови ангажованог капитала (FCCM) .....	42
2.5.11 Прорачун експлоатационих трошкова .....	42
2.5.11.1. Трошкови енергената .....	42
2.5.11.2 Трошкови замене филтера, уља и подмазивања .....	44
2.5.11.3 Трошкови одржавања .....	44
2.5.11.4 Трошкови пнеуматика .....	45
2.5.10.5 Прорачун коштања радног сата машине на чекању .....	46
2.5.11 Прилагођавање датих података реалним условима .....	46
2.5.11.1 Промене у условима окружења .....	47
2.5.11.2 Промене у трошковима ангажовања капитала .....	47
2.5.11.3 Промене услед измене радног времена .....	47
2.5.11.4 Промене услед измене у ценама горива и мазива .....	47
2.5.11.5 Промене услед разлике старости машине у односу на таб. 2-1 .....	48
2.5.11.6 Промене услед старости машине веће него што је планирани радни век .....	48
2.5.11.7 Промене цене радног сата на чекању услед старости машине која се разликује од старости наведене у табели 2-1 .....	48
2.5.12 Примена методологије прорачуна USACE ван тржишта САД .....	49
<b>3 Постојећи модел избора грађевинских машина .....</b>	<b>54</b>
3.1 Увод у избор машина на класичан начин .....	55
3.2 Коментар избора машина на класичан начин .....	60
3.2.1 Непрецизно дефинисани улазни подаци .....	60
3.2.2 Мали број комбинација .....	62
3.3.3 Усвајање машина истог модела за једну операцију .....	63
3.3.4 Недостатак података о $K_h$ на чекању ( <i>Standby Rate</i> ) .....	63
3.3.5 Неусклађеност учинака машина у истој комбинацији .....	64
3.3.6 Примена истог фактора режијских трошкова на свим машинама .....	65
3.3.7 Недефинисан критеријум оптималности машина на нивоу пројекта .....	66
3.3.8 Недостатак података о оствареном профиту .....	66
3.3.9 Мањак критеријума оптималности избора .....	67
<b>4 Предлог новог модела избора грађевинских машина .....</b>	<b>68</b>
4.1 Нови модел избора грађевинских машина на једној позицији рада .....	69



4.1.1	Процедура избора машина.....	69
4.1.2	Методологија избора грађевинских машина.....	71
4.2	Избор машина при набавци нове машине.....	77
4.2.1	Критеријум при избору машина.....	77
4.2.2	Избор машина према моделу финансирања.....	80
4.2.3	Набавка нове машине коришћењем финансијског лизинга.....	81
4.2.4	Одлука о избору између лизинга, куповине или изнајмљивања машине.....	87
4.2.5	Утицај рентирања и лизинга машина на прорачун коштања радног сата.....	89
<b>5</b>	<b>Модел оптимизације избора грађевинских машина.....</b>	<b>90</b>
5.1	Приказ постојећих модела оптимизације избора грађевинских машина.....	91
5.2	Полазне претпоставке новог модела.....	92
5.2.1	Параметри избора машина према минималној јединичној цени позиције.....	93
5.2.2	Параметри избора машина према максималном приходу.....	95
5.2.3	Параметри избора машина према минималним једничним трошковима.....	96
5.2.4	Параметри избора машина према минималном трајању радова.....	97
5.2.5	Мере усклађености учинка машина у групи.....	97
5.3	Оптимизација избора машина на нивоу пројекта.....	102
<b>6</b>	<b>Модел информационог система за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације.....</b>	<b>105</b>
6.1	Принцип рада програма CESAD.....	106
6.2	Дефинисање почетних параметара.....	107
6.3	Одређивање машинског парка.....	108
6.4	Шири избор машина.....	110
6.5	Ужи избор машина.....	113
<b>7</b>	<b>Избор оптималне комбинације машине на основу више критеријума.....</b>	<b>116</b>
7.1	Оптимизација система.....	117
7.2	Математички модел АХП методе.....	120
7.2.1	Математичка основа АХП методе.....	120
7.2.2	Конзистентност решења.....	124
7.3	Оптимизација избора грађевинских машина применом АХП методе.....	125
7.3.1	Примена АХП методе у оптимизацији избора грађевинских машина.....	125
7.3.2	Оптимизација избора машина на позицији земљаних радова.....	127
7.3.3	Анализа осетљивости решења.....	136
7.3.4	Резултати примене оптимизације.....	140
7.3.5	Закључак о примени АХП методе у оптимизацији избора грађевинских машина.....	141



<b>8 Закључак и правци даљих истраживања .....</b>	<b>143</b>
8.1 Закључна разматрања.....	144
8.2 Оригинални научни доприноси.....	146
8.3 Правци даљих истраживања.....	147
<b>9 Литература.....</b>	<b>149</b>

## Листа слика:

Слика 1.1	- Економски услов примене машинског рада.....	3
Слика 1.2	- Дијаграм структуре докторске дисертације.....	9
Слика 2.1	- Расподела депресионе вредности током времена за равномерну депресијацију.....	15
Слика 2.2	- Пад вредности машине током времена према "Методи сума година".....	16
Слика 2.3	- Упоредни приказ пада вредности током времена према различитим моделима.....	17
Слика 2.4	- Пад резидуалне вредности током времена.....	18
Слика 2.5	- Промена резидуалне вредности у генерацијама.....	19
Слика 2.6	- Приказ RVP вредности у односу на реалне податке са аукција.....	21
Слика 2.7	- Структура трошкова за кипер Volvo 25E.....	23
Слика 2.8	- Структура трошкова за багер Caterpillar 320.....	23
Слика 2.9	- Трошкови депресијације према различитим моделима за бaгер CAT 320.....	25
Слика 2.10	- Физички, профитни и економски век машине.....	27
Слика 2.11	- Промена цене горива D2 у Србији у периоду октобар 2003–јул 2009.....	30
Слика 2.12	- Утицај промене цене D2 на цену радног часа на примеру CAT 320.....	30
Слика 2.13	- Утицај промене цене D2 на цену ископа по m <sup>3</sup> на примеру CAT 320.....	31
Слика 2.14	- Утицај техничке дотрајалости машине на коштање радног сата (лево) и на коштање ископа по јединици мере (десно) за багер CAT 320.....	32
Слика 2.15	- Део табеле 2-1.....	36
Слика 2.16	- Део табеле 2-2.....	36
Слика 2.17	- Пример дефинисања услова рада и радног века за групе машина.....	37
Слика 2.18	- Додатак Д (Appendix D).....	39
Слика 2.19	- Регионалне специфичности за регион 1 из додатка Б (Appendix B).....	39
Слика 2.20	- Додатак Ф (Appendix F) – цене пнеуматика по врстама.....	41
Слика 2.21	- Део додатка Е (Appendix E) – индекси промена цена.....	41
Слика 2.22	- Пример дела табеле 3-1.....	48
Слика 2.23	- Табела 3-2.....	48
Слика 2.24	- Цена електричне енергије по регионима [\$/KWh].....	50
Слика 2.25	- Број радних сати на годишњем нивоу по регионима.....	50
Слика 2.26	- Структура трошкова за кран са решеткастом катарком, 150тона, 260`стрелом за средње (average) и тешке (severe) услове рада.....	51
Слика 2.27	- Структура коштања радног сата за кран са решеткастом катарком, 150тона, 260`стрелом за средње (average) услове рада.....	51



Слика 3.1	- Матрица ширег избора машина за плитки ископ хумусног тла (једна комбинација).....	57
Слика 3.2	- Прорачун једне комбинације машина у ужем избору машина.....	58
Слика 4.1	- Шема процедуре избора грађевинских машина.....	70
Слика 4.2	- Најважнији фактори при избору машине при набавци.....	78
Слика 4.3	- Главне области развоја произвођача грађевинских машина.....	78
Слика 4.4	- Однос трошкова радног сата за изнајмљивање, куповину и лизинг.....	88
Слика 5.1	- Однос цене по јединици мере и коефицијента K1.....	98
Слика 5.2	- Однос цене по јединици мере и коефицијента K2.....	99
Слика 5.3	- Алгоритам оптимизације избора машина на нивоу Пројекта.....	103
Слика 6.1	- Алгоритам рада програма CESAD.....	106
Слика 6.2	- Отварање нове базе у програму CESAD.....	107
Слика 6.3	- Дефинисање позиције у програму CESAD.....	108
Слика 6.4	- Дефинисање машине у програму CESAD.....	109
Слика 6.5	- Дефинисање варијанте 3 позиције 1001.....	110
Слика 6.6	- Креирање операција.....	111
Слика 6.7	- Шири избор машина.....	111
Слика 6.8	- Одређивање машина које учествују у ужем избору.....	112
Слика 6.9	- Ужи избор машина.....	113
Слика 6.10	- Детаљни приказ комбинација ужег избора машина (део приказа).....	114
Слика 7.1	- Дијаграм функције или процеса који се оптимизују.....	117
Слика 7.2	- Класификација оптимизација.....	117
Слика 7.3	- Општи хијерархијски модел АХП.....	121
Слика 7.4	- Хијерархијски модел АХП методе на оптимизацији избора машина.....	126
Слика 7.5	- шири избора машина на позицији која се оптимизује.....	128
Слика 7.6	- Рангирање алтернатива са приказом релативне важности.....	135
Слика 7.7	- Рангирање комбинација према критеријуму и свеукупно.....	136
Слика 7.8	- Рангирање алтернатива за фаворизован критеријум "Учинак".....	136
Слика 7.9	- Рангирање критеријума за фаворизован критеријум "Цена по ЈМ".....	137
Слика 7.10	- Рангирање алтернатива за фаворизован критеријум "Профит по јм".....	137
Слика 7.11	- Графички приказ резултата поређења.....	138
Слика 7.12	- Графички приказ резултата поређења према новом критеријуму.....	139
Слика 7.13	- Рангирање алтернатива према измењеном критеријуму.....	140
Слика 7.14	- Рангирање комбинација према новим критеријуму и свеукупно.....	140

## Листа табела:

Табела 2.1 - Прорачун коштања радног сата и цене по јединици мере.....	22
Табела 2.2 - Приказ депресијације током 8 година за три модела.....	24
Табела 5.1 - Приказ резултата прорачуна једне комбинације.....	100
Табела 5.2 - Рекапитулација резултата прорачуна 10 комбинација избора машина...	101
Табела 7.1 - Објашњење вредности Сатијеве скале.....	122
Табела 7.2 - Вредности RI случајних индекса (Saaty, 1980.).....	125
Табела 7.3 - 9 најбољих комбинација по учинку, профиту и цени по јм добијених из програма CESAD.....	129
Табела 7.4 - Рекапитулација добених комбинација машина .....	130
Табела 7.5 - Поређење комбинација по учинку .....	130
Табела 7.6 - Поређење комбинација по јединичној цени .....	131
Табела 7.7 - Поређење комбинација по профиту по једници мере .....	131
Табела 7.8 - Поређење комбинација по учинку, у односу на средњу вредност учинка	132
Табела 7.9 - Поређење комбинација по јед. цени, у односу на средњу вредност јединичне цене .....	133
Табела 7.10 - Поређење комбинација по јед. профиту, у односу на средњу вредност јединичног профита.....	133
Табела 7.11 - Додељивање разликама по критеријумима мера значајности према Сатијевој скали.....	133
Табела 7.12 - Матрица поређења комбинација према учинку у складу са вредностима из Сатијеве скале .....	134
Табела 7.13 - Матрица поређења комбинација према јединичној цени у складу са вредностима из Сатијеве скале .....	134
Табела 7.14 - Матрица поређења комбинација према јединичном профиту у складу са вредностима из Сатијеве скале.....	135
Табела 7.15 - Сумарни приказ оцена поређења.....	138
Табела 7.16 - Нове мере вредности поређења алтернатива према Сатијевој скали ....	139
Табела 7.17 - Сумарни приказ оцена поређења према новом критеријуму .....	139



## 1.1 Увод

Уводна глава ове дисертације садржи основне информације о предмету истраживања, циљевима истраживања, методологији истраживања, структури дисертације и оствареним резултатима. У овом поглављу даће се и прелиминарне информације о значају истраживања, циљевима истраживања, методологији истраживања, структури дисертације и оствареним резултатима. У овом поглављу даће се и прелиминарне информације о значају истраживања, циљевима истраживања, методологији истраживања, структури дисертације и оствареним резултатима.

---

# 1 Увод

---

*У уводном поглављу даће су основне претпоставке коришћене при изради ове дисертације. Дефинисан је предмет истраживања, хипотезе које су тестиране у истраживању, циљеви истраживања као и обим и ограничења истраживања. Приказана је и структура дисертације са кратким садржајем по поглављима.*



## 1.1 Увод

Грађевинска механизација представља кључни ресурс при извођењу већине инвестиционих пројеката. Она може представљати и највећи дугорочно инвестирани капитал многих грађевинских компанија [Schaufelberger et al, 1999.]. У складу са тиме, планирање рада грађевинске механизације има значајан утицај на економску успешност рада грађевинске фирме. Механизација мора да приходује власнику више него што су трошкови изнајмљивања, власништва и коришћења. Неангажована механизација смањује приход власника, обзиром да трошкови основног средства постоје независно од ангажованости машине. Власник грађевинских машина мора непрекидно да прати флоту машина, и да доноси одлуке о набавци нових машина, њиховој замени или продаји.

Једна од кључних одлука при извођењу инвестиционих пројеката у грађевинарству је избор грађевинских машина на поједином пројекту. Тип изабраних машина одредиће како ће радови бити изведени, колико ће дуго радови трајати као и колико ће коштати. Према томе, изузетно је битно да доносиоци одлуке препознају који је тип грађевинске машине одговарајући за поједине активности и како да прорачунају њен учинак и цену рада. Успех пројекта у великој мери је везан за правилан избор машина за поједине операције.

Грађевинска механизација у савременој грађевинској пракси представља основу квалитетне, економичније, брже и јефтиније изградње, како у грађевинској оперативи, тако и у индустрији грађевинског материјала. Данас је немогуће замислити било какву сложенију грађевинску активност без адекватне примене механизације. Примена грађевинских машина преузима примат у изградњи, осим на местима где се објективно не могу постићи очекивани резултати. То су углавном скучени простори неприступачни за рад и активности на којима се применом машина не остварује већа продуктивност у односу на мануелни рад.

### 1.1.1. Експлоатација грађевинских машина

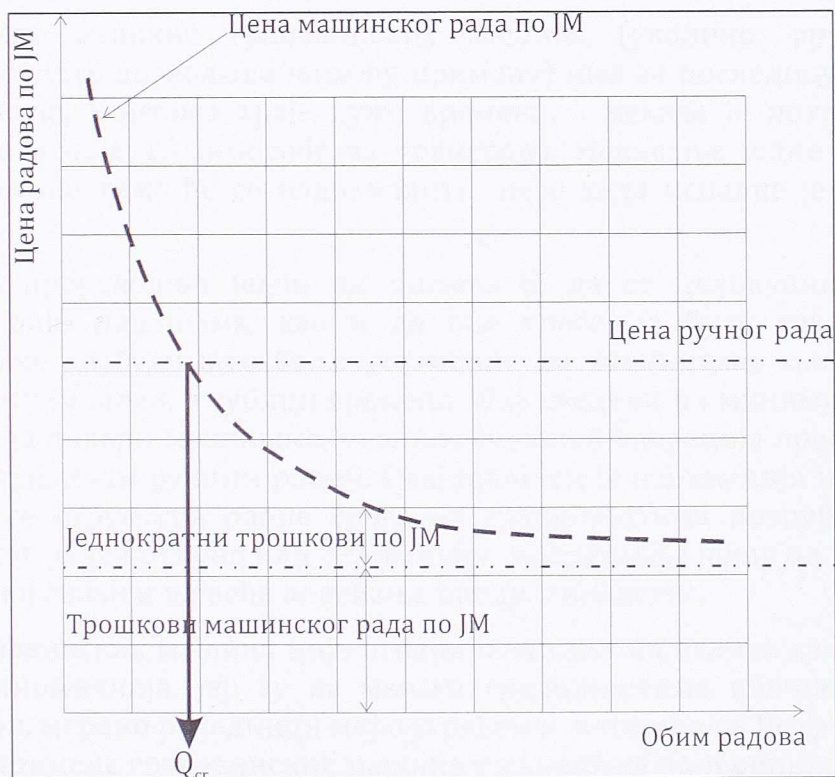
Примена грађевинских машина у грађевинској производњи моћи ће да пружи очекиване предности и користи само ако се испуне одређени предуслови, ако се следе основни принципи при избору и уколико се осигура солидна служба одржавања и оправки уз добро организовано коришћење механизованих средстава у раду [Трбојевић Б., проф. др Живојин Прашчевић, 1991.]. Обзиром на високу вредност грађевинских машина, што посебно важи за специјалне машине, као нпр. разне дизалице великог капацитета и за савремене машине најновијих конструкција, нужно је да се предузму све потребне мере у циљу њиховог пуног и што успешнијег коришћења. Уз осигурање најповољнијих услова за рад, а то је могуће само онда ако се оне правилно одаберу за усвојен метод рада и усвојени технолошки процес, неопходно је да се осигура такав студиозни менаџмент који ће уз пуну синхронизацију рада свих машина повезаних у технолошком процесу осигурати и остваривање максималне продуктивности.

Пре доношења одлуке о примени грађевинских машина на неком градилишту, односно позицији рада, потребно је предходно проучити све аспекте посла.



Приликом избора машина је у првом реду одлучујућа количина радова, затим климатски и еколошко – хидролошки и геолошки услови рада, карактер радова, могућност допреме машина, расположиви извори енергије, расположиве машине у фирми и тржишту, услови ограничења на градилишту, веза посматраних радова са осталим радовима на пројекту, економска оправданост примене механизованог рада и слично.

У погледу економске оправданости треба да буде задовољен услов да је извођење радова применом механизације јефтиније, сем уколико се не ради о посебним захтевима, као што су квалитет радова, брзина извођења и сл.



Слика 1.1 – Економски услов примене машинског рада

Цена машинског рада (Слика 1.1), генерално, формирана је од једнократних трошкова (допрема, монтажа, пуштање у рад, пробни рад, демонтажа и одпрема са градилишта) и трошкова експлоатације. Са повећањем обима посла (а тиме и бројем радних сати на градилишту), цена машинског рада по јединици мере се смањује, и тежи износу трошкова машинског рада по јединици мере. Генерално, цена ручног рада је константна са променом обима посла, обзиром да код њих не постоје једнократни трошкови. При количини посла (означеном на слици са  $Q_{кр}$ ) изједначује се цена машинског рада и цена ручног рада. Уколико је обим посла већи од  $Q_{кр}$ , цена машинског рада је нижа од цене ручног рада и има економског оправдања ангажовати грађевинске машине.

Код ангажовања грађевинских машина на пројекту, треба водити рачуна да је доказивање економског оправдања њиховог ангажовања само један од критеријума који треба да буду испуњени. Чак и у ситуацијама када је њихов рад



скупљи од ручног рада, често је квалитет радова, који се изведу машинама, пресудан (нпр. производња бетона или асфалта) за њихово ангажовање.

У погледу габарита грађевинске машине треба настојати да се изабере оптимална величина. Избор машина са превише малим учинком захтеваће већи број таквих машина, што ће имати као директну последицу већи број руковоаца, као и њихов скупљи смештај, веће трошкове одржавања машина, њиховог смештаја, обскрбе енергентима и др. Сем тога већи број машина на градилишту отежава управљање радовима и доводи до повећања норматива рада, тако да се и практични учинци машина још више смањују.

Избор исувише великих грађевинских машина (уколико фронт рада на градилишту уопште дозвољава њихову примену) има за последицу да је њихова допрема отежана, монтажа траје дуже времена, а некада је потребно и да се саобраћајнице и објекти оспособе за транспорт. Испадање једне такве велике машине из погона теже ће се надокнадити, него када испадне једна од мањих машина.

У савременој производњи један од циљева је да се целокупни технолошки поступак покрије машинама, као и да оне треба да буду тако изабране и димензионисане да буду што боље усклађене по учинцима, како би утрошак енергије био минималан, а губици времена буду сведени на минимум. Уколико се више операција повери машинама, утолико ће мање операција преостати које ће се морати извршавати ручним радом. Овај проблем је израженији последњих пет година када се структура радне снаге на градилиштима потпуно променила. Замена људског рада потпуно или делимично, представља једну од најразумнијих уштеда у радној снази и највеће повећање продуктивности<sup>1</sup>.

Примена грађевинских машина није ограничена само на велика градилишта, али је она ту економичнија, јер су на мањим градилиштима обично једнократни трошкови већи, мерено по јединици мере уграђеног материјала. Потребно је истаћи да су услови примене грађевинских машина у директној пропорцији са одабраном методом рада и примењеном технологијом грађевинске производње. То значи, да одабрана метода грађевинске производње у грађевинској оперативи или индустрији грађевинског материјала захтева и адекватна средства механизације.

При постављању услова примене грађевинских машина на одређеном технолошком процесу основно је питање принципа избора таквог средства. Питање је врло сложено и захтева подробну анализу реалних могућности да се такво средство заиста и примени, анализу економске оправданости изабраних машина, као и сагледавање изабраних машина у ширем контексту радова на целом пројекту, машинског парка фирме и стања расположиве механизације. Квалитетним избором грађевинских машина постиже се захтевани квалитет и квантитет извршених радова, захтевана брзина реализације и максимални профит за извођача.

---

<sup>1</sup> Фирма „Путеви“ АД је услед недостатка квалификоване радне снаге (армирача) на великом броју пројеката у граду Сочи, у Руској федерацији, морала да потпуно промени технологију изградње уговорених објеката, и да уместо класичног армирања пређе на технологију арматурних плоча које се фабрички израђују (видети <http://www.bamtec.com>)



Избор грађевинске машине у процесу грађења у чврстој је вези са пројектованом технологијом радног циклуса. Увођење нових типова грађевинских машина може комплетно да промени технологију изградње а тиме и цену и рок завршетка радова. Ово је нарочито уочљиво при примени индустријских метода грађења. Примена специјалних грађевинских машина мора бити дефинисана још у фази пројектовања објекта, с обзиром на утицај машина на технолошке поступке. У појединим случајевима, комплетан пројекат објекта зависи од типа машине (рецимо, при изградњи тунела ТВИ машинама). Много чешће величина машина одређује величине делова објекта (услед могућности монтаже) или брзину извршења радова.

Уважавајући сву озбиљност и систематичност у грађевинској производњи, избор грађевинских машина мора да осигура потребне и довољне услове за континуиран рад са високом продуктивношћу. У томе циљу истичу се следеће претпоставке [Мехметбашић, С., 2007., Линарић. З., 2000.]:

- сигурност и издржљивост грађевинске машине под најнеповољнијим условима рада,
- беспрекорно радно понашање до гарантованог временског рока, према подацима произвођача,
- осигурање века трајања грађевинске машине, узевши у обзир и обављени генерални ремонт истог – све до његовог тзв. отписа,
- флексибилност грађевинске машине у сваком погледу, што се доказује посебно кроз прилагођавање променљивим условима рада, комуницирању на "радном месту", лакој покретљивошћу и једноставном транспортовању од базе механизације до лоцираног места производње, и
- утрошак временског периода на монтажу, пробно оптерећење и демонтажу грађевинске машине треба да буде што мање.

На основу сагледаних услова које треба да задовољи изабрана грађевинска машина, намеће се и питање унификације делова, склопова и механизма у процесу набавке резервних делова. Истраживање тржишта и могућности појединих произвођача на тржишту, такође је веома битан фактор у процесу избора машина.

Паралелно са избором механизације потребно је извршити и обучавање руковоаца који ће бити на њој ангажовани. Обучени руковоаци су предуслов за успешно ангажовање грађевинске машине. Особе које су одређене да управљају радом грађевинске машине морају бити добро обучене и одговорне, јер им се ставља на располагање изузетно значајна инвестиција.

Избор и ангажовање машина у грађевинској оперативи и индустрији грађевинског материјала не базира се на истим принципима. У грађевинској оперативи могуће је значајно балансирати избор одређених машина, јер је њихов избор по својим конструкционим и маневарским особинама знатно шири. У индустрији грађевинског материјала ситуација је другачија и избор машина се налази у чврстој вези са постављеном технологијом. Зато, при извршењу (посебно) грубих грађевинских радова, а у зависности од њиховог обима, градилишног простора на којем се изводе, захтеване брзине извршења радова и



многих других захтева и услова, може се применити – извршити избор грађевинских машина различите снаге и учинка. На основу степена механизованости, могу се издвојити следећи случајеви:

- при делимичној механизацији принцип избора грађевинских машина врши се мање-више слободно, при чему капацитет, а тиме и учинак машина најчешће не одговарају у потпуности постављеним захтевима,
- при комплексној механизацији одређених група радова, механизација сваке групе мора бити међусобно усклађена технолошки, са одређеним капацитетима и потребним резервама.
- У комплексној механизацији извођења свих радова постоји прецизно утврђен заједнички технолошки процес и избор механизације са одређеним капацитетима и потребним резервама за све машине и уређаје.

### **1.1.2 Принципи приликом избора грађевинских машина**

За правилан избор грађевинских машина за одређену позицију рада неопходно је да се у потребном обиму познају основне експлоатационе и конструктивне карактеристике грађевинских машина које могу да се примене. Уз то је неопходно да се добро познаје и технологија грађења, што подразумева способност да се рашчлани технолошки процес на његове саставне делове, операције и поступке, као и познавање услова извршења радова (посебне и специјалне услове које садржи инвестиционо – техничка документација, тј. пројекат).

Код избора машина први корак је тзв. „шири избор“, који треба да пружи увид у све расположиве машине које би могле да учествују у извршавању појединих операција технолошког процеса. Други корак, тзв. „ужи избор“, истиче ону комбинацију која пружа оптималну вредност захтеваног критеријума који може бити највећа добит, најкраће време извршења, максимални профит или максимални могући учинак (брзину градње). Ужи избор захтева широко познавање карактеристика и могућности примене грађевинских машина због често велике комплексности технолошког процеса и услова рада. Неопходно је да се утврди на бази студије технолошког процеса и услова ограничења, кључна операција и/или кључна машина и да се изврши усклађивање учинака свих осталих машина према учинку кључне машине, као и да се осигура довољна резерва у капацитету свих предвиђених машина како би се гарантовао континуитет у раду у случају испадања појединих машина из технолошког процеса – производње.

## **1.2 Дефинисање предмета истраживања**

Предмет истраживања ове дисертације је начин оптималног избора грађевинске механизације. Инжењери и менаџери у грађевинарству традиционално нису довољно пажње поклањали избору грађевинских машина и постројења. Услед недостатка научног приступа овом проблему, као и доступних метода избора и оптимизације у овој области, углавном су се ослањали на препоруке произвођача, као и интуицију у избору типа, модела и марке опреме која ће се користити. Избор



машина је био базиран на људској перцепцији, која је неконзистентна и често под утицајем емоција или предрасуда. На пример, инжењер који превише значаја даје трошковима, може предвидети проблеме технологије или техничких перформанси опреме. Поред тога, таквим приступом је постизање баланса између неквантификованих критеријума веома тешко, врло често и немогуће. Лоше одлуке у процесу избора машина на пројекту могу довести до повећања трошкова, смањењу ефикасности резултата рада и продужетку рока завршетка пројекта.

Процес избора машина обухвата избор оптималне, између више алтернатива, што захтева како техничке тако и економске анализе. [Там С. М. et al, 2004.] Међутим, у поређењу различитих алтернатива, увек постоје неки критеријуми који се тешко могу квантификовати а који такође треба да буду анализирани и подложни поређењу. Према томе, вишекритеријумска оптимизација је природни пут у процесу доношења одлука при избору грађевинских машина.

Да би се квалитетно обрадио предмет истраживања, неопходно је сагледати све релевантне утицаје на избор машина. Потребно је дефинисати шта представља избор машина, на основу чега се он врши, шта утиче на улазне параметре, како да се они сагледају на исправан начин, како креирати и користи базе историјских података у овом поступку, које критеријуме применити при оптимизацији избора, и како спровести саму оптимизацију избора грађевинских машина.

### 1.3 Хипотезе истраживања

Основне полазне хипотезе овог истраживања су:

- Могу се идентификовати кључни параметри и одредити њихов утицај на прорачун коштања часа рада грађевинских машина,
- Избор машина базиран је на техно-економским критеријумским функцијама
- Могуће је изабрати оптималну комбинацију машина применом метода вишекритеријумске оптимизације.

### 1.4 Циљеви истраживања

Тежиште овог истраживања је на дефинисању модела избора оптималне групе машина, као и сагледавању утицајних параметара у поступку формирања група машина у грађевинарству. Циљеви истраживања су:

- Анализирати утицајне параметре за прорачун параметара рада грађевинских машина
- Извршити преглед досадашњих радова из области оптимизације избора машина
- Дефинисати методологију избора машина са критичким освртом на досадашњу праксу
- Креирати информациони систем за избор група машина
- Формирати модел за вишекритеријумски избор оптималне групе машина



## 1.5 Обим и ограничења истраживања

Обим истраживања одређен је циљевима и предметом истраживања. У дисертацији ће бити анализирани кључни параметри за прорачун коштања часа рада грађевинских машина, извршиће се анализа досадашњих радова из области оптимизације избора машина, даће се преглед садашњег стања избора машина са сагледавањем недостатака таквог приступа, дефинисаће се алгоритам новог приступа у избору машина, направити информациони систем за избор групе машина и формирати модел за вишекритеријумски избор оптималне групе машина.

Грађевинарство је изузетно широка привредна грана, са великим бројем учесника, различитим локацијама реализације, великим бројем параметара који утичу на успешност и дугим роковима реализације. Пројекти у грађевинарству су веома разнолики, и никада се не подударaju. Ресурси на пројектима су увек различити, у зависности од пројекта, тржишта, извођача, инвеститора и бројних других фактора. Истраживање оптимизовања ресурса у грађевинарству, а тиме и оптимизовање избора грађевинских машина мора да садржи извесну дозу уопштености, како би, као методологија, било опште примењиво.

Приликом анализе утицајних параметара на процес избора машина, третираће се само кључни параметри. Велики број параметара, велики број претпоставки и немогућност њиховог прецизног сагледавања доводе до тога да се поједини параметри претпостављају, уз коришћење базе историјских података. При томе је од кључне важности извршити анализу оних параметара који имају највећи техно економски значај при избору машина.

Прорачун учинака машина је проблем који анализирају сви који се баве грађевинским машинама – од великих произвођача грађевинских машина, до стручњака који их примењују у пракси. Приликом овог истраживања проблем одређивања учинака машина неће бити посебно третиран, већ ће се подразумевати да се учинак машина обрачунава у складу са препорукама произвођача.

Примери који су обрађивани у овом истраживању базирани су углавном на инфраструктурним радовима – позицијама на изградњи путева. За ово ограничење постоје четири основна разлога:

- Изградња путева у Србији је интензивнија ових година (као и наредних десетак година) него што је то икада била. Према томе, истраживања у области оптимизације коришћења ресурса на пројектима путоградње могу имати велики економски значај за привреду.
- Позиције радова на инфраструктурним пројектима су углавном са великим количинама радова, тако да и мале уштеде које се направе оптимизацијом коришћења грађевинских машина, доводе до великих уштеда на нивоу целокупног пројекта.
- Најшира палета машина у власништву извођачких компанија управо је намењена радовима у тлу и инфраструктурним пројектима. Оптимизација



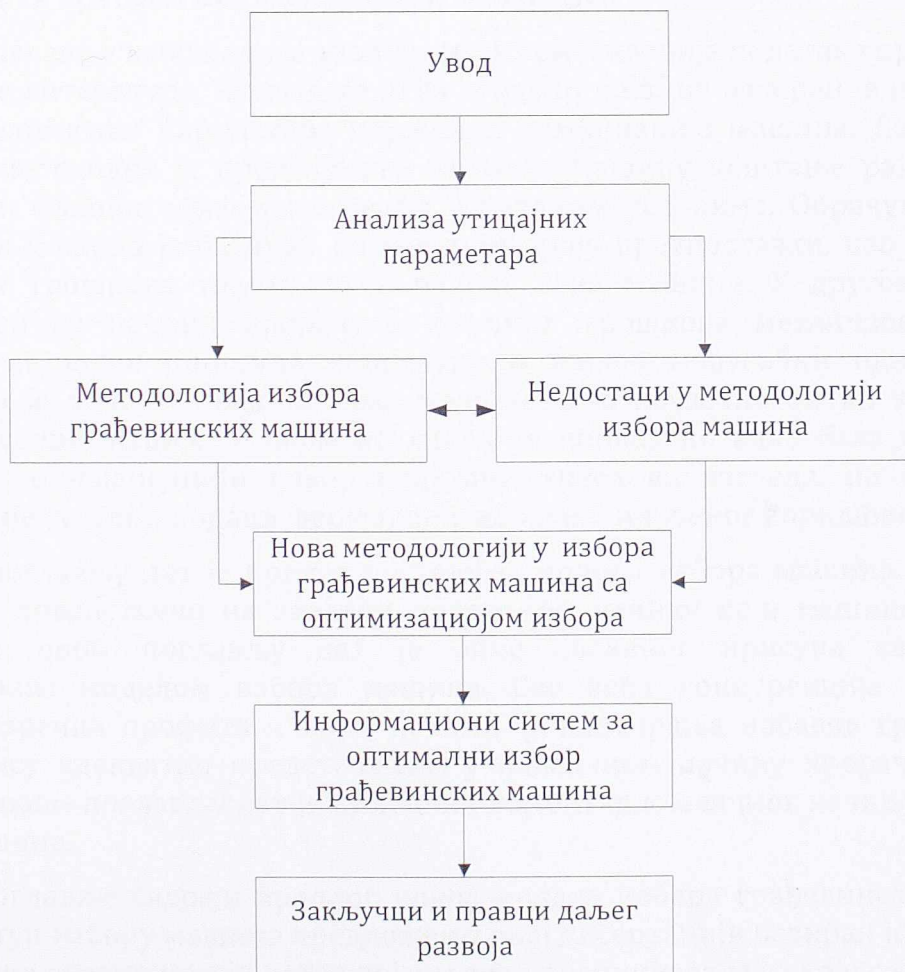
избора у овом великом скупу машина има већи значај од позиција где је много мања понуда машина и где је избор тривијалан и

- Код радова на изградњи путева доминантан је машински рад, тако да оптимизација машинског рада има велики утицај на укупну цену радова

Приликом дефинисања модела оптимизације биће третирани само неки основни критеријуми (профит, цена, учинак) који се јављају на свим пројектима. Међутим, исти модел може бити примењен и на сваки други критеријум који се постави (одржавање машина, услови набавке машина, дугорочна стратегија фирме и слично).

Уз сва наведена ограничења, приказани модел је довољно широк да се може применити на сваком грађевинском пројекту на коме су ангажоване грађевинске машине.

## 1.6 Дијаграм структуре докторске дисертације



Слика 1.2 – Дијаграм структуре докторске дисертације



На основу теме, циљева и ограничења дисертације, датих у уводном поглављу, извршена је анализа утицајних параметара (Слика 1.2). Након анализе постојећег стања, извршена је анализа класичног приступа избору машина са критичким освртом на недостатке класичног приступа. На основу извршене анализе класичног приступа, дефинисан је нови приступ избору грађевинских машина. Коначно, на основу новог приступа избору машина предложена је методологија оптимизације избора. На крају, дат је закључак о истраживању, са правцима даљег развоја система.

## 1.7 Структура докторске дисертације

Дисертација је организована у осам поглавља. У уводном поглављу дате су основне претпоставке коришћене при изради ове дисертације. Дефинисан је предмет истраживања, хипотезе које су тестиране у истраживању, циљеви истраживања као и обим и ограничења истраживања. Призана је и структура дисертације са кратким садржајем по поглављима.

У другом поглављу извршена је анализа и систематизација података прикупљених из доступне литературе. Истакнуто је да је избор машина базиран је на поређењу техно – економских параметара појединих комбинација машина. Да би се они одредили, неопходно је прорачунати за сваку машину коштање радног часа и учинак који машина може да оствари у реалним условима. Обрачун трошкова радног сата машина је базиран на великом броју претпоставки, као и обрачуну различитих трошкова током целог радног века машине. У другом поглављу анализирани су начини прорачуна кључних трошкова механизованог рада. Приказано је више приступа прорачуну и њихов међусобни однос. Такође, анализиран је и појам "радног века машине" као изузетно битан за прорачун трошкова депресијације. У овом поглављу је приказано како база историјских података, као највреднији извор података, треба да изгледа, на основу које методологије су њени подаци формиран, као и начин њеног коришћења.

У трећем поглављу дат је приказ постојећег модела избора машина. Овај модел заснива се првенствено на задатом потребном учинку који машине морају да остваре. У овом поглављу дат је опис оваквог приступа са основним математичким моделом избора машина. Све већа конкуренција на тржити, смањена маргина профита и нови начини финансирања набавке грађевинских машина нису адекватно представљени у класичном начину прорачуна избора машина. У овом поглављу дат је критички коментар класичног начина прорачуна избора машина.

Четврто поглавље садржи предлог новог модела избора грађевинских машина. Нови приступ избору машина предложен у овој дисертацији базиран је на анализи технолошких ограничења и детаљној анализи позиције рада за коју се врши избор машина. У избору машина полазна тачка је расположиви машински парк и технолошки услови извођења позиције рада. За машине које испуњавају технолошке услове срачунавају се техно економски параметри. Оптимизација избора врши се између технолошки оправданих комбинација. У овом поглављу



дат је алгоритам новог приступа избору грађевинских машина са детаљним описом саме процедуре избора. Дефинисано је 10 општих технолошких ограничења која филтрирају расположиви скуп машина у групу машина које технолошки могу да изведу посматране позиције рада. С обзиром да постоји више начина финасирања набавке грађевинске машине, у овом делу су дати описи неких од модела финасирања, са приказом њиховог утицаја на прорачун коштање радног сата, и препорукама за избор између различитих модела финасирања.

У петом поглављу приказан је модел оптимизације избора грађевинских машина. У овом поглављу дат је преглед постојећих модела оптимизације избора грађевинских машина приказан у светској литератури. Дате су полазне претпоставке новог приступа оптимизацији, приказан је математички модел и дефинисани су критеријуми према којима се врши оптимизација. У поступку анализе појединачне комбинације машина, уведени су нове мере усклађености рада машина. Приказани су утицаји нових мера усклађености са очекиваним резултатима и приказан је практични значај ових мера у побољшању појединачних комбинација машина.

На основу описаног новог модела избора машина, као и дефинисаних критеријума оптималности, у шестом поглављу је представљен информациони систем за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације CESAD (Construction Equipment Selection ADviser). У овом поглављу дат је принцип рада програма, начин тумачења добијених резултата и њихово коришћење у даљем процесу оптимизације избора.

Седмо поглавље садржи опис методологије избора оптималне комбинације машина на основу више критеријума. На основу формираних комбинација машина, као и дефинисаних критеријума у овом поглављу дефинисан је модел за оптимизацију избора. С обзиром да оптимизација избора има изразити вишекритеријумски карактер, изабрана је метода Аналитичког хијерархијског процесирања – АХП. Кључни проблем оптимизације је дефинисати начин за поређење алтернатива које могу бити, по природи података, веома различите. У овом поглављу дат је математички модел АХП методе, приказан је начин поређења алтернатива у складу са раније дефинисаним критеријумима. Модел оптимизације тестиран је на конкретном примеру са анализом осетљивости решења.

На крају, у осмом поглављу, на основу приказаног новог приступа избора машина и предложеног модела оптимизације, дат је закључак о претходном раду и постигнутим резултатима. Наведени су неки од могућих праваца развоја приказаног модела избора машина и његове оптимизације.

У литератури су наведене 59 домаће и стране референце, побројане по абecedном реду.



## 2 Увод

Избор машина базиран је на поређењу техно – економских параметара појединих комбинација машина. Да би се они одредили, неопходно је прорачунати за сваку машину коштање радног часа и учинак који машина може да оствари у реалним условима. Обрачун трошкова радног сата машина је базиран на великом броју претпоставки, као и обрачуну различитих трошкова током целог радног века машине.

У овом поглављу анализирани су начини прорачуна кључних трошкова механизованог рада. Приказано је више приступа прорачуну и њихов међусобни однос. Такође, анализиран је и појам "радног века машине" као изузетно битан за прорачун трошкова депресијације.

Као највереднији извор података о трошковима машинског рада користе се базе историјских података. У овом поглављу је приказано како база података треба да изгледа, на основу које методологије су њени подаци формиран, као и начин њеног коришћења.

---

## 2 Анализа и систематизација прикупљених података

---

Избор машина базиран је на поређењу техно – економских параметара појединих комбинација машина. Да би се они одредили, неопходно је прорачунати за сваку машину коштање радног часа и учинак који машина може да оствари у реалним условима. Обрачун трошкова радног сата машина је базиран на великом броју претпоставки, као и обрачуну различитих трошкова током целог радног века машине.

У овом поглављу анализирани су начини прорачуна кључних трошкова механизованог рада. Приказано је више приступа прорачуну и њихов међусобни однос. Такође, анализиран је и појам "радног века машине" као изузетно битан за прорачун трошкова депресијације.

Као највереднији извор података о трошковима машинског рада користе се базе историјских података. У овом поглављу је приказано како база података треба да изгледа, на основу које методологије су њени подаци формиран, као и начин њеног коришћења.



## 2.1 Увод

Економично управљање радом грађевинске механизације, базирано на оптималном избору машина, представља свеобухватно разумевање процењених и стварних трошкова моточаса. У овом поглављу ће бити презентована анализа параметара битних за срачунавање цене радног часа машина, као и различите методологије које се примењују при прорачуну.

Постројења, машине и алати које се користе у грађевинској производњи могу се поделити [Douglas D. Gransberg et al, 2006] на три велике групе:

1. *Мали алати и потрошни материјали* – ручни алати до одређене вредности заједно са ножевима, бургијама и сечивима, који се користе при раду, и који се наплаћују углавном кроз проценат укупног трошка радне снаге
2. *Грађевинске машине које се користе на више пројектних активности* – ове машине су ангажоване на градилишту током дужег периода, на више операција. Могу бити комплексне, тако да саме обављају више операција (нпр. багер), или опслужују већи број радника на градилишту (нпр. кран)
3. *Грађевинске машине које се користе за одређене операције* – машине велике набавне вредности, чији се рад директно наплаћује на основу изведених количина обрађеног материјала. Овакве машине се задржавају на градилишту дуже него што је потребно за обављање појединих операција – оне се довозе, обављају планиране активности и након тога враћају у базу.

Процена трошкова моточаса у овом раду базираће се на машинама треће групе. При садашњем стању тржишта у грађевинарству, основни предуслов за квалитетно извођење радова у кратким роковима је велики степен захвата радова механизацијом. При томе, без познавања стварних трошкова рада машина, извођач може приказати профит већи него што је стварни, чиме се доводи у заблуду о успешном пословању. Проблем се може компликовати и при смањењу очекиваног обима посла чиме се увећавају трошкови основног средства машина, као и при смањењу маргине профита при већој конкуренцији на тржишту и при непостојању адекватне базе података о ранијим стварним оствареним трошковима механизације.

Трошкови механизованог рада обухваћени су кроз две велике групе – трошкове експлоатације ( $E_e$ ) и трошкове основног средства ( $E_{oc}$ ). Сваки од ових трошкова има сопствене карактеристике и срачунава се на посебан начин. Ни један од начина обрачуна ових трошкова није универзалан и примењив на било коју другу машину. Ово је производ великог броја променљивих величина, различитог утицаја на укупни трошак, немогућности адекватне процене трошка, као и улоге онога ко врши процену трошка. Према томе, све ове методе служе морају бити стално провераване и оцењиване у складу са стварно документованим трошковима рада машина на различитим пројектима.



## 2.2 Трошкови основног средства

У трошкове основног средства убрајају се:

- Иницијални трошкови
- Депресијација
- Трошкови ангажованог капитала
- Трошкови осигурања
- Порези
- Трошкови смештаја

У иницијалне трошкове убрајају се трошкови набавке нове машине са трошковима додатне опреме и припадајућим порезима, трошкови транспорта нове машине, трошкови склапања и монтаже, као и трошкови пробног рада. Ови трошкови чине, [Gransberg D. D., 1996] у просеку, око 25% свих инвестиција у грађевинску машину током њеног економског века.

### 2.2.1 Прорачун трошкова депресијације

Депресијација представља губитак вредности грађевинске машине током времена, услед хабања, оштећења и застаревања. Настаје из два главна разлога:

- физичког оштећења услед хабања и оштећења машине услед рада и
- економског пада вредности услед протока времена.

Депресиона вредност представља разлику тржишне вредности грађевинске машине у тренутку њене набавке и тржишне вредности машине у тренутку њене продаје или отписа.

Период депресијације је време између набавке машине и њене продаје или отписа. Трошак депресијације представља количник депресионе вредности ( $DEPvalue$ ) и периода депресијације ( $DEPperiod$ ).

$$E_{am} = \frac{DEPvalue}{DEPperiod}$$

При прорачуну амортизације, неки фактори су експлицитни док се остали процењују. Увек постоји степен неодређености када је реч о економском веку машине као и преосталој вредности машине након одређеног периода. Сваки прорачун амортизације захтева да се ова два параметра прорачунају.

У литератури се помињу углавном три начина прорачуна амортизације:

1. **Равномерна** амортизација (Straight Line Method)
2. **Метода збира година** (Sum-of-the-Years Method)
3. **Метода силазне равнотеже** (Declining Balance Method)



### 2.2.1.1 Метода равномерне амортизације

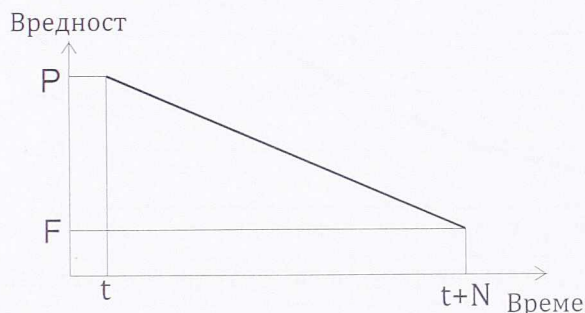
Метода равномерне амортизације претпоставља равномерни пад вредности машине током времена. У општем случају, годишња депресиони степен ( $R$ ) обрачунава се по формули:

$$R = \frac{1}{N}$$

где је  $N$  број година колико је машина у власништву. Годишња депресиона сума ( $D$ ) одређује се према формули :

$$D = R \cdot (P - F)$$

где  $P$  (Purchase Price) представља набавну цену машине (било нове или коришћене) и  $F$  (Salvage Value) представља тржишну вредност машине у тренутку продаје или отписа,  $N$  година након набавке машине у тренутку  $t$ .



Слика 2.1 - Расподела депресионе вредности током времена за равномерну депресијацију

Због једноставности прорачуна, овај метод је најчешћи при прорачуну радног сата машине. По овој методи исту депресијацију на годишњем нивоу имају и нове машине, као и машине које су пред отписом.

### 2.2.1.2. Метода збира година (Sum-of-the-Years Method)

За разлику од линеарне депресијације, у Методи збира година годишња депресиона сума није иста за сваку годину. Годишња депресиона стопа ( $R_m$ ) израчунава се према следећој формули:

$$R_m = \frac{N - m + 1}{SOY}$$

где је  $N$  број година у власништву машине,  $m$  је одређена година за коју се рачуна депресиона сума а  $SOY$  (Sum of the Years) је збир година  $N$  у власништву машине:

$$SOY = N + (N - 1) + (N - 2) + (N - 3) + \dots + 1$$

Једноставније израчунавање суме година може се извршити и коришћењем формуле:

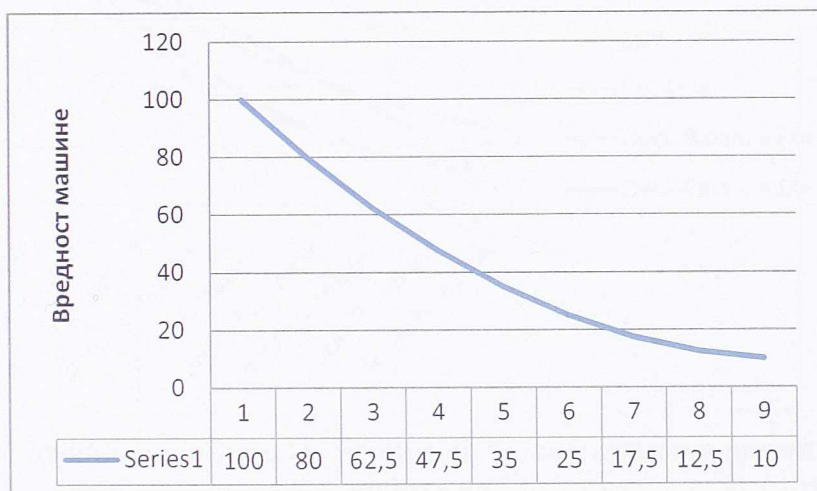


$$SOY = \frac{N \cdot (N + 1)}{2}$$

Годишња депресиона сума израчунава се према формули:

$$D_m = R_m \cdot (P - F)$$

Ова метода је ближа реалном кретању вредности машине. Код ње вредност депресионе стопе се линеарно мења, тако да је депресиона стопа новијих машина већа него код старијих. Већи пад вредности машина има док је новија, а што је старија, депресиона сума је све мања.



Слика 2.2 – Пад вредности машине током времена према Методи сума година

### 2.2.1.3 Метода силазне равнотеже (Declining - Balance Method)

Метода силазне равнотеже (*Declining-Balance Method*) за обрачун депресијације користи се често у књиговодственој евиденцији на Западу и њеним коришћењем могуће је подешавати брзину депресијације машине, све до тржишне вредности машине у тренутку отписа (*Salvage Value*) што представља доњу границу до које може да се креће депресирана вредност машине.

Према овој методи, годишња депресиона рата зависи од преостале књиговодствене вредности машине. Тако, машине које су књиговодствено мање вредне, имаће и мању годишњу депресиону рату. Обрачун се врши према формули:

$$R = \frac{X}{N}$$

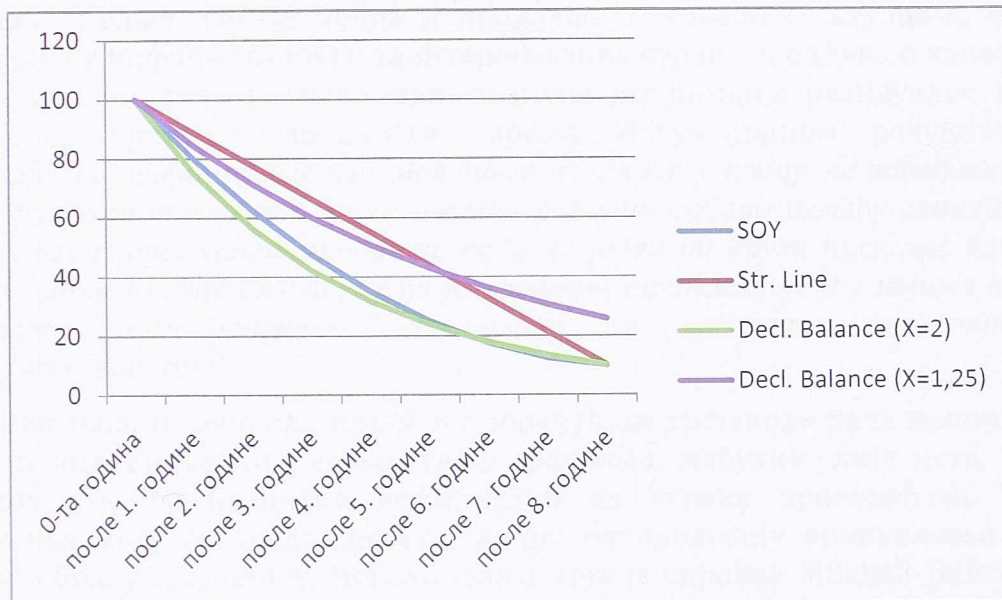
где је  $N$  број година у власништву машине, а  $X$  се креће у распону од 1,25 до 2,0 у зависности од жељене брзине депресијације. Годишња депресиона сума ( $D_m$ ) изражава се множењем депресионе рате и књиговодствене вредности машине за претходну годину ( $BV_{m-1}$ ):

$$D_m = (BV_{m-1}) \cdot R$$



Књиговодствена вредност машине за одређену годину ( $BV_m$ ) одређује се тако што се књиговодствена вредност машине за претходну годину ( $BV_{m-1}$ ) умањи за годишњу депресиону суму ( $D_m$ )

$$BV_m = BV_{m-1} - D_m$$



Слика 2.3 - Упоредни приказ пада вредности током времена према различитим моделима

### 2.2.2 Коришћење историјских података при процени резидуалне вредности

Финансијска анализа грађевинских машина бави се питањима ефикасног управљања трошковима током целог радног века машина. Посебна пажња се обраћа на три кључне фазе: куповину оптималне машине, њена профитабилна експлоатација и, на крају, њена продаја у тренутку када је то препоручљиво са економске тачке гледишта.

Корисник машине мора на одговарајући начин да обрачуна трошкове депресијације како би реално сагледао трошкове основног средства. Вредност наплаћеног радног сата машине мора да премаше реалне трошкове које та машина у току сата направи. Прецизно сагледавање трошкова има кључни значај у процесу доношења одлука корисника машине.

Трошкови радног сата машине се повећавају током времена до тренутка када је власнику економски исплативије да је прода него да је користи и даље. Овај тренутак се сматра за економски живот машине и може бити знатно мањи од физичког живота машине, односно од времена колико машина може физички да обавља своју намену. Овај, стварни радни век машине може бити продужен применом редовног одржавања и сервисирања машине.

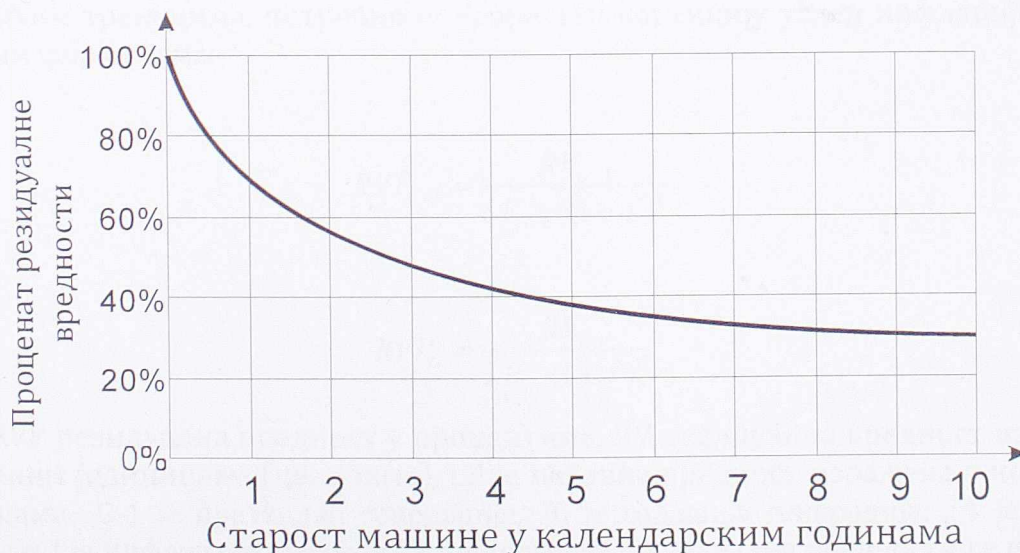
Резидуална вредност машине дефинише се као „количина новца за који се машина може продати у одређеном тренутку времена“ [Zane W. Mitchell Jr, 1998.]. Са



становишта процене вредности машине, оваква дефиниција може се даље анализирати у погледу прецизних услова продаје, односно, да ли је до продаје дошло између две једнаке стране, на аукцији, у процесу ликвидације, или у размени добара (*Associated General Contractors of America 2001*). Друго битно питање је: да ли је постојала значајна разлика у познавању стања машине у тренутку продаје између купца и продавца. У идеалној ситуацији, не постоји асиметрија у информисаности заинтересованих страна, и одлука о купопродаји се доноси уз обострану корист. Тако, потпуна дефиниција резидуалне вредности (или „фер тржишне вредности“ према Међународном рачуноводственом стандарду 16) дефинише је као „вредност изражену у новцу, на одређени датум, за коју је разумно очекивати да се изврши размена добара између заинтересованог купца и заинтересованог продавца, када ни један ни други нису под принудом да продају, односно купе имовину која је предмет трансакције и у којима обе стране располажу одговарајућим сазнањима и релевантним чињеницама“ (<http://www.eagi.com>).

Корисник машине мора да прати и прорачунава трошкове рада машине. Дубина знања о индивидуалним елементима трошкова, међутим, није иста. Трошкови експлоатације су прецизно дефинисани од стране произвођача. Трошкови одржавања могу се предвидети уз добру методологију прикупљања података, њихову обраду и анализу. Истраживања која је спровео Mitchell [Mitchell, 1998] говоре да се модел трошкова може представити полиномом другог степена.

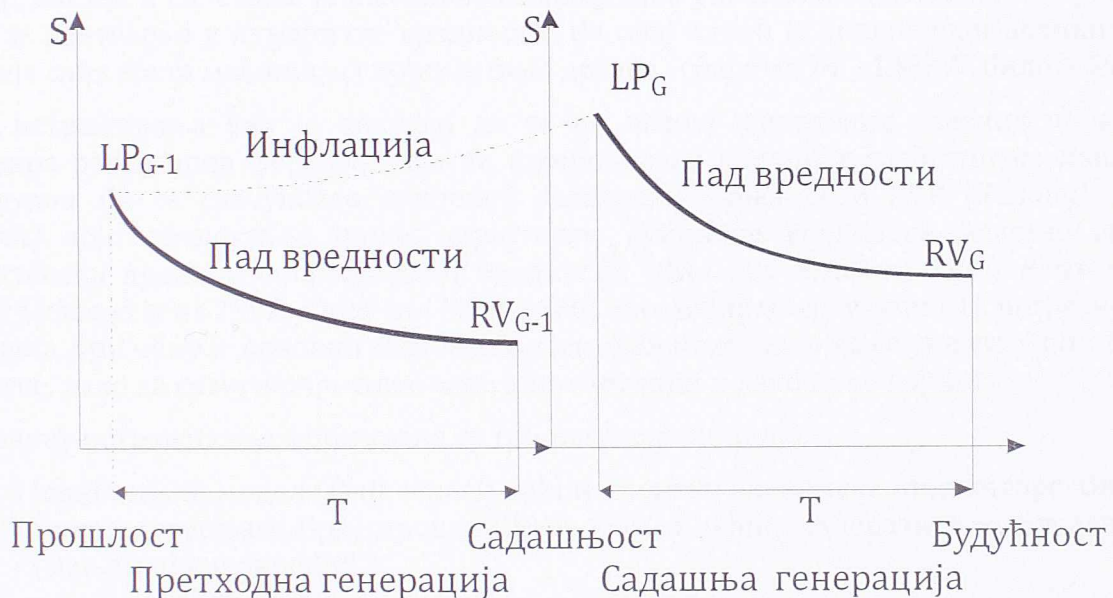
Међу трошковима основног средства, набавна вредност је прецизно одређена, трошкови ангажованог капитала могу бити са доста прецизности прорачунати, као и трошкови осигурања. Резидуална вредност се обрачунава на крају периода власништва над грађевинском машином, тако да се при прорачуну трошкова амортизације ова вредност претпоставља. Најчешће, резидуална вредност има већи пад у првим годинама власништва, док је тај пад све мањи што је машина старија.



Слика 2.4 – Пад резидуалне вредности током времена



Gunnar L. [Gunnar L, 2006] разрадио је модел за предвиђање резидуалне вредности на основу статистичких података о реализованим купопродајним трансакцијама грађевинских машина. Централна хипотеза била је да је могуће на основу података из претходних генерација G-1 предвидети резидуалну вредност садашње генерације G. Модел је на основу набавне вредности претходне генерације LPG-1, њене резидуалне вредности RVG-1, као и набавне вредности садашње генерације LPG предвиђао резидуалну вредност садашње генерације RVG како у садашњем тренутку, тако и у неком будућем тренутку.



Слика 2.5 - Промена резидуалне вредности у генерацијама

С обзиром да се резидуална и набавна вредност једне машине сагледавају у различитим тренуцима, потребно је извршити корекцију услед инфлације према следећим формулама:

$$RVP_{G-1} = \frac{RV_{G-1}}{LP_{G-1} \cdot (1+f)^T}$$

$$RVP_G = \frac{RV_G}{LP_G \cdot (1+f)^T}$$

Где је RVP резидуална вредност у процентима, RV резидуална вредност изражена у новчаним јединицама (доларима), LP је набавна вредност изражена у новчаним јединицама G-1 је претходна генерација, G је садашња генерација, T је период времена и f је инфлација изражена у процентима. Резидуална вредности се најчешће изражава у процентима како би се добила боља упоредивост између различитих сценарија.



Модел који је развијен базиран је на четири основне групе улазних података – подаци са аукција машина, техничке карактеристике машина, набавне вредности машина и макроекономски параметри. Подаци са аукција обезбеђени су са две online базе података – Last Bid и Top Bid, са њиховом писаном дозволом за коришћење података. Прикупљани су подаци о типу опреме, произвођачу, називу и броју модела, серијском броју, години производње, употребном стању, опису квалитета гума, шасије, додатака и специјалним опцијама, аукцијској фирми, локацији, датуму аукције и постигнутој цени. Употребно стање машине процењивано је од стране обучених процењивача опреме који су испитивали све делове машине, као што су пнеуматици, гусенице, мотор, шасија и сл. Стање је на основу стандардних упитника оцењивано и вербални опис је претваран у нумеричке вредности. На овај начин је анализиран велики број аукција свих врста машина, од којих је само дозера, снаге од 74 – 148kW, било 4.654.

Циљ истраживања био је покушај да се на основу наведених улазних података формира регресиона формула која би процењивала вредност грађевинске машине. Формулом би се срачунавао проценат резидуалне вредности RVP (*Residual Value Percent*) који представља однос кориговане аукционе вредности машине према коригованој препорученој набавној вредности [Reid and Bradford 1983; Perry et al. 1990.; Cabbage et al. 1991.; Cross and Perry 1996]. Анализирано је укупно 11 регресионих формула, при чему је основни захтев био да модел може лако да се уклапа у постојеће податке, лако да се интерпретира, лако да се потврди и лако да се користи.

На основу истраживања формирана су три регресиона модела:

1. Једноставни модел (*Plain model*) који не садржи економске индикаторе. Овакав модел дозвољава брзу процену RVP, али са већим квадратним одступањима (мањом прецизношћу).

$$RVP = \beta_0 + \beta_2 \cdot age^2 + \beta_1 \cdot age + MCR$$

2. Најбољи модел (*Best model*) који садржи већи број економских индикатора. Овакав модел даје већу прецизност (мања квадратна одступања) али захтева процену економских индикатора

$$RVP = \beta_0 + \beta_2 \cdot age^2 + \beta_1 \cdot age + MCR + E_{1b} \cdot e_{1b} + E_{2b} \cdot e_{2b}$$

3. Трговачки модел (*Trade model*) је по прецизности између Једноставног и Најбољег модела. Такође садржи економске индикаторе, али у облику који се објављују у економским публикацијама и лакши су за процену.

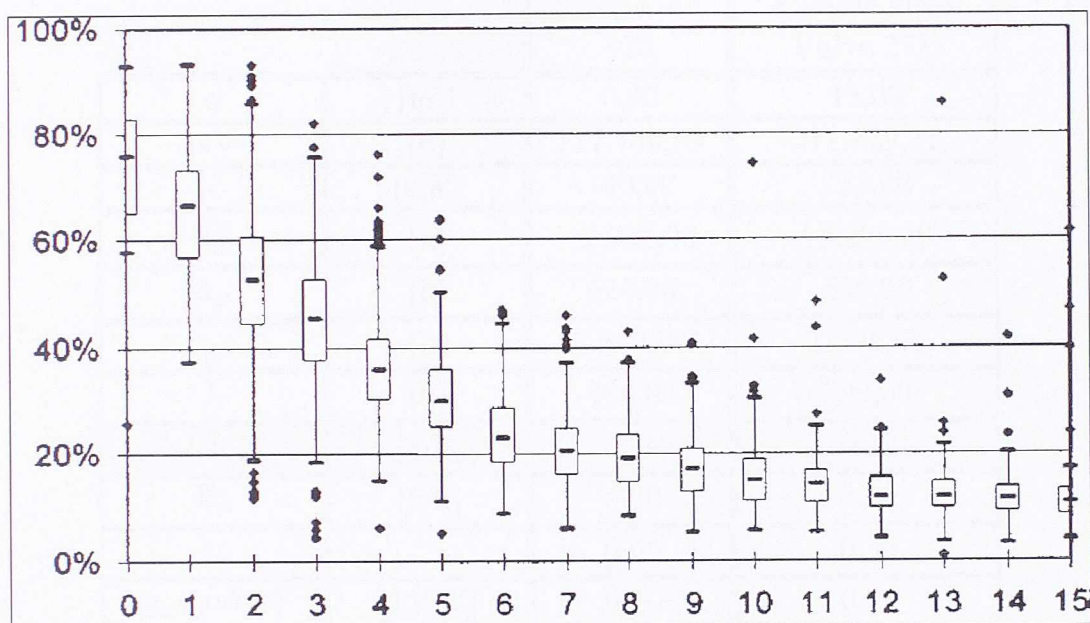
$$RVP = \beta_0 + \beta_2 \cdot age^2 + \beta_1 \cdot age + MCR + E_{1t} \cdot e_{1t} + E_{2t} \cdot e_{2t}$$

где је

$$MCR = M_1 \cdot m_1 + M_2 \cdot m_2 + M_3 \cdot m_3 + C_1 \cdot c_1 + C_2 \cdot c_2 + C_3 \cdot c_3 + R_1 \cdot r_1 + R_2 \cdot r_2 + R_3 \cdot r_3$$

У овим формулама RVP представља проценат резидуалне вредности,  $\beta_0 - \beta_3$  су регресиони коефицијенти и *age* – старост грађевинске машине изражена у календарским годинама.  $E_{ij}$  су регресиони коефицијенти за економске индикаторе, а  $e_{ij}$  су вредности индикатора (*b* је индекс за најбољи модел а *t* је индекс за трговачки модел). *M*, *C* и *R* су регресиони коефицијенти који се односе на произвођача (*M*), стање машине (*C*) и регион (*R*), док су *m*, *c* и *r* одговарајуће регресионе променљиве.





Слика 2.6 - Приказ RVP вредности у односу на реалне податке са аукција

Закључак истраживања био је да се RVP може успешно предвидети моделом који је представљен полиномом другог степена. Рецимо, за дозере снаге од 100 – 199 HP, Трговачки модел је облика:

$$RVP = 0,74821 + 0,00305 \cdot age^2 - 0,07510 \cdot age - 0,11932 \cdot m_2 - 0,02755 \cdot m_3 + 0,04547 \cdot c_1 - 0,00709 \cdot c_2 + 0,00862 \cdot c_3 + 0,03196 \cdot r_1 + 0,02040 \cdot r_2 + 0,02774 \cdot r_3 + 1,4661 \cdot 10^{-4} \cdot e_{1t} - 3,258 \cdot 10^{-5} \cdot e_{2t}$$

Такође, вредан резултат истраживања био је и што су идентификовани фактори који утичу на резидуалну вредност.

### 2.2.3 Анализа осетљивости метода

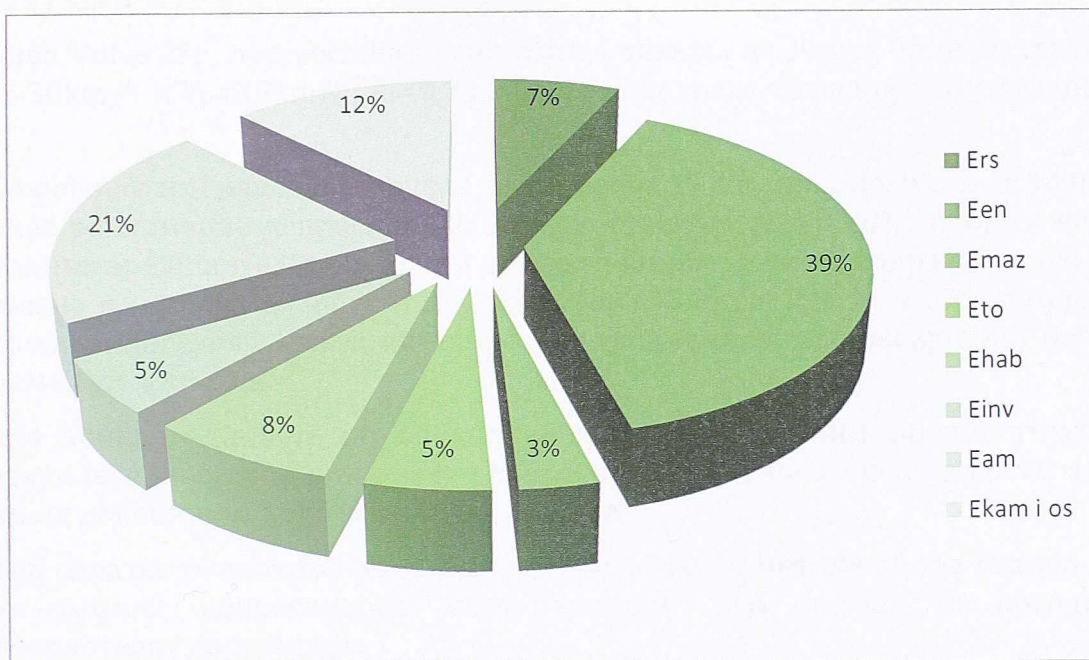
За потребе анализе осетљивости метода, вршено је тестирање утицаја појединих фактора на примеру прорачуна коштања радног сата и учинка на две грађевинске машине. Прва машина је багер Caterpillar 320, снаге 140kW и са посматраном кашиком од 0,9m<sup>3</sup>. Друга машина је кипер Volvo 25E, снаге 223 kW и капацитета 15m<sup>3</sup>.



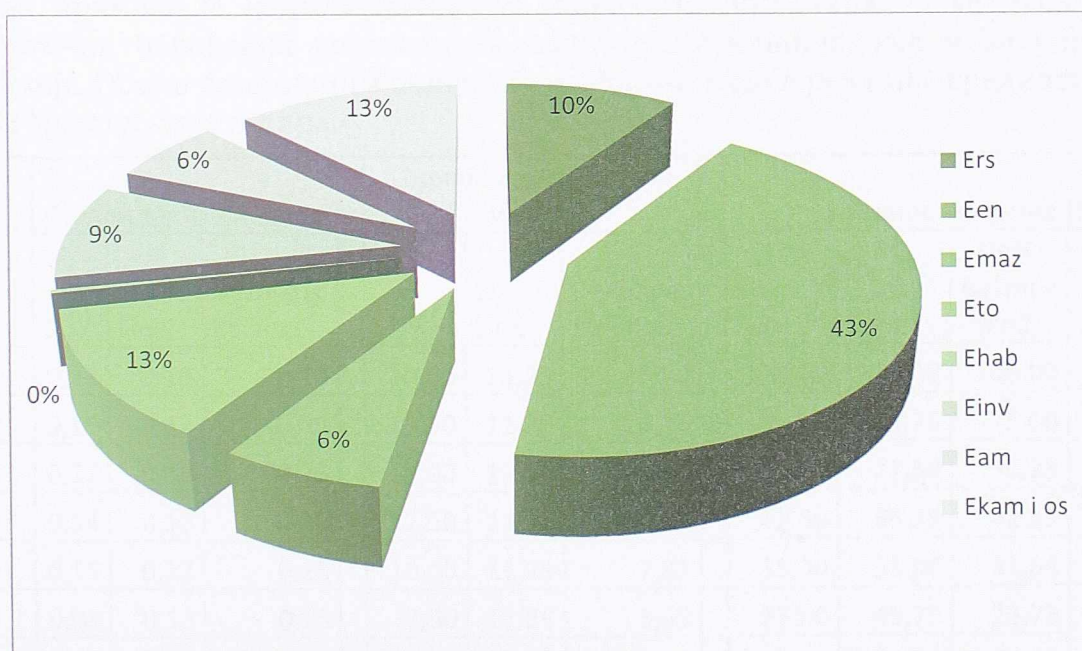
		Багер CAT 320	Kamion kiper Volvo 25E
q	[m <sup>3</sup> ]	0,90	15,00
NV	[€]	157.740,59	211.829,21
N	[kW]	140,00	223,00
h <sub>ek</sub>	[h]	12.000,00	18.000,00
h <sub>gr</sub>	[h]	624,00	624,00
h <sub>god</sub>	[h]	1.500,00	1.500,00
J <sub>t</sub>	[€]	400,00	200,00
J <sub>t</sub> /h <sub>gr</sub>	[€/h]	0,64	0,32
E <sub>rs</sub>	[€/h]	4,00	4,00
k <sub>o</sub>	/	0,65	0,50
g <sub>s</sub> (gorivo)	[l/KW]	0,20	0,20
C <sub>en</sub>	[€/l]	1,00	1,00
E <sub>en</sub>	[€/h]	18,20	22,30
FOG fact.		0,15	0,08
E <sub>maz</sub>	[€/h]	2,71	1,78
p	/	0,50	0,20
E <sub>to</sub>	[€/h]	5,26	2,82
E <sub>hab</sub>	[€/h]	0,13	4,32
<b>E<sub>e</sub></b>	<b>[€/h]</b>	<b>30,30</b>	<b>35,23</b>
E <sub>inv</sub>	[€/h]	0,66	3,06
E <sub>am</sub>	[€/h]	11,83	11,77
E <sub>kam i os</sub>	[€/h]	5,26	7,06
<b>E<sub>os</sub></b>	<b>[€/h]</b>	<b>17,75</b>	<b>21,89</b>
φ	/	0,20	0,20
<b>E<sub>e</sub> + E<sub>os</sub></b>		<b>48,05</b>	<b>57,12</b>
<b>K<sub>h</sub></b>	<b>[€/h]</b>	<b>58,30</b>	<b>68,87</b>
<b>K<sub>h</sub> čekanje</b>	<b>[€/h]</b>	<b>26,74</b>	<b>31,39</b>
<b>U<sub>p</sub></b>	<b>[m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>87,48</b>	<b>22,50</b>
<b>Cena</b>	<b>[€/m<sup>3</sup>]</b>	<b>0,67</b>	<b>3,06</b>

Табела 2.1 - Прорачун коштања радног сата и цене по јединици мере





Слика 2.7 - Структура трошкова за кинер Volvo 25E



Слика 2.8 - Структура трошкова за багер Caterpillar 320

Подаци о набавној вредности, фонду радних сати и потрошњи горива и мазива преузети су из документа *Construction Equipment Ownership and Operating Expense Schedule*, јул 2007, описаном у поглављу 2.5.



При прорачуну практичних учинака машина, за багер САТ 320 коришћени су подаци из поменутог документа, str. 4-119], са трајањем радног циклуса од 25sec,  $K_v=0,75$  и  $K_p=0,9$ .

За кипер Volvo 25Е, претпостављено је трајање циклуса од 30мин, брзином транспорта од  $V_{tr}=30\text{km/h}$  и  $V_{tr}=20\text{km/h}$ ,  $K_v=0,75$ ,  $K_p=1$ , са средњом транспортном дужином од 4km.

При поређењу три наведена модела за прорачун депресијације, може се уочити да је модел равномерне депресијације најједноставнији за прорачун, али и најдаљи од реалних вредности. Под реалном депресијацијом може се подразумевати крива приказана од стране I. Gunar и других аутора [Gunnar L et al, 2006] и описана у претходном поглављу. Ипак, овакав модел (равномерне депресијације) најчешће се примењује у пракси.

Метода збира година је по вредностима блиска реалним вредностима. Њен прорачун је једноставан и прорачун депресионе стопе не зависи од врсте машине као ни од локације на којој се машина продаје.

Метода силазне равнотеже је по резултатима блиска методи збира година, с тим да се брзина депресијације може мењати. Ова метода је погодна за књиговодствену евиденцију.

Са друге стране, модел који је представио I. Gunar [Gunnar L et al, 2006] даје прецизне податке о резидуалној вредности машине у одређеном тренутку. Ипак, његова примена је компликована јер мора бити заснована на великом броју статистички обрађених података за сваку врсту машина, као и за одређено подручје. Према приказаним подацима, најближи модел реалним вредностима је према Методи суме година.

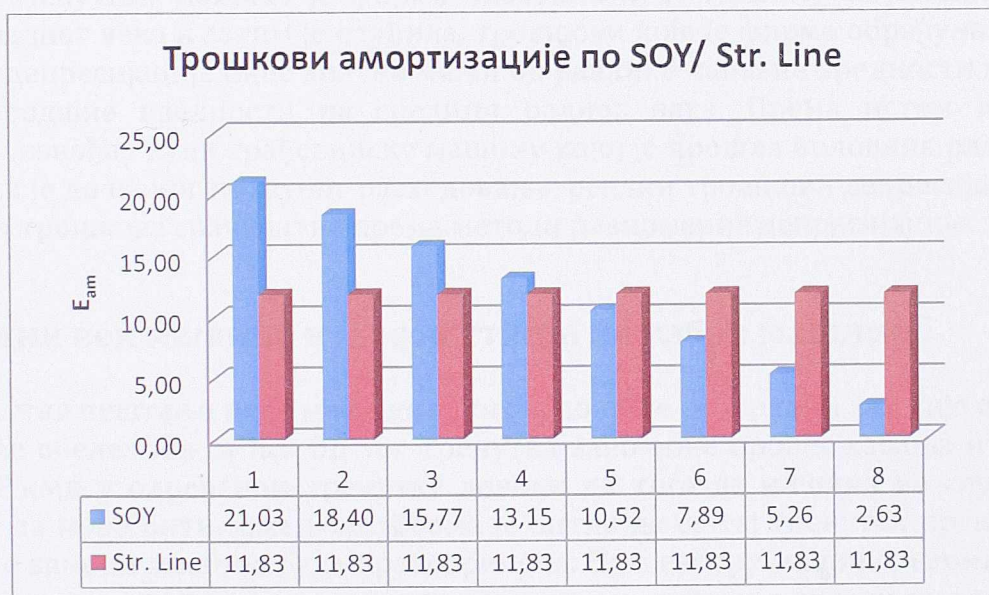
Год.	Степен депресијације			Годишња депресиона сума [%]			Вредност машине [%]			
	SOY	Str Line	Declining Balance	SOY	Str Line	Declining Balance	Str. line	SOY	Decl. Balance (X=2)	Decl. Balance (X=1,25)
1	0,22	0,13	0,25	20,00	11,25	25,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2	0,19	0,13	0,25	17,50	11,25	18,75	80,00	88,75	75,00	84,38
3	0,17	0,13	0,25	15,00	11,25	14,06	62,50	77,50	56,25	71,19
4	0,14	0,13	0,25	12,50	11,25	10,55	47,50	66,25	42,19	60,07
5	0,11	0,13	0,25	10,00	11,25	7,91	35,00	55,00	31,64	50,68
6	0,08	0,13	0,25	7,50	11,25	5,93	25,00	43,75	23,73	42,76
7	0,06	0,13	0,25	5,00	11,25	4,45	17,50	32,50	17,80	36,08
8	0,03	0,13	0,25	2,50	11,25	3,34	12,50	21,25	13,35	30,44

Табела 2.2 - Приказ депресијације током 8 година за три модела



Трошкови депресијације представљају значајан део укупних трошкова радног сата, Како је приказано у претходном примеру (слике 2.7 и 2.8), трошак депресијације чини око 21% укупних трошкова раднога сата кипера Volvo 25Е односно 26% трошкова раднога сата багера CAT 320. Ове бројке су добијене при прорачуну по методи равномерне депресијације. При коришћењу методе Суме година, као методе која довољно реално описује промену резидуалне вредности током времена, учешће трошкова амортизације се драстично мења са годинама старости машине. На примеру багера CAT 320 може се сагледати колика је разлика при примени различитих модела прорачуна депресијације.

При прорачуну пошло се од претпоставке да је радни век машине 8 година, након чега резидуална вредност износи 10% од набавне вредности машине и да је годишњи фонд радних сати 1.500h. Трошак депресијације добијен је тако што је годишњи пад резидуалне вредности добијен по методи Суме година и по методи Равномерне депресијације подељен са годишњим фондом радних сати.



Слика 2.9 – трошкови депресијације према различитим моделима за багер CAT 320 изражени у [€/h]

У првој години, трошкови депресијације обрачунати по методи Суме година (SOY) скоро дупло већи од трошкова обрачунатих по методи равномерне депресијације (St. Line). При прорачуну према методи St. Line, коштање радног сата и цена по јединици мере су исти током целог радног века машине и износе:

$$K_h = 58,30 \text{ €/h}, \quad C_{jm} = 0,67 \text{ €/m}^3$$

Уколико се прорачун депресијације врши према методи SOY, трошкови радног сата и цена по јединици мере, у првој години рада машине, износе:

$$K_h = 74,86 \text{ €/h}, \quad C_{jm} = 0,86 \text{ €/m}^3$$

Према истој методи, осме године рада ситуација је супротна. Пад вредности машине је знатно мањи него прве године, тако да су и трошкови депресијације мањи него код методе St. Line:



$$K_h = 41,74 \text{ €/h}, \quad C_{jm} = 0,48 \text{ €/m}^3$$

На средини радног века машине, нема значајније разлике између две наведене методе, мада је у том тренутку највећа вредност између резидуалне вредности срачунате по SOY и St. Line методи и износи чак 21% од набавне вредности машине. Међутим, уколико се депресијација обрачунава као пад резидуалне вредности у јединици времена, на средини радног века машине ове вредности су приближно једнаке.

Наведени подаци доказују да обрачун депресијације према Методи равномерне депресијације, иако широко распрострањен, даје податке који не одговарају реалним вредностима. У првој половини радног века, трошкови депресијације биће мањи од реалних, док ће у другој половини радног века трошкови депресијације обрачунати по овој методи бити већи од реалних. Уколико је машина цео радни век у власништву једне фирме, ова разлика неће бити од значаја. Међутим, уколико је фирма набавила нову машину, користила је пола њеног радног века и затим је отуђила, трошкови које је фирма обрачунавала кроз трошак депресијације биће знатно мањи од разлике набавне вредности машине и њене продајне вредности на средини радног века. Према истом принципу, уколико извођач купи грађевинску машину којој је прошла половина радног века, и задржи је до њеног потпуног расходовања, реални трошкови депресијације биће мањи од трошкова срачунаних према методи равномерне депресијације.

## 2.3 Радни век машине и његов утицај на избор машине

Од тренутка пуштања нове машине у погон, почиње њен радни век чије се трајање најчешће обележава са  $h_{ек}$ . Од тог тренутка започиње процес хабања и трошења машине који у одређеном тренутку доводи до тога да машина не служи својој сврси и да мора бити замењена. Веома је битно да се тај тренутак препозна и да одлука о замени машине буде правремена. При избору машина, веома је битно да се сагледа у којој је фази свог радног века машина, и у складу са планираним трајањем пројекта и предвиђеним обимом радова у којој ће фази бити на завршетку пројекта. Уколико се ово не учини, могуће је доћи у ситуацију да, поготово на дугорочним пројектима, машина застари и да је пред крај пројекта потребно набављати нову машину. Због важности оваквих одлука, један од главних елемената профитабилног управљања механизацијом је процес доношења одлука о замени машина. Оваква одлука обухвата и прорачун тренутка када више није економски оправдано поправљати покварену машину.

Радни век машине може бити дефинисан на три различита начина: физички радни век, профитни век и економски век. Сва три концепта треба да буду одређена и прорачуната при одлуци о замени машине, с обзиром да сваки од представља различит приступ тој одлуци. Само комбинацијом ова три приступа може се извести квалитетнија анализа замене машине.

Анализа замене машине ради се ради одређивања економског века машине, одговарајућег избора машине и одређивања момента замене машине. Методе



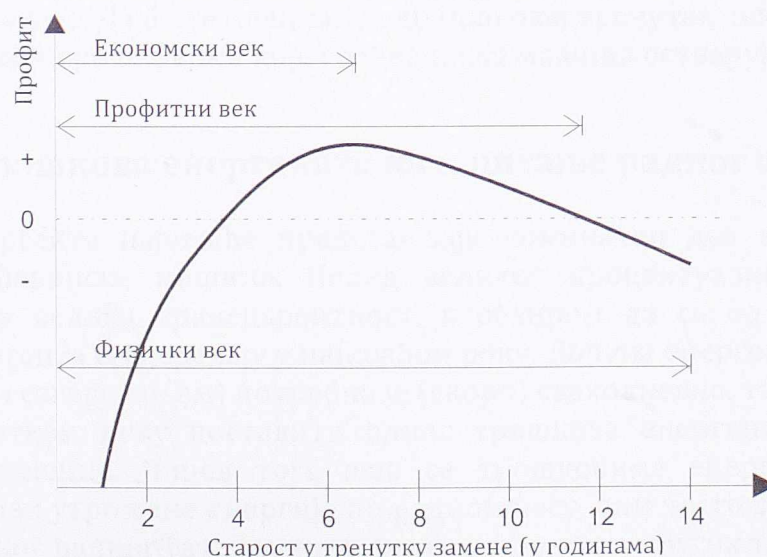
анализе замене могу се категорисати, према [Douglas D. et al, 2006], на теоретске методе замене и практичне методе замене. Теоретске методе укључују:

- Интуитивне методе које могу да се користе од стране власника мале групе машина
- Методе минималног коштања које најчешће користе јавне агенције са великом флотом машина
- Метода максималног профита која се може користи од стране извођача са великом флотом машина
- Метод повратка капитала (*Payback period method*) који је базиран на инжењеријској економији и који је генерално примењив на свим флотама
- Метод математичког моделирања који је базиран на компјутерским симулацијама различитих трошкова при оптимизовању састава и величине флоте механизације.

### 2.3.1 Типови радног века машине

Радни век грађевинске машине може бити дефинисан на три начина: физички век, профитни век и економски век машине. На слици 2.10 приказан је међусобни однос ове три величине за типичну грађевинску машину.

На графику се види да почетни радни век машине карактерише период када машина својим радом треба да достигне тренутак када је зарадила онолико колико је у њу уложено. Након тог тренутка, машина својим радом прелази у фазу када зарађује више од суме колико је у њу уложено, колики су трошкови експлоатације и одржавања. Последњи стадијум је фаза када су њени трошкови експлоатације и одржавања већи од добити коју она може да оствари.



Слика 2.10 – физички, профитни и економски век машине



Физички радни век машине је период након кога се машина потпуно исхаба, и након кога она више не може поуздано да обавља своју функцију. До тог тренутка трошкови одржавања машине и трошкови експлоатације значајно порасту. Дужина физичког радног века машине зависи од пораста трошкова одржавања и експлоатације, а они зависе од квалитета одржавања машине и услова у којима је радила. Ови услови су веома индивидуални, тако да две машине исте године производње могу имати потпуно различите дужине (физичког) радног века. Пракса је показала да се и мање суме новца уложене у превентивно редовно одржавање замењују велике трошкове на генералним оправкама и заменама већих компоненти.

Профитни век је период током кога машина може да остварује профит. Рад након овог перода доводи до финансијског губитка. Преломни тренутак који означава крај профитног века машине обично може бити тренутак замене неког кључног дела машине услед истрошености, дотрајалости или дугогодишњег хабања. Веома је битно да менаџери који планирају рад грађевинских машина препознају овај тренутак и да је замене пре њега и великих трошкова које таква поправка захтева, док још машина функционише на одговарајући начин.

Економски радни век машине завршава се тренутком када машина остварује максимални профит у свом радном веку. Власник машине увек жели да оствари максималну продуктивност са минималним трошковима производње. На овај начин, бирајући крај економског века машине као тренутка за замену машине, фактички се врши оптимизовање производње у односу на профит. На слици 2.10 приказано је да је економски век машине краћи од профитног века машине и завршава се у тренутку када се остварује максимални профит. Након овог тренутка, повећавају се трошкови експлоатације и одржавања на рачун профита који се тиме смањује. Да би се прецизно одредио овај тренутак, потребно је водити евиденцију о свим трошковима које грађевинска машина остварује.

## 2.4 Утицај трошкова енергената на коштање радног сата

Трошкови енергента најчешће представљају доминантан део експлоатационих трошкова грађевинске машине. Поред великог процентуалног учешћа, њих карактерише и велика транспарентност, с обзиром да се од свих трошкова, трошкови енергента сагледавају у најкраћем року. Допуна енергената (код мотора са унутрашњим сагоревањем) потребна је (скоро) свакодневно, тако да је могуће у релативно кратком року поставити однос трошкова енергента и остварених радних сати машине. Поред тога што се трошковима енергената директно изражава трошак утрошене енергије по радном часу, они често због свог великог учешћа у укупног радног сата машине служе и као мера других трошкова (који се обрачунавају као део цене енергента) или чак и за оквирно срачунавање укупне цене радног сата (које се изражава као дупла или трострука вредност трошкова енергије).



#### 2.4.1 Утицај трошкова енергије на коштање радног сата машина

Утрошак енергије при раду машине зависи од снаге мотора, степена оптерећења мотора и услова у којима машина ради. Опште прихваћени принцип обрачуна потрошње енергије код мотора са унутрашњим сагоревањем, према [Schaufelberger, 1999.] је повезивање снаге мотора и утрошене енергије. При томе, снага мотора се изражава у коњским снагама (HP) и киловатима (kW), у зависности од тржишта. Потрошња горива се изражава у литрама (lit), галонима (gal) или килограмима (kg).

Већина методологија обрачуна трошкова енергената базира се на формули типа:

$$E_E = N \cdot F_F \cdot C_F$$

где је  $E_E$  трошак енергента,  $N$  је номинална снага мотора,  $F_F$  је фактор потрошње горива и  $C_F$  представља цену енергента.

У овој формули, једина променљива вредност за једну машину је фактор потрошње горива. Он фактички представља специфичну потрошњу енергента. До вредности овог фактора рачунски се долази према формули:

$$F_F = k_O \cdot g_S$$

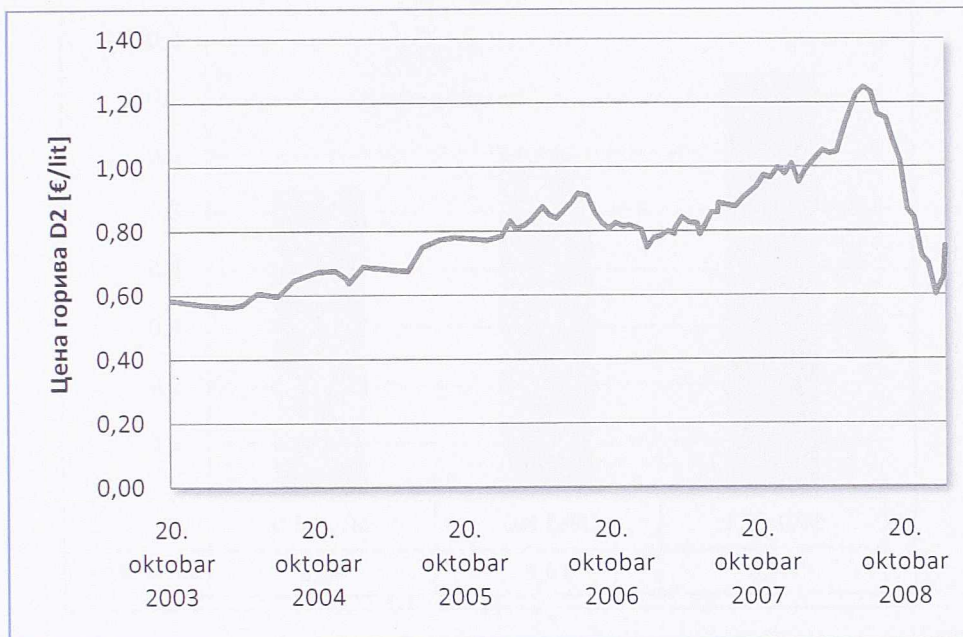
Где је  $k_O$  коефицијент оптерећења мотора и  $g_S$  специфични утрошак енергента по јединици снаге мотора. Специфични утрошак горива је, према више методологија, константан, и износи, [USACE, Construction Equipment Ownership and Operating Expense Schedule, 2007.] 0,19468 lit/KSh за дизел, односно 0,378541 lit/KSh за бензинске моторе.

Потрошња енергента је веома зависна од услова рада. Отежани услови рада доводе до знатног повећања потрошње енергије, које се може кретати и до 30% [Zane W. Mitchell Jr, 1998.], што доводи до значајног повећања коштања радног сата машине.

Према домаћој пракси, за специфичну потрошњу горива се уобичајено усваја вредност од 230 грама горива за сваку коњску снагу. Према неким ауторима, ову вредност треба кориговати и у складу са повећањем надморске висине и са повећањем или смањењем спољашње температуре.

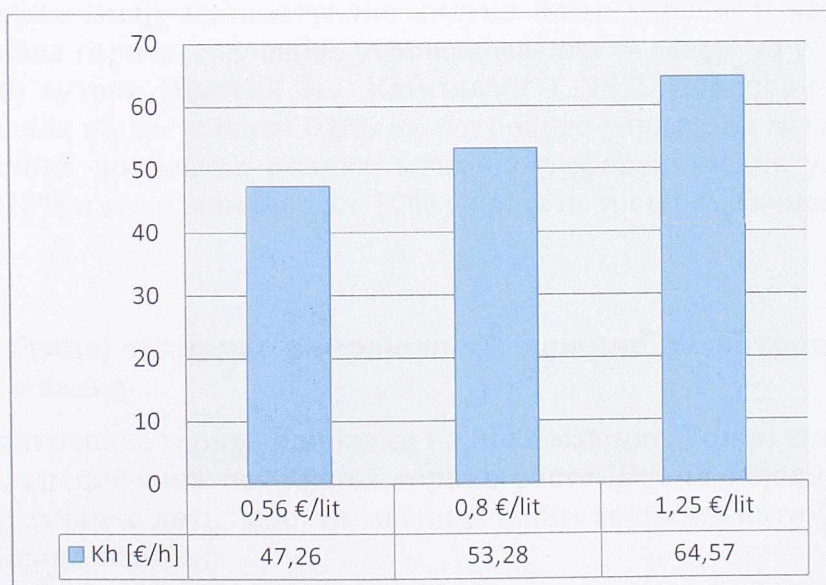
При планирању ангажовања механизације, избора машина и срачунавању трошкова рада грађевинске механизације, неопходно је сагледати учешће трошкова енергената и утицај повећања њихове цене.





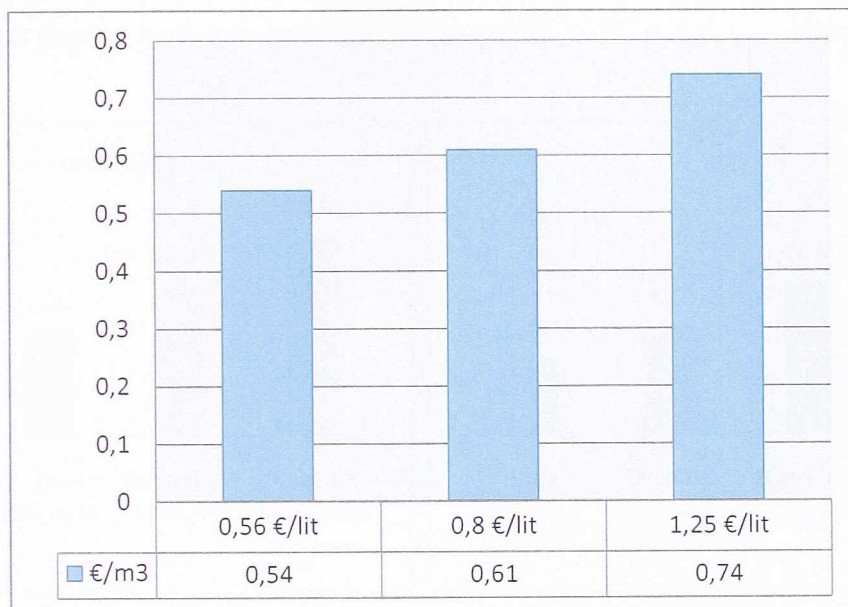
Слика 2.11 – промена цене горива D2 у Србији у периоду октобар 2003 – јул 2009

У периоду од 20. октобра 2003. године, до 27. јуна 2009. године, у Србији је 88 пута мењана цена горива D2. Од 20. октобра 2003. до 28. децембра 2005. године, цена је мењана у просеку на сваких 49 дана, док је након тога цена мењана у просеку на сваких 18 дана. Минимална цена у целом периоду била је 0,56€/lit забележена 23. марта 2004. године, док је максимална цена била забележена 12. јула 2008. године и износила је 1,25 €/lit. Средња вредност цене горива у посматраном периоду била је 0,8€/lit. Разлика између минималне и максималне цене износила је читавих 223%!



Слика 2.12 - Утицај промене цене D2 на цену радног часа на примеру багера CAT 320





Слика 2.13 - Утицај промене цене D2 на цену ископа по  $m^3$  на примеру багера CAT 320

О колико се великим разликама у ценама ради, може се видети и уколико се ови подаци примене на конкретном пројекту. На ауто путу Ниш – Димитровград, као делу паневропског коридора 10, само на једној деоници, Просек – Банцарево, дужине 9.424,83км, укупна количина ископа износи 1.454.499 $m^3$ . Промена цене ископа од 0,1 €/m<sup>3</sup> доводи до промене цене само једне позиције од 145.450€.

#### 2.4.2 Утицај трошкова мазива на коштање радног сата машина

Трошкови мазива имају процентуално знатно мање учешће у коштању радног сата од трошкова горива. Најчешће, утрошак мазива се везује за утрошак горива. Тако, поједини аутори [Протић Ђ., Клисински Т. 1979.] препоручују да укупна потрошња мазива на час износи 0,8% од потрошње горива, од чега моторно уље чини 70% укупне потрошње мазива, мењачко-диференцијално уље чини 20%, товатна маст 10% и хидраулично уље 10% укупне потрошње мазива.

#### 2.4.3 Утицај техничке дотрајалости машине на потрошњу горива и мазива

Специфична потрошња горива односи се на нове машине. Током експлоатационог века машине, специфична потрошња горива расте. Према појединим ауторима коефицијент техничке дотрајалости машине, којим треба увећати утрошак радне снаге и материјала, износи:

- нове машине (експлоатациони век од 0 – 2.000 радних сати) коефицијент 1,0
- очуване машине (експ. век од 2.000 – 4.000 р. с.) коефицијент 1,1
- дотрајале машине (експ. век од 4.000 – 6.000 р. с.) коефицијент 1,25



- сасвим дотрајале машине (експ. век од преко 6.000 р. с.)      коефицијент 1,40



Слика 2.14 - Утицај техничке дотрајалости машине на коштање радног сата (лево) и на коштање ископа по јединици мере (десно) за багер САТ 320



## 2.5 Прорачун трошкова рада грађевинских машина према USACE

### 2.5.1 Увод

Грађевинска механизација представља кључни ресурс при извођењу већине инвестиционих пројеката. Она може представљати и највећи дугорочно инвестирани капитал многих грађевинских компанија [Schaufelberger, E., Johh, 1999.]. У складу са тиме, планирање рада грађевинске механизације има значајан утицај на економску успешност рада грађевинске фирме. Механизација мора да заради више кориснику него што су трошкови изнајмљивања, власништва и коришћења. Неупошљена менанизација смањује приход власника, с обзиром да трошкови основног средства постоје независно од упошљености машине. Власник грађевинских машина мора непрекидно да прати флоту, и да доноси одлуке о набавци нових машина, њиховој замени или продаји.

Основна претпоставка за успешно управљање радом грађевинске механизације, као и за успешност инвестиционог пројекта, је тачно прорачунавање трошкова рада грађевинских машина. Извођач мора да буде способан да процени трошкове експлоатације и трошкове основног средства сваке машине, без обзира да ли је он власник, или је машина изнајмљена или под лизингом. Процењени трошкови служе за формирање понуде за извођење радова, као и за доношење одлука везаних за ангажовање, продају, изнајмљивање или лизинг поједине машине.

### 2.5.2 Извори технолошких информација

За успешно управљање пројектима, као и оптималан избор грађевинских машина неопходно је имати поуздан извор технолошких информација. У току истраживања за конференцију *The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering* (ICCCB 2010), вршено је анкетирање грађевинских стручњака о изворима технолошких информација. Циљ анкете био је утврђивања начина на који стручњаци у грађевинарству долазе до технолошких информација које су им неопходне у раду, утврђивање проблема са којима се сусрећу при претраживању података, као и карактеристике "идеалног" претраживача података из уже технолошке области. Анкета је спроведена на ограниченом броју изабраних стручњака подељених у две групе. Прву групу од 5 анкетираних чинили су истраживачи са универзитета у Великој Британији (Purdon University, LongBorough University), САД (Ball State University ) и Србији (Грађевински факултет у Београду).

Друга група од 9 анкетираних представља цењене стручњаке из грађевинарства (стручњаци из праксе). У овој групи има представника 4 фирме које се баве консалтингом, 4 извођачке фирме и 1 пројектантске фирме. Тржиште на коме раде ове фирме је веома широко: по једна фирма је из Енглеске (Avistum Ltd ), Италије (Montagna SM), УАЕ (Parsons Brinckerhoff), Немачке (STRABAG), Русије (ZAO "Strabag", Moskva) и по две фирме из Србије (Consortium Eptisa, Royal Haskoning and VNG и Гемакс) и Аустрије (ALPINE и VT Real Estate).



На основу прикупљених и анализираних података из анкете може се закључити да грађевински инжењери у свим пољима рада имају честе и велике потребе за технолошким информацијама. Сви анкетирани бар једном недељно покушавају да пронађу одређене информације, док скоро половина анкетираних то ради сваког дана. Најчешће се траже информације о искуствима других корисника и могућностима примене одређене технологије у специфичним условима. У претрагама анкетираних највећи проблем представља недостатак актуелних информација. Анкетирани се, у својим претрагама, углавном ослањају на Интернет. Гугл је убедљиво најчешће коришћени претраживач, мада се користе и други, специјализовани претраживачи. И поред одличне оцене коју су дали Гуглу, само 21% анкетираних изјаснило се да његовим коришћењем увек проналази одговарајуће информације. Приликом коришћења претраживача, сви анкетирани користе две или више кључних речи. Од проблема са којима се сусрећу приликом претрага података, анкетиранима највише смета што подаци нису класификовани према сродности података. Код дефинисања карактеристика идеалног претраживача, анкетирани су истакли карактеристике "да даје релевантне странице из области са што мање промашаја", и "да поред кључних речи могу да изаберем уже одређену област".

Најбољи и најпрецизнији извор података за процену трошкова рада грађевинске механизације је извођачева база историјских података. Уколико она не постоји (што је чест случај у пракси), користи се препорука произвођача механизације прилагођена реалним градилишним условима или нека друга методологија, довољно прецизна и прихваћена од стране Инвеститора.

### **2.5.3. Дефиниција проблема**

Процена трошкова рада грађевинских машина је комплексан проблем, запостављен у нашој грађевинској пракси. При процени трошкова, потребно је сагледати како трошкове експлоатације машине (експлоатациони трошкови), тако и трошкове инвестирања у грађевинску машину (трошкови основног средства). Сагледавање ових трошкова није увек прецизно и често је базирано на претпоставкама, које могу бити више или мање провериве. Велики број разнородних података, од набавне цене машине, трошкова осигурања, трошкова ангажованог капитала, па све до трошкова потрошње горива, замене хабајућих делова или бруто трошкова руковаоца машина, чини процену трошкова компликованим задатком.

Основни проблем при процени трошкова рада грађевинске механизације је како сагледати све трошкове и њихов утицај на коначну цену рада грађевинске машине. Главне препреке при прорачуну представља недостатак података за прорачун, њихова застарелост, непримењивост на расположиве машине, компликованост прорачуна као и немогућност прецизне провере добијених података. Проблем је утолико већи што свако тржиште има сопствене цене енергената, радне снаге, трошкове набавке машине и укупну политику цена.

Коришћење јавних база историјских података представља веома вредан извор података. Већина комерцијалних база података намењене су одређеном тржишту



и у себи садрже унапред дефинисану методологију приказа и обрачуна презентованих података.

Данас је, у свету, развијен велики број методологија прорачуна трошкова рада машина. Сваки већи произвођач, такође, има своју методологију. На основу ових методологија, прорачун коштања часа рада, за исту машину, може се разликовати и до 250%. У употреби широм света су се издвојиле методологије Caterpillar, US Army Corps of Engineers i Peurifoy/Schexnayder.

Као пример каква треба да буде квалитетно израђена база историјских података, са презентованом методологијом, може да послужи публикација коју издаје United States Army Corps of Engineers, са базом података која се користи при коришћењу ове методологије.

#### 2.5.4 USACE

United States Army Corps of Engineers (USACE), или инжењеријски корпус америчких оружаних снага је војна организације Америчке војске чија је мисија обезбеђење квалитетног и одговорног инжењеријског сервиса војсци и цивилима, укључујући:

Планирање, пројектовање, изградњу и управљање водним ресурсима и другим пројектима у нискоградњи (наводњавање, спречавање поплава, заштита околине, помоћ при елементарним непогодама...), Пројектовање и управљање изградњом војних постројења за војску САД и Пружање услуга пројектовања и изградње другим војним и федералним агенцијама.

За потребе одређивања фер цена рада грађевинских машина за своје потребе, као и за потребе својих подизвођача, USACE је објавио документ под називом „*Construction Equipment Ownership and Operating Expense Schedule*“ у коме се даје начин обрачуна, као и саме вредности коштања радног сата за механизацију, са свим потребним подацима за прорачун. Тренутно је важећи документ издат 31. јула 2007. године.

У овом документу дате су цене рада грађевинских машина. Машине су груписане по категоријама поређаним по абecedном реду, затим по подкатегоријама, унутар којих су већи произвођачи посебно груписани. Свака машина је означена јединственом шифром, ознаком модела, кратким описом, типом горива које користи и снагом мотора израженом у коњским снагама. Такође, за сваку машину дата је набавна вредност (TEV – *Total Equipment Value*) базирана на ценама из 2004. године. Набавну вредност механизације старије од 2004. године (3 године), потребно је свести на вредност из 2004. године применом одговарајућих економских индекса.

Методологија која се овде предлаже примењива је на целокупној територији САД. Ипак, овако велика територија подељена је у 12 региона и за сваки од њих су дате локалне цене у региону (*Appendix B*), од броја радних сати на годишњем нивоу, цене електричне енергије, цене горива, до трошкова транспорта.

Подаци о коштању радног сата машина са свим припадајућим елементима дати су у две табеле – у табели 2-1 (*Hourly Equipmet Ownership and Operating Expence*) и



табели 2-2 (*Hourly Rate Elements*). У првој табели, 2-1 дати су основни подаци о карактеристикама машине, уз кратак опис и подаци о укупном коштању радног сата за средње и тешке услове рада. У другој табели су дати детаљни подаци о структури трошкова радног сата за средње и тешке услове рада.

EP 1110-1-8  
Vol. 1  
10 Sept 07

Table 2-1. HOURLY EQUIPMENT OWNERSHIP AND OPERATING EXPENSE

CAT	REGION 1			ENGINE HORSEPOWER FUEL TYPE		VALUE (TEV) 2004 (\$)	TOTAL HOURLY RATES (\$/HR)		ADJUSTABLE ELEMENTS			CWT
	ID.NO.	MODEL	EQUIPMENT DESCRIPTION	MAIN	CARRIER		AVERAGE	STANDBY	DEPR	FCCM	FUEL	
<b>C45 CONCRETE PAVING MACHINES</b>												
	SUBCATEGORY	0.00	CONCRETE PAVING MACHINES									
	GOMACO CORPORATION											
C45G0026	C-450		CONCRETE PAVING MACHINES, CYLINDER FINISHER, SINGLE DRUM, FINISHING WIDTH 9'-13"	36 HP	G	\$49,167	27.15	4.33	6.56	1.05	7.42	64
C45G0027	C-650-F		CONCRETE PAVING MACHINES, CYLINDER FINISHER, DOUBLE DRUM, FINISHING WIDTH 19'-51"	50 HP	D-cif	\$62,495	28.32	5.50	8.33	1.33	4.19	91
C45G0028	C-650-S		CONCRETE PAVING MACHINES, CYLINDER FINISHER, DOUBLE DRUM, FINISHING WIDTH 19'-51"	50 HP	D-cif	\$99,465	42.26	8.75	13.26	2.12	4.19	126
C45G0029	C-750		CONCRETE PAVING MACHINES, CYLINDER FINISHER, DOUBLE DRUM, FINISHING WIDTH 8'-15"	36 HP	G	\$66,119	33.53	5.92	8.82	1.41	7.42	91

Слика 2.15 - Део табеле 2-1

У табели 2-1 приказани су подаци о снази мотора (изражени у коњским снагама), како за саму машину, тако и за транспортера машине (код кранова, скрепера...), затим набавна вредност машине (TEV – Total Equipmet Value) базирана на ценама из 2004. године, укупни трошкови рада машине (Total Hourly Rates) за средње услове рада и цена рада на чекању, као и износ трошкова амортизације (DEPR), трошкови ангажованог капитала (Facilities Capital Cost of Money - FCCM), трошкови потрошње горива (FUEL), као и транспортна тежина машине, изражена у стотинама фунти (CWT). Сви трошкови изражени су у доларима по часу [\$/h].

У табели 2-2 приказана је детаљнија структура трошкова рада машина, по типовима машина, за средње и тешке услове рада.

10 Sept 07

Table 2-2. HOURLY RATE ELEMENTS

REGION 1		AVERAGE OPERATING CONDITIONS								SEVERE OPERATING CONDITIONS							
CAT	ID. NO.	DEPR	FCCM	FUEL	FOG	TIRE WEAR	TIRE REPAIR	REPAIR	TOTAL RATE	DEPR	FCCM	FUEL	FOG	TIRE WEAR	TIRE REPAIR	REPAIR	TOTAL RATE
C85	cont.																
	C85LB019	36.09	14.13	15.93	2.71	0.00	0.00	51.34	120.20	44.42	14.31	20.83	3.54	0.00	0.00	70.63	153.73
	C85LB020	46.39	18.17	15.93	2.71	0.00	0.00	66.00	149.20	57.10	18.40	20.83	3.54	0.00	0.00	90.79	190.66
	C85LB021	44.92	19.67	12.54	1.38	0.00	0.00	71.43	149.94	53.91	19.85	16.40	1.80	0.00	0.00	94.75	186.71
	C85TE009	32.27	14.16	10.18	1.12	0.00	0.00	43.20	100.93	40.34	14.33	13.40	1.47	0.00	0.00	57.18	126.72
	C85TE010	42.80	18.79	10.62	1.17	0.00	0.00	57.31	130.69	53.50	19.00	13.98	1.54	0.00	0.00	75.85	163.87
	C85TE011	57.47	27.61	13.95	1.67	0.00	0.00	86.00	186.70	70.24	27.88	18.35	2.20	0.00	0.00	110.65	229.32
C90																	
	C90LB001	51.76	25.39	17.71	2.31	8.78	1.55	78.17	185.67	57.51	25.51	22.30	2.91	35.11	6.21	91.68	241.23
	C90LB002	59.80	29.28	20.00	2.61	8.78	1.55	90.27	212.29	66.44	29.42	25.26	3.29	35.11	6.21	105.88	271.61
	C90LB003	94.91	46.44	26.26	3.42	13.17	2.33	143.27	329.80	105.46	46.66	33.35	4.35	52.65	9.32	168.04	419.83
C95																	
	C95AP004	20.94	9.17	12.23	11.65	0.00	0.00	29.79	83.78								
	C95AP005	0.66	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	1.89								

Слика 2.16 - Део табеле 2-2



Укупни трошак рада машине (*Total Hourly Rate*) представља збир трошкова основног средства (*Ownership Cost*) и трошкова експлоатације (*Operating Cost*).

$$\text{Total Hourly Rate} = \text{Ownership Cost} + \text{Operating Cost}$$

Трошкови основног средства формирану су од трошкова депресијације (*DEPR*) и трошкова ангажованог капитала (*FCCM - Facilities Capital Cost of Money*), док су у трошкове основног средства укључени трошкови горива (*FUEL*), трошкови уља и подмазивања са урачунатим сервисним радом (*FOG - Filters, oil and grease*), трошкови текућег одржавања (*REPAIR*), трошкови хабајућих делова - пнеуматика, без трошкова замене (*TireWear*) и трошкови поправке пнеуматика (*TireRepair*).

$$\text{Ownership Cost} = \text{DEPR} + \text{FCCM} \quad [$/h]$$

$$\text{Operating Cost} = \text{FUEL} + \text{FOG} + \text{REPAIR} + \text{TireWear} + \text{TireRepair} \quad [$/h]$$

У трошкове радног сата нису урачунати трошкови радне снаге, једнократни трошкови мобилизације и демобилизације машине, трошкови администрације, кредита и профита. Треба истаћи да у трошкове основног средства нису укључени трошкови лиценци, пореза, осигурања, инспекција, евидентирања, обуке, осигурања градилишта и путарине.

### 2.5.5 Утицај услова рада машине

Услови рада су подељени у три групе – средњи (*Average*), отежани (*Difficult*) и тешки (*Severe*). Опис средњих и лоших услова рада за сваки тип машина дат је посебно, у додатку Ц (*Appendix C*), заједно са очекиваним радним веком машине за сваки од ових услова. Услови рада описани су у складу са начином примене поједине машине. При томе, отежани услови рада (са одговарајућим радним веком) би представљали средину између средњих и лоших услова.

APPENDIX C GUIDE FOR SELECTING OPERATING CONDITIONS		
EQUIPMENT TYPE	AVERAGE	SEVERE
<b>B25 and B35:</b> Buckets Clamshell or Dragline	Working in gravels, silts, and sands at low impact freshwater environment.	Working in rock, hard digging, high impact, or saltwater environment.
Depreciation Period:	8,000 - 10,000 hours	6,500 - 8,000 hours

Слика 2.17 - Пример дефинисања услова рада и радног века за групе машина – додаток Ц



У табели А-1 дате су цене рада само за средње услове рада, док су у табели А-2 дати и за тешке услове рада (за поједине врсте машина). Какви ће услови бити примењени при прорачуну, одређује се према упутству датом у додатку Ц, а на основу услова уговора и услова на градилишту.

### 2.5.6 Избор механизације

Механизација наведена у табели 2-1 представља репрезентативне примерке опреме која се користи у грађевинарству. При томе, поједине машине могу користити и прикључне уређаје и алате. Свака машина је груписана у категорију (CAT) и подгрупу (SUB). Тако је формиран идентификациони број (ID No.) сваке машине формиран од три дела: прва три карактера представљају ознаку категорије (CAT), следећа два карактера су ознака произвођача и последња три карактера означавају број машине. Шта је од опреме за сваки тип машине подразумевано при прорачуну коштања радног часа, наведено је у додатку Ј.

### 2.5.7 Набавна вредност машине

Укупна набавна вредност машине (*TEV - Total Equipment Value*), наведена за сваку машину посебно у табели А-1, добија се на основу каталожке вредности машине за 2004. годину (старост машине од 3 године) са основном опремом машине (*List Price + Accessories*), претпостављеног попушта (*Discount Code*), трошкова пореза или царина (*Sales or Import Tax*), трошкова транспорта базираних на транспортној тежини машине (*Freight*) и цени транспорта по јединици мере (*Freight Rate per cwt*). За попуст при набавци машине усваја се вредност од 7,5%, осим за камионе где је попуст 15%. Трошкови пореза и царина, као и цене транспорта машине по јединици тежине, разликују се по регионима и дати су за сваки регион посебно, у склопу додатка Б, где се дају локалне регионалне специфичности.

Укупна набавна вредност машине рачуна се по следећој формули:

$$TEV = (List\ Price + Accessories) * (1 - Discount\ Code) * (1 + Tax\ Rate) + (Shipping\ Weight) * (Freight\ Rate / cwt)$$

Каталожка цена машина као и транспортна тежина нису дати појединачно, за сваку машину посебно.

### 2.5.8 Економски век машине и годишњи фонд радног времена

Очекивани економски век машине (*Life*), изражен је у радним сатима и зависи од врсте машине и услова рада. Базиран је на препорукама произвођача или асоцијације произвођача. Вредности очекиваног економског века дате су по групама машина, одвојено за средње и тешке услове рада, у склопу додатка Д (*Appendix D*).



APPENDIX D EQUIPMENT HOURLY CALCULATION FACTORS																						
CATEGORY	SUB	DESCRIPTION	EK	C	DC	LIFE	SLV	HPF	EQUIPMENT			CARRIER			FOG			TIRE WEAR			RCF	
									FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS	FUEL FACTORS		FUEL FACTORS
B30	0.00	BUCKETS, CONCRETE	1																			
B30	0.10	GENERAL PURPOSE, MANUAL TRIP	15	A	B	8,000	0.05	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.70
B30	0.20	LAYDOWN	15	A	B	8,000	0.05	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.75
B30	0.30	LOWBOY	15	A	B	8,000	0.05	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.80
B30	0.40	LOW SLUMP	15	A	B	8,000	0.05	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.80
B35	0.00	BUCKETS, DRAGLINE	1																			
B35	0.10	LIGHT WEIGHT	15	A	B	8,000	0.10	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.70
B35	0.10	LIGHT WEIGHT	15	S	B	6,500	0.10	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.80
B35	0.20	MEDIUM WEIGHT	15	A	B	9,000	0.10	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.70
B35	0.20	MEDIUM WEIGHT	15	S	B	7,000	0.10	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.80
B35	0.30	HEAVY WEIGHT	15	A	B	10,000	0.10	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.70
B35	0.30	HEAVY WEIGHT	15	S	B	8,000	0.10	0	.000	.000	.000	0	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	0.80
C05	0.00	CHAIN SAWS	95	A	B	2,000	0.10	90	.900	.081	.043	0	.000	.000	.000	.477	.136	.161	.000	.000	.000	2.50
C10	0.00	COMPACTORS, WALK-BEHIND OR REMOTE CONTROLLER	1																			
C10	0.10	COMPACTORS, RAMMERS / TAMPERS & VIBRATORY PLATES	95	A	B	4,000	0.05	90	.900	.081	.043	0	.000	.000	.000	.477	.102	.102	.000	.000	.000	1.20
C10	0.20	ROLLERS, VIBRATORY	95	A	B	4,000	0.15	90	.900	.081	.043	0	.000	.000	.000	.477	.102	.102	.000	.000	.000	1.20

Слика 2.18 - Додатак Д (Appendix D)

Обим планираног годишњег фонда радног времена (WHPY - *Work Hour per Year*) је регионалног карактера и дат је у склопу регионалних специфичности, у склопу додатка Б (Appendix B). Дате вредности подразумевају једносменски рад срачунат на бази максималног фонда радних сати на годишњем нивоу редукованим због климатских фактора, празника, потреба за поправкама и одржавањем машина, мобилизацијом и демобилизацијом машина и случајним губицима времена.

APPENDIX B AREA FACTORS	
NORTHEAST Region: 1	
Total State Sales or Import Tax Rate:	5.60%
Working Hours Per Year (WHPY):	1,360 hrs/yr
Labor Adjustment Factor (LAF):	1.18
Electricity Cost Per Kilowatt-Hour:	\$0.147 /kW-Hr
Gasoline Cost Per Gallon:	\$3.03 /gal
Diesel Cost Per Gallon (Off-Road Use):	\$2.33 /gal
Diesel Cost Per Gallon (On-Road Use):	\$2.85 /gal
Cost-of-Money Rate (Full Rate):	5.250%
Cost-of-Money Rate (Adjusted):	4.200%
Freight Rates	
over 0 cwt thru 240	\$12.35
over 240 cwt thru 300	\$12.07

Слика 2.19 - Регионалне специфичности за регион 1 из додатка Б (Appendix B)



На основу економског века машине (*Life* - Додатак Д) и обима планираног горишњег фонда радног времена (*WHPY* - Додатак Б), срачунава се период депресијације (*N - Depreciation Period*) набавне вредности машине као њихов количник, према формули:

$$\text{Depreciation Period} = \text{Life} / \text{WHPY}$$

Ова вредност је изражена у годинама.

### 2.5.9 Преостала вредност грађевинске вредности машине

Преостала вредност грађевинске машине (*SLV - Salvage Value*) представља вредност која тренутно на тржишту може да се добије за коришћену машину одређене старости. Одређена је на основу огласа за продају машина у више грађевинских часописа, препорука произвођача, *Green Guide Volumes I and II*, и *Handbook of New and Used Construction Equipment Values, Equipment Watch*. Преостала вредност је дата кроз процентуалну вредност за сваки тип машина, наведену у додатку Д (*Appendix D*). При томе, овај проценат је једнак и за средње и за тешке услове рада. Преостала вредност добија се када се укупна набавна вредност машине (*TEV - Total Equipment Value*) помножи фактором  $(1-SLV)$ .

### 2.5.10 Трошкови основног средства

Трошкови основног средства обухватају збир трошкова признате депресијације машине (*DEPR*) и трошкова ангажованог капитала (*FCCM - Facilities capital cost of money*).

#### 2.5.10.1 Трошкови депресијације (DEP)

При прорачуну депресијације, користи се линеарни модел. При томе се за машине са пнеуматичима мора пре прорачуна депресијације срачунати индекс цена за пнеуматике (*TCI - Tire cost index*). У додатку Ф (*Appendix F*) дате су набавне вредности по врстама пнеуматика. При томе, свака врста пнеуматика има свој интерни код, индустријску ознаку, величину, пројектовани век трајања пнеуматика и цену.



APPENDIX F TIRE DESCRIPTION AND TIRE COST							
EP CODE	INDUSTRY CODE	SIZE DESCRIPTION	SIZE	PLY	TUBE (J)	COST PER EACH	
AGFO12	R-2	VA500/95D32	19.70 x 32.00	20	TL	\$3,044	
AGFO10	R-2	208-38	20.80 x 38.00	8	TL	\$1,860	
AGFO3	R-2	231-28	23.10 x 28.00	10	TL	\$1,860	
AGFO4	R-2	28L-28	28.00 x 28.00	12	TL	\$2,587	
AGFO6	R-2	305L-32	30.50 x 32.00	14	TL	\$3,282	
SPECIAL SURE GRIP RADIAL R-2-0			(Life = 5000 hrs)				
AGFP8	R-2	320/90R46	12.80 x 46.00	X3	TL	\$1,503	
AGFP9	R-2	340/85R46	13.40 x 46.00	UK	TL	\$1,624	
AGFP1	R-2	189R28	18.90 x 28.00	X2	TL	\$1,551	
AGFP2	R-2	189R30	18.90 x 30.00	X3	TL	\$1,697	
AGFP3	R-2	184R38	18.40 x 38.00	X1	TL	\$1,475	

Слика 2.20 - Додатак Ф (Appendix F) – цене пнеуматика по врстама

На основу података из додатка Д потребно је срачунати набавну вредност свих пнеуматика на машини. Тиме се добија укупна цена пнеуматика (Tire Cost). При томе треба нагласити да су цене пнеуматика приказане на дан објављивања ове публикације (у нашем случају 2007. године). С обзиром да је инвестиција у грађевинску машину била у тренутку набавке машине (рецимо, 2004. године), потребно је свести цене пнеуматика из 2007. године на цене из 2004. године. Ово се постиже применом Индекса цена (у случају пнеуматика то је Индекс цена пнеуматика - TCI - *Tire Cost Index*). Индекси промене цена дати су у додатку Е (Appendix E) за сваку групу машина или делова машина. Индекс цена добија се када се индекс за годину производње подели индексом за текућу годину.

APPENDIX E ECONOMIC INDEXES FOR CONSTRUCTION EQUIPMENT																				
KEY (EQ)		Note: Table 2-1 Equipment Rates are based on equipment purchased new in the year 2004 (-Projected-----)																		
		2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991
5	Air Equipment	2438	2066	2296	2285	2157	2065	2076	2066	2079	2047	2078	2074	2070	2063	2053	2012	2022	2008	1963
10	Asphalt & Concrete Paving Equipment	4810	4377	4247	4116	3950	3768	3768	3766	3766	3717	3638	3539	3490	3390	3323	3248	3189	3092	3108
15	Buckets	9190	8919	8685	8505	8057	7625	7443	7264	6804	6900	6982	6930	6888	6774	6572	6538	6563	6380	5901
20	Cranes, Draglines & Clamshells - Crawler & Truck Mtd	7072	6864	6661	6645	6201	5669	5728	5682	5236	5310	5289	5225	5116	5013	4880	4783	4736	4540	4298
25	Drills	6688	6820	6587	6117	4762	4444	4192	4116	3819	3736	3683	3625	3574	3518	3394	3320	3258	3196	3163
30	Generators	6657	6490	6328	6119	4888	4641	4566	4548	4548	4529	4520	4517	4484	4511	4457	4343	4294	4234	4161
35	Graders, Motor	7402	7183	6971	6827	6578	6318	6117	6048	5979	5952	5853	5882	5844	5466	5186	5038	4946	4655	4509
40	Loaders, Track	7455	7245	7031	6905	6653	6347	6177	6061	6058	6032	5960	5792	5686	5606	5434	5257	5058	4916	4677
45	Loaders, Wheel	6690	6667	6489	6372	6140	5857	5701	5612	5591	5567	5511	5409	5303	5251	5101	4998	4894	4758	4540

Слика 2.21 - Део додатка Е (Appendix E) – индекси промена цена

Трошак депресијације (DEPR), изражен по часу рада машине, рачуна се тако што се преостала вредност машине умањена за трошкове пнеуматика (сведених на цене из године производње машине) подели са планираним радним веком машине (*Life*):



$$DEPR = (TEV * (1 - SLV) - TCI * TIRE COST) / LIFE$$

### 2.5.10.2 Трошкови ангажованог капитала (FCCM)

Други део трошкова основног средства чине трошкови ангажованог капитала (FCCM – *Facilities Capital Cost of Money*), изражени по часу рада грађевинске машине. Добија се множењем осредњене вредности машине дисконтованом каматном стопом (DCMR - *Discounted Cost of Money Rate*). Вредности ангажованог капитала су различите по регионима, тако да је дисконтована каматна стопа дата у додатку Б (*Appendix B*) са другим регионалним специфичностима. Обрачун трошкова ангажованог капитала врши се по следећој формули:

$$FCCM = TEV * AVF * DCMR / WHPY$$

При чему TEV представља укупну набавну вредност машине, а AVF је фактор средње вредности ангажованог капитала током радног века машине (AVF - *Average Value Factor*) који се рачуна по формули:

$$AVF = ((N - 1) * (1 + SLV) + 2) / 2N$$

Где је N радни век машине изражен у годинама и добијен из односа предвиђеног радног века машине у сатима (LIFE) и планираног годишњег фонда радних сати (WHPY).

### 2.5.11 Прорачун експлоатационих трошкова

Експлоатациони трошкови обухватају трошкове енергената (*Fuel*), трошкове замене уља, филтера и подмазивања (*FOG - Filters, Oil and Grease*), Трошкове хабања гума (*Tire Wear*) и трошкове поправке гума (*Tire Repair*).

#### 2.5.11.1. Трошкови енергената

Трошкови енергента обухватају трошкове бензина, дизела или електричне енергије. Уколико машина има два мотора (нпр. аутодизалица), потребно је срачунати трошкове потрошње енергената за оба мотора.

Трошкови енергената срачунавају се према формули:

$$Fuel Cost = HorsePower * FuelFactor * FuelCost/Gallon$$

*HorsePower* представља номиналну снагу мотора изражену у коњским снагама [KS] (Horse Power – HP), при чему 1KS = 0,73549875 KW. *FuelFactor* је фактор потрошње



горива и означава (за дизел и бензинске моторе) специфичну потрошњу горива изражену у галонима по коњској снази мотора. *Fuel Cost/Gallon* означава цену горива изражену у \$US за један галон горива. 1 галон представља 3,785411784 литара. Номинална снага мотора је за наведену машину приказана у табели 2-1. Цена горива је различита по регионима тако да је приказана, за одговарајући регион, као локална специфичност, у додатку Б (*Appendix B*).

Фактор потрошње горива (*Fuel Factor*) је дат за сваки тип машина, за средње и тешке услове рада, у додатку Д (*Appendix D*). Специфична потрошња горива за бензинске и дизел моторе срачунава се по формули:

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * \text{lbsFuelPerBhp-h} / \text{lbsOfFuelPerGas}$$

У овој формули, HPF означава степен оптерећења мотора и дат је за сваки тип машина у додатку Д (*Appendix D*). При томе треба нагласити да су дате вредности изражене у наведеној табели у процентима апроксимативне и да могу да варирају у зависности од квалитета руковаоца машине, типа материјала, типа радног циклуса и укупне ефикасности посла.

*lbsFuelPerBhp-h* означава специфичну потрошњу горива по коњској снази мотора. Општа вредност овог фактора износи 0,6 фунти [lbs] по коњској снази мотора по радном часу за бензинске моторе, односно 0,36 фунти по коњској снази мотора по радном часу за дизел моторе. *lbsOfFuelPerGas* представља однос тежине и запремине за гориво, како би се специфична потрошња изразила у запреминским јединицама. И овај фактор је општи и износи 6 фунти по галону за бензинске моторе, односно 7 фунти по галону за дизел моторе.

Преведено на SI систем, Фактор потрошње горива (*Fuel Factor*) може да се изрази као:

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * 0,378541 \quad [\text{lit/KSh}]$$

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * 0,514673 \quad [\text{lit/KWh}]$$

за бензинске моторе, односно:

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * 0,019468 \quad [\text{lit/KSh}]$$

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * 0,026469 \quad [\text{lit/KWh}]$$

за дизел моторе.

При прорачуну фактора потрошње горива за електромоторе, претпоставка је да се, укључујући све губитке, троши 1 KW по коњској снази и користи се исти степен оптерећења као и за дизел и бензинске моторе.

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * 1 \text{ KW} \quad [\text{KW/KSh}]$$



### 2.5.11.2 Трошкови замене филтера, уља и подмазивања

Трошкови замене филтера, уља и подмазивања (FOG) рачунају се као проценат од трошкова горива. Обрачун се ради према формули:

$$FOG = FOG \text{ Factor} * Fuel \text{ Cost} * LAF$$

У овој једначини FOG Factor представља проценат трошкова од укупне цене енергената (*Fuel Cost*) и наведен је у додатку Д (*Appendix D*) за сваку врсту машина и по врстама погонске енергије. LAF (*Labor adjustment factor*) представља корективни фактор којим се усклађују регионалне разлике и наведен је за сваки регион посебно, у додатку Б (*Appendix B*).

У случајевима када машина нема мотор, могуће је да ипак постоје потребе за неким врстама горива (нпр. пропан, керозин...). У оваквим случајевима, наведена методологија није примењива, тако да се трошкови горива морају обрачунати на други начин. Сличан проблем се јавља и када такве машине без мотора имају потребу за подмазивањем.

### 2.5.11.3 Трошкови одржавања

Трошкови одржавања (*Repair Cost*) обухватају трошкове поправки, одржавања и већих ремонта (укључујући и хабање гусеница, замену зубаца на кашикама багера и утоваривача...). Процењени трошкови одржавања рачунају се по формули:

$$Repari \text{ Cost} = (TEV - TCI * TireCost) * RF / LIFE$$

Како је објашњено при анализи трошкова депресијације, TEV представља, укупну набавну цену машине, TCI је Индекс цена пнеуматика - *Tire Cost Index*, док је LIFE планирани фонд радних сати машине.

RF (*Repair factor*) се рачуна према формули:

$$RC = RCF * EAF * LAF$$

где је RCF (*Repair Cost Factor*) фактор трошкова поправки, дат у додатку Д (*Appendix D*) за сваку врсту машина и то одвојено за средње и тешке услове рада. EAF (*Economic Adjustment Factor*) се користи како би се RCF ускладио са тренутним нивоом цена. Он се добија као количник економских индекса за текућу годину са економским индексом за годину производње грађевинске машине. Економски индекси су дати у додатку Е при чему треба тражити индексе за одговарајућу врсту грађевинске машине и одговарајуће године (текућу и годину производње).



Фактор трошкова поправки у себи садржи све трошкове радне снаге при поправкама и одржавању машина, укључујући и путне трошкове и сви други директни трошкове које сервисери могу да проузрокују на пословима одржавања и поправкама, трошкове делова за замену, трошкове све опреме и возила која су ангажована на поправкама и одржавањима, као и трошкове централних и помоћних радионица, укључујући и њихову зараду на пословима одржавања и поправкама.

#### 2.5.11.4 Трошкови пнеуматика

Пнеуматици на грађевинској машини су генерално дефинисани по типу и квалитету од произвођача. Трошкови пнеуматика укључују како хабање (замену) пнеуматика, тако и њихову поправку као посебни елемент цене. Трошкови хабања транспортних трака такођа спадају у ову групу трошкова и обрачунавају се по истом принципу као и трошак пнеуматика.

При анализи трошкова пнеуматика, посматрају се засебно пнеуматици на предњим точковима (FT - *Front*), вучни (DT - *Drive*) и приколични (TT - *Trailer*). Предвиђен је и случај када се вучна сила преноси преко свих пнеуматика и тада се сви сматрају за вучне. Укупни трошкови пнеуматика добијају се као збир трошкова пнеуматика на свим позицијама.

Трошкови пнеуматика по часу добијају се као количник цене нових пнеуматика увећане за цену једног протектирања гума и очекиваног радног века пнеуматика увећаног за радни век протектираног пнеуматика. Формула гласи:

$$TireWearCost = CurrentTireCost * TireCostFactor / (MaximumTireLife * TireWearFactor * TireLifeFactor)$$

*CurrentTireCost* је тренутна цена свих пнеуматика на једној позицији (предњи, вучни или приколични). Признате цене свих величина пнеуматика дате су у додатку Ф (Appendix F).

*TireCostFactor* представља фактор којим се повећава набавна цена пнеуматика и који обухвата и трошкове једног протектирања. За овај фактор се у свим случајевима усваја вредност 1,5 (трошак протектирања једнак је 50% од набавне цене пнеуматика).

*MaximumTireLife* је вредност максимално очекиваног радног века пнеуматика и наведена је за сваки тип и димензију пнеуматика у додатку Ф (Appendix F).

*TireWearFactor* је фактор редуције максималног радног века пнеуматика у зависности од услова рада, положаја пнеуматика и типа машине. Вредности су дате у додатку Д (Appendix D).

*TireLifeFactor* представља фактор увећања радног века пнеуматика услед протектирања. За овај фактор усваја се 1,8 (протектирањем се радни век пнеуматика продужава 80%).

Трошкови поправки и замене пнеуматика процењују се на 15% од укупних трошкова пнеуматика. Овај износ се коригује већ поменутиим фактором LAF (*Labor*



*adjustment factor*) који представља корективни фактор којим се усклађују регионалне разлике и наведен је за сваки регион посебно, у додатку Б (*Appendix B*). Формула за прорачун трошкова поправке и замене пнеуматика гласи:

$$TireRepairCost = TotalHourlyTireWearCost * LAF * 0,15$$

#### 2.5.10.5 Прорачун коштања радног сата машине на чекању

Признати трошак машине на чекању (*Standby rate*) обухвата трошак ангажованог капитала (*FCCM - Facilities capital cost of money*) базиран на 40-то часовној радној недељи увећан за половину депресијације на часовном нивоу. Изражено кроз формулу, гласи:

$$StandbyRate = (DEPR * 0,5) + FCCM$$

Плаћено чекање машине не сме превазићи 40 часова недељно (7 календарских дана) по машини.

#### 2.5.11 Прилагођавање датих података реалним условима

Подаци о коштању и структури цене часа рада појединих машина наведени у табели 2-1 и 2-2 базирани су на каталожним ценама машина из 2004. године, регионалним ценама и факторима наведеним у додатку Б, условима рада описаним у додатку Б, као и другим, наведеним условима и ценама. Наведене цене могу се користити када су извођачеви подаци недовољни да се срачунају цене рада машина. У случају да извођачева механизација није наведена у опису у табели 2-1 и 2-2, мора се извршити прилагођавање датих података реалним условима.

Да би се машина сматрала „еквивалентном“ опису датом у табели 2-1, њене карактеристике (величина, капацитет и снага) не смеју се разликовати више од 10% у односу на описане карактеристике. У случају да се карактеристике машине више разликују од наведених карактеристика, цена часа рада мора се срачунати на основу напред описане методологије. Прилагођавање датих података реалним условима врши се када постоји једна од следећих измена у односу на описане услове:

- Промене у условима рада
- Промене у трошковима ангажовања капитала
- Промене услед измене радног времена у односу на 40 часова недељно
- Промене услед измена цене енергента
- Промене услед измена цена мазива
- Промене услед разлике старости машине у односу на табелу 2-1
- Промене услед старости машине веће него што је њен планирани радни век



При томе, за регионалне услове наведене у додатку Б нису предвиђене измене, осим у случају промене цена енергената и трошкова ангажовања капитала. Такође, нема измена цена за трошкове одржавања и оправки, као и трошкове замене и поправке пнеуматика.

#### 2.5.11.1 Промене у условима окружења

Уколико су услови окружења различити у односу на наведене, Надзорни орган мора да их овери и да се прорачун прилагоди реалним условима.

#### 2.5.11.2 Промене у трошковима ангажовања капитала

Уколико се трошкови ангажовања капитала рачунају по другачијим каматним стопама у односу на наведене, цена рада машине обрачунава се према формули:

$$TotalHourlyRate = DEPR + (FCCM * NEWCMR / OLDCMR) + OperatigCost$$

Где *TotalHourlyRate* представља укупно коштање радног сата, *DEPR* је трошак депресијаце по часу, *FCCM* представља трошак ангажованог капитала, *NEWCMR* је каматна стопа која се примењује, *OLDCMR* је стара каматна стопа и *OperatigCost* представља трошкове експлоатације (срачунате на основу старе каматне стопе).

#### 2.5.11.3 Промене услед измене радног времена

Ако је стварни број радних сати на недељном нивоу већи од 40h, потребно је извршити измене у трошковима ангажованог капитала (*FCCM*). Цена рада машине обрачунава се, на сличан начин као и код промена у трошковима ангажовања капитала, према формули:

$$TotalHourlyRate = DEPR + (FCCM * 40h / Actual) + OperatigCost$$

Где *Actual* представља представља број стварни радних сати на недељном нивоу.

#### 2.5.11.4 Промене услед измене у ценама горива и мазива

Трошкови радног сата механизације могу се прилагодити новим ценама енергената и мазива уколико просечна сена на градилишту варира више од 10% у односу на цену приказану у додатку Б. При томе, извођач мора доказати повећање цене горива и мазива одговарајућим рачунима, издатим од познатих добављача и за веће количине. Цена рада машине обрачунава се, према формули (за повећање цене горива):

$$TotalHourlyRate = (DEPR + FCCM) + (FOG + TireWear + TireRepari + Repair) + (NewFuelCost/FuelCostInAppendixB)*FUEL$$



### 2.5.11.5 Промене услед разлике старости машине у односу на таб. 2-1

Када је машина старија или млађа од годишта наведеног у табели 2-1, за усклађивање трошкова могу се користити коефицијенти наведени у табели 3-1, или се користи поступак описан у поглављу „Набавна вредност машине“. Да би се добила цена рада машине произведене одређене године, потребно је трошкове основног средства (DEPR + FCCM) који су базирани на цени машине из 2004. године увећати коефицијеном из табеле 3-1 за одговарајућу годину производње те машине.

**Table 3-1 Equipment Age Adjustment Factors for Ownership Cost**

CATEGORY SUB	REGION 1 TYPE OF EQUIPMENT	Life in Years																	
		Year Purchased New																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
C65	0.00	CONCRETE VIBRATORS	1.11	1.08	1.04	1.00													
C70	0.00	CRANES, GANTRY & STRADDLE																	
C75	0.00	CRANES, HYDRAULIC, SELF-PROPELLED	1.15	1.13	1.06	1.00	0.97	0.94	0.88	0.89	0.89	0.88	0.86						
C80	0.00	CRANES, HYDRAULIC, TRUCK MOUNTED																	
C80	0.01	UNDER 25 TON	1.15	1.13	1.06	1.00	0.97	0.94	0.88	0.89	0.89	0.88	0.86						
C80	0.02	25 TON THRU 25 TON	1.15	1.13	1.06	1.00	0.97	0.95	0.88	0.89	0.89	0.88	0.86	0.84					
C80	0.03	56 TON THRU 125 TON	1.15	1.13	1.06	1.00	0.97	0.95	0.88	0.89	0.89	0.88	0.86	0.84	0.81	0.79			
C80	0.04	OVER 125 TON	1.15	1.13	1.06	1.00	0.97	0.95	0.88	0.89	0.89	0.88	0.86	0.84	0.81	0.80	0.79		
C85	0.00	CRANES, MECHANICAL, LATTICE BOOM, CRAWLER MOUNTED																	
C85	0.11	DRAZLINE, CLAMHELL, 0 THRU 1.2 CY	1.16	1.14	1.07	1.00	0.97	0.94	0.87	0.89	0.88	0.87	0.85						
C85	0.12	DRAZLINE, CLAMHELL, OVER 1.0 CY THRU 2.5 CY	1.16	1.13	1.07	1.00	0.97	0.94	0.87	0.89	0.88	0.87	0.85	0.83					
C85	0.13	DRAZLINE, CLAMHELL, OVER 2.5 CY THRU 5.0 CY	1.16	1.13	1.07	1.00	0.97	0.94	0.88	0.89	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79			

Слика 2.22 - Пример дела табеле 3-1

### 2.5.11.6 Промене услед старости машине веће него што је планирани радни век

Уколико је старост машине већа него што је њен предвиђени радни век (наведен у додатку Д) није могуће применити напред наведену методологију. У том случају, потребно је трошкове основног средства (DEPR + FCCM) помножити фактором из табеле 3-1 за одговарајући тип машине. При томе, узима се најмањи наведени фактор за ту врсту машине, ма колико да је стара машина.

### 2.5.11.7 Промене цене радног сата на чекању услед старости машине која се разликује од старости наведене у табели 2-1

Уколико је старост машине већа него што је наведено у табели 2-1 (2004. година), при прорачуну коштања радног сата машине на чекању може се користити табела 3-1 са корективним факторима.



**Table 3-2 Equipment Age Adjustment Factors for Standby Cost**

CATEGORY SUB	REGION 1 TYPE OF EQUIPMENT	Year Purchased New																		
		Life in Years																		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	
E30	0.10	GENERAL PURPOSE, MANUAL TRIP	1.14	1.12	1.06	1.00	0.98	0.95	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.83	0.77	0.73
E30	0.20	LOWDOWN	1.14	1.12	1.06	1.00	0.98	0.95	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.83	0.77	0.73
E30	0.30	LOWBOY	1.14	1.12	1.06	1.00	0.98	0.95	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.83	0.77	0.73
E30	0.40	LOW EELUMP	1.14	1.12	1.06	1.00	0.98	0.95	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.88	0.87	0.87	0.87	0.83	0.77	0.73
E35	0.00	BUCKETS, CRAWLINE																		
E35	0.10	LIGHT WEIGHT	1.15	1.12	1.06	1.00	0.97	0.95	0.88	0.90	0.91	0.90	0.90	0.88	0.87	0.86	0.86	0.82	0.76	0.72
E35	0.20	MEDIUM WEIGHT	1.14	1.12	1.06	1.00	0.97	0.95	0.88	0.90	0.91	0.90	0.90	0.88	0.87	0.86	0.86	0.82	0.76	0.72
E35	0.30	HEAVY WEIGHT	1.14	1.12	1.06	1.00	0.97	0.95	0.88	0.90	0.91	0.90	0.90	0.88	0.87	0.86	0.87	0.83	0.76	0.72
C05	0.00	CHAIN DRIVE	1.15	1.12	1.07	1.00	0.96	0.95	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74
C10	0.00	COMPACTORS, WALK-BEHIND OR REMOTE CONTROLLER																		
C10	0.10	COMPACTORS, RAMMERS / TAMPERS & VIBRATORY PLATES	1.14	1.11	1.06	1.00	0.97	0.95	0.94	0.93	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80	0.78	0.76

Слика 2.23 - Табела 3-2

Цена рада на чекању, за машину произведену одређене године, добила би се тако што би се цена рада за такву машину произведену 2004. године помножила коефицијентом за одговарајућу годину производње из табеле 3-2. При томе, машина може бити и старија и млађа од 2004. године.

### 2.5.12 Примена методологије прорачуна USACE ван тржишта САД

Методологија прорачуна трошкова рада механизације дефинисана правилником *United States Army Corps of Engineering* детаљно описује начин формулисања трошкова основног средства и трошкова експлоатације који могу настати при раду грађевинских машина на територији Сједињених Америчких Држава. При томе је дат и конкретни износ коштања радног сата, како у укупном износу, тако и кроз структуру ових трошкова, за више услова рада. Приказана је методологија која се може применити како на наведене машине, тако и на све друге машине и услове рада.

Основа за приказ података о трошковима рада представља база од око 2.000 грађевинских машина, груписаних у 101 категорију, са детаљно приказаном структуром трошкова. У овој бази налазе се сви значајнији произвођачи са својим репрезентативним производним програмом. За сваку машину је дата спецификација основних карактеристика, са кратким описом и карактеристикама, као и детаљна структура трошкова за средње и тешке услове рада.

Пре анализе приказане методологије треба приметити да трошкови радне снаге (руковаоца) нису обухваћени методологијом. Такође, није предвиђено ни урачунавање профита већ су само приказани трошкови (без трошкова радне снаге).

При дефинисању методологије, као и при прорачуну трошкова рада машина, велика пажња је посвећена регионалним карактеристикама рада појединих машина. С обзиром да се методологија примењује на веома широком подручју, евидентне су велике разлике у цени радног часа машина које су проузроковане различитим улазним параметрима.





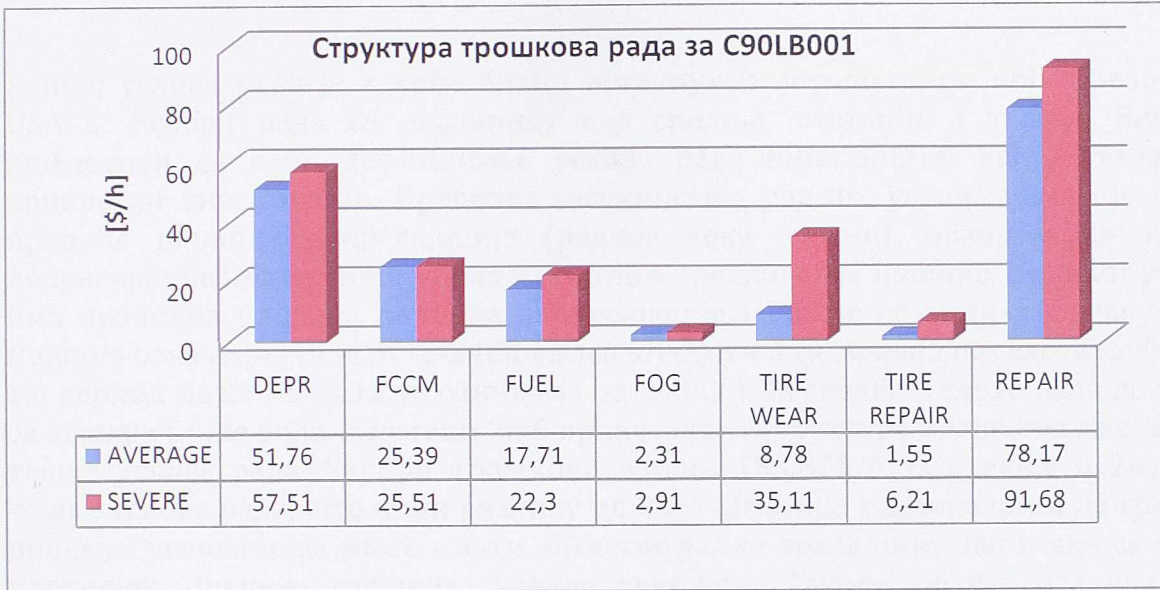
Слика 2.24 - Цена електричне енергије по регионима [\$/KWh]

Разлика цени енергената, рецимо, у цени електричне енергије, износи се 347%. Сличан је случај и са климатским условима који дефинишу планирани број радних сати на годишњем нивоу. Овај податак има одлучујући утицај на износ трошкова ангажованог капитала. Број радних сати на годишњем нивоу креће се од 1040h до 1630h.



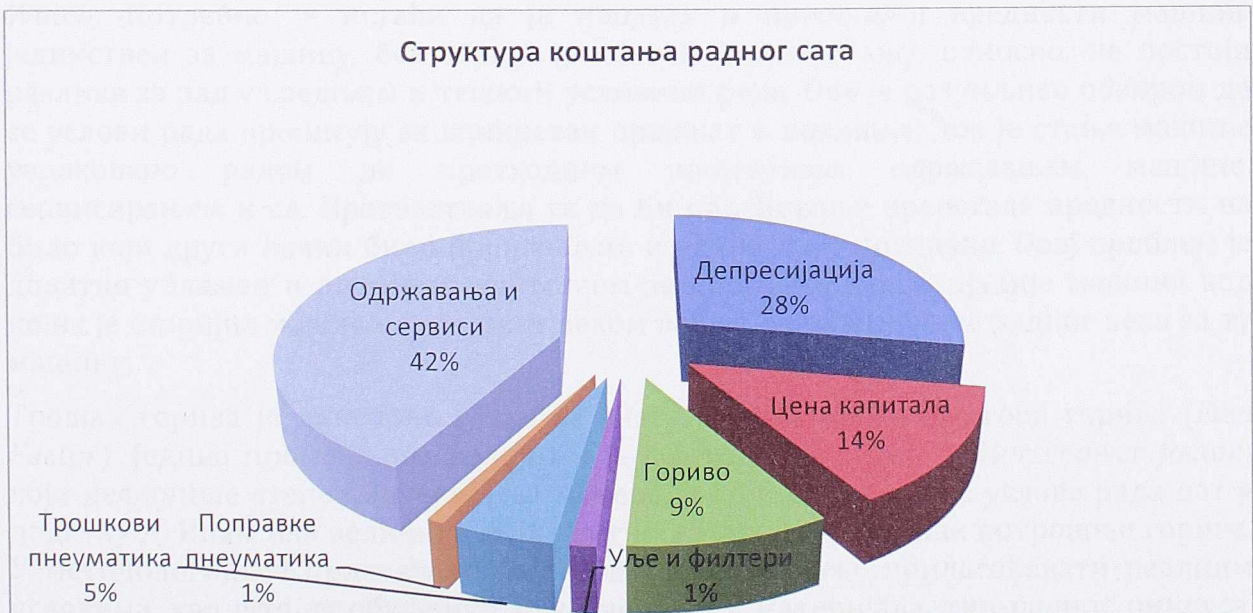
Слика 2.25 - Број радних сати на годишњем нивоу по регионима





Слика 2.26 - Структура трошкова за кран са решеткастом катарком, 150тона, 260`стрелом за средње (average) и тешке (severe) услове рада.

Оваква разлика у регионалним специфичностима намеће закључак да је прорачун коштања радног сата уско везан за територију на којој се ангажује машина. Трошкови које је машина имала на некој територији не мора да буду адекватни трошковима које та иста машина има на некој другој локцији. Услов за сличност износа трошкова је сличност услова у којима је машина радила. При томе је битније следити квалитетну процедуру процене трошкова него преузимати чак и конкретне податке о направљеним трошковима рада машина.



Слика 2.27 - Структура коштања радног сата за кран са решеткастом катарком, 150тона, 260`стрелом за средње (average) услове рада



Утицај услова рада је такође битно истакнут у методологији коју препоручује USACE. Услови рада се дефинишу као средњи, отежани и тешки. Битно је приметити да само дефинисање услова рада није опште, већ је везано за конкретан тип машине. Прецизно дефинисање радних услова битно је и због процене периода депресијације (радног века машине), обзиром да трошак депресијације има великог удела у укупним трошковима машине. Коликог утицаја има правилна процена периода депресијације најбоље се види у случају групе машина означених са M10 - .32 (*Clamshell dredges < 5 cu, Amphibious Excavator*) где се тај период може усвајати у границама од 20.000h за средње услове рада до 9.000h за тешке услове рада. На слици 2.26 приказана је структура трошкова за средње и тешке услове рада. Укупни трошкови износе 185,67\$/h за средње и 241,23 за тешке услове рада, што чини разлику од 30%. Оволика разлика чини да грешка у процени услова рада може имати катастрофалне последице, чак и ако се остала процедура процене трошкова изведе прецизно. Такође, оваква разлика може истопити сав профит који извођач може направити ангажовањем те машине.

Прорачун депресијације базиран је на линеарном моделу. Овакав модел је најлакши за прорачун али није и најпрецизнији, обзиром да тржишна цена машина са годинама не прати линеарну промену. Оваквим моделом се за нове машине добијају нешто мањи трошкови од реалних, док се за старије машине добијају већи трошкови него што су реални.

Овај недостатак делимично се анулира применом „преостале вредности“ (*Salvage Value*) у формулама за прорачун депресијације. Подаци о овим величинама базирани су на реалним огласима и продајама машина објављеним у *Green Guide Volumes I and II*, и *Handbook of New and Used Construction Equipment Values, Equipment Watch*. Потребно је истаћи да је податак о преосталој вредности машине јединствен за машину, без обзира у каквом је она стању, односно, не постоји разлика за рад у средњим и тешким условима рада. Ово је разумљиво обзиром да се услови рада прописују за конкретан пројекат и позиције, док је стање машине узроковано радом на претходним пројектима, одржавањем машине, сервисирањем и сл. Претпоставља се да би одређивање преостале вредности на било који други начин било произвољно и недовољно прецизно. Овај проблем је додатно ублажен и посебним упутством за прорачун депресијације машина код којих је старијих машина са радним веком већим од планираног радног века за ту машину.

Трошак горива је линеарно везан за снагу мотора преко фактора горива (*Fuel Factor*). Једина променљива величина је фактор снаге (*HPF - Horsepower factor*) који дефинише степен оптерећења мотора, и који је за средње услове рада дат у додатку Д. Ипак, ова величина може битно да утиче на трошак потрошње горива. У методологији је прихваћено да се овај фактор може прилагођавати реалним условима, као што су обученост руковаоца, тип материјала, тип радног циклуса, као и свеопшта ефикасност рада на градилишту. Закључак оваковог приступа је да није могуће унапред прецизно дефинисати фактор снаге, а самим тим и трошкове горива. Тиме се долази и до чињенице да трошак горива по сату на два пројекта не мора да буде исти, већ се мора увек процењивати на основу конкретних услова



рада. Утицај услова рада на потрошњу горива дефинисан је на начин да је у тешким условима рада потрошња горива већа за 30%. Оно што није дефинисано је однос потрошње горива према старости машине. Приказан однос

$$\text{Fuel Factor} = \text{HPF} * 0,019468 \quad [\text{lit}/\text{KSh}]$$

примењив је на новим машинама док је за машине са великим бројем радних сати, бар према домаћим искуствима, тај однос и до 40% већи. Питање фактора горива је тим значајније јер су и трошкови уља, мазива и филтера у директној вези са трошковима горива.

На слици 2.27 приказана је структура трошкова за кран са решеткастом катарком, 150 тона, 260`стрелом за средње (*Average*) услове рада. Сличан однос између трошкова је и за остале типове машина. Оно што је карактеристично је да трошак основног средства (DEPR + FCCM) чини 42% од укупних трошкова. Поред тога, трошак одржавања и сервиса (REPAIR) чини 42% од укупних трошкова. Овакав проценат показује да се планира редовна и квалитетна служба одржавања и поправки, обзиром да се планира трошак одржавања и сервиса од 78,17\$/h.



---

### 3 Постојећи модел избора грађевинских машина

---

*Постојећи модел избора машина заснива се најчешће на задатом потребном учинку који машине морају да остваре. У овом поглављу дат је опис оваквог приступа са основним математичким моделом избора машина.*

*Све већа конкуренција на тржиту, смањена маргина профита и нови начини финансирања набавке грађевинских машина нису адекватно представљени у класичном начину прорачуна избора машина. У овом поглављу дат је критички коментар класичног начина прорачуна избора машина. Недостаци класичног приступа представљају основу за дефинисање новог приступа у избору машина као и оптимизацији избора машина.*



### 3.1 Увод у избор машина на класичан начин

Под „класичним начином“ избора машина подразумева се методологија која је доминантна на тржишту Србије и коју је првобитно описао проф. Алексеј Постников [Постников А, 1977,] да би годинама постала стандард у избору машина. Професор Богдан Трбојевић [Трбојевић Б., 1971] је први описао начин прорачуна коштања радног сата машина. Многи аутори [Линарић, 2000.], [Стефановић А., 1984.], [Мехметбашић С., 2007.], су у претходних 40 година избор машина базирали на овој методологији. Овај метод је, и поред својих недостатака описаних у даљем тексту, једноставан, лаган за прорачун и широко примењив, тако да и данас представља недостижан ниво многим пројектантима и извођачима.

Избор грађевинске механизације у одређеном технолошком процесу представља основу за његово успешно функционисање. За правилан избор грађевинских машина неопходно је познавање експлоатационих и конструктивних карактеристика машина које предмет избора. Поред тога, потребно је добро познавање технологије извођења грађевинских радова на којима планирамо да ангажујемо механизацију. Познавање технологије извођења радова подразумева схватање свих технолошких услова извођења радова, као и познавања ограничења која су присутна. При томе, технолошки процес мора бити рашчлањен на његове основне, саставне технолошке линије и операције, како би био сагледа довољно прецизно, без могућности изостављања појединих операција, што може имати веома лош утицај на квалитетан избор машина.

Познавање експлоатационих и конструктивних карактеристика машина базира се на сагледавању следећих чињеница:

1. Који су основни услови при конструисању и експлоатацији изабране машине
2. Каква је улога и значај основних техничких параметара грађевинске машине.

Основни услови при експлоатацији изборне машине у своде се на следеће:

- Технички захтеви да машина има одређену носивост, димензије радних органа, брзине радних и помоћних органа, одговарајуће снаге мотора и потребан производни капацитет;
- Технолошки захтеви да свака изабрана машина и уређај мора покривати пројектом постављени технолошки процес производње, а квалитет рада такве машине мора испуњавати услове постављене технолошким условима.
- Економски захтеви, да се у експлоатацији машине троши што мање материјала за њено функцисање, односно одржавање. У ту сврху захтева се што мањи утрошак одређене енергије, рада и времена у односу на јединицу производње за сво време оптималног времена рада. Машина мора бити способна да, у најтежим, односно разним условима рада буде у могућности



да оствари више коштање радног сата у односу на експлоатационе трошкове, а у исто време са високим степеном продуктивности;

- Сигурност при раду код експлоатације машине мора се одржавати на високом нивоу, како за саму машину, тако и за руковоаоца.

Улога и значај основних техничких параметара грађевинских машина огледа се познавању техничких параметара који је карактеришу својим величинама. Наравно, и у првом реду, такви параметри зависе од функције машине и начина кориштења. На пример, периодични или циклични рад машине. Параметри рада грађевинског машине могу се се поделити у две групе.

- Конструктивно-технички параметри, као што су, на пример, код грађевинских машина за земљане радове: запремина корпе, дужина ножа, сила вуче, носивост, дохвати радног органа,
- габаритне димензије у радном и транспортном стању, тежина машине и друго.

У експлоатационо-техничке параметре спадају оне величине од којих зависи одређени радни процес или комплекс процеса грађевинске машине: отпор при извршењу појединих операција као што су, на пример, отпор копању, отпор кретању итд., брзине појединих радних органа, помоћних органа и целе машине; снаге појединих мотора, стабилност делова и целе машине, оптерећење земљишта, трајање појединих операција и, у вези с тим, капацитет.

Капацитет грађевинске машине се одређује манипулисањем са извесном количином грађевинског или другог материјала ( м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>, м, тона, ком. итд.) у току јединице времена (сат, смена, месец, година). Капацитет машине као један од експлоатационих параметара зависи од осталих конструктивно-техничких и експлоатационо-техничких параметара као сталних фактора машине и од тзв. променљивих фактора.

У променљиве факторе од којих зависи капацитет грађевинске машине спадају:

- својства материјала који се прерађује (категорија земљишта, врста терета који се диже, пластичност бетонске мешавине итд.),
- повезаност посматраног процеса са суседним процесима, као што су, на пример, утовар и истовар, и у том погледу, степен комплексности механизације,
- квалификација радног кадра који послужује машински парк у раду и одржавању, коришћење радног времена у смени и у току годишњег рада.

Од својстава материјала који се прерађује зависи врста механизације која ће се применити, евентуално, комплексност и степен искоришћења машине.

Повезаност истовремених процеса комплексном механизацијом смањује непродуктивне губитке времена, чиме се постиже, код исте основне механизације, већи и највећи степен продуктивности. Комплексна механизација представља рад без учешћа физичког рада или са његовим учешћем само изузетно тамо где такав рад нема никаквог утицаја на квалитет и продуктивност механизације. Неквалификована радна снага може да утиче на смањење продуктивности:



директно због недовољног коришћења радне способности машине и индиректно због недовољног стручног одржавања машине и, због тога, оштећења делова.

Коришћење времена има посебан значај за одређивање капацитета грађевинских машина.

При правилној експлоатацији се претпоставља пуно искоришћење машине са најмањим могућим, али и неопходним временом прекида рада. У току дана машина се може користити у једној, две или три смене, од чега зависи степен искоришћења машине.

Код избора машина на класичан начин, процедура се спроводи кроз низ, често итеративних, поступака. Основни скуп машина из кога се бирају поједине машине базиран је на машинском парку фирме, односно машинама које се могу изнајмити, уколико фирма нема потребне машине. Први корак је тзв. „шири избор“ који пружа увид у све расположиве машине које би могле да учествују у извршавању појединих операција технолошког процеса. При томе, сам технолошки процес је подељен на операције које се могу „покрити“ машинама. У ужем избору машина врши се, најчешће у три комбинације, придруживање дефинисаним операцијама појединих машина. Фактички, успоставља се релација

МАШИНА <-----> ОПЕРАЦИЈА

При томе, релација може бити типа:

1 <----> 1 (једна машина обавља једну операцију)

n <----> 1 (више машина обавља једну операцију)

1 <----> n (једна машина обавља више операција)

Резултат ширег избора је група комбинација машина са дефинисаним типовима машина које могу да изведу посматрани технолошки процес. У овом кораку циљ је поставити све технолошки могуће комбинације типова машина како би се у следећим корацима дефинисала оптимална комбинација.

Релације машина и операција дефинишу се у матрици зависности, чији је један пример приказан на слици 3.1

комб	МАШИНЕ		ОПЕРАЦИЈЕ			
	ВРСТА	МОДЕЛ	ИСКОП	УТОВАР	ТРАНСПОРТ	ИСТОВАР
1.	Булдозер	14.О. TG-110	X			
	утоваривач	14.О. ULT-150		X		
	Кипер	WABACO 35C			X	X

Слика 3.1 – матрица ширег избора машина за плитки ископ хумусног тла (једна комбинација)



На основу ширег избора врши се прорачун техно економских показатеља рада грађевинских машина – практични учинак  $U_{p,i,j}$  (практични учинак  $i$ -те машине у  $j$ -тој комбинацији) и коштање радног сата  $K_{h,i,j}$  за сваку појединачану машину ( $i$ ) у ( $j$ ) комбинацији. У општем случају, једна машина у различитим комбинацијама имаће различите вредности учинака и коштања радног сата. Прецизан прорачун учинака и коштања радног сата имаће кључни утицај на даљи ток избора машина.

Критеријум према коме се бира оптимална комбинација је минимална цена по јединици мере „обрађеног“ материјала –  $\text{din}/\text{m}^3$ ,  $\text{din}/\text{t}$ ,  $\text{din}/\text{kom}$ ...

Услов ограничења при избору машина је захтевани потребни практични учинак –  $U_{p,pot}$ . Ова вредност добија се као количник количине радова  $Q$  и планираног времена извршења радова -  $t$

$$U_{p,pot} = \frac{Q}{t}$$

На основу ове вредности одређује се број машина  $n_i$ , где је из услова

$$n_i \geq \frac{U_{p,pot}}{U_{p,i}}$$

No	МАШИНЕ		$U_p$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$n$ (kom)	$n \cdot U_p$ ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$K_h$ ( $\text{din}/\text{h}$ )	$n \cdot K_h$ ( $\text{din}/\text{h}$ )	$\frac{\Sigma(n \cdot K_h)}{\min(n \cdot U_p)}$	C ( $\text{din}/\text{m}^3$ )
	ВРСТА	МОДЕЛ							
1.	булдозер	14.О. TG-110	53.08	1	53.08	4761	4761	21791 53.08	411
	утоваривач	14.О. ULT-150	56.32	1	56.32	4226	4226		
	кипер	WABACO 35C	18.30	3	54.90	4268	12804		

Слика 3.2 – прорачун једне комбинације машина у ужем избору машина

Машина са минималном вредношћу  $n_{i,j} \cdot U_{p,i,j}$  одређује учинак целе комбинације машине ( $j$ ) и представља „кључну машину комбинације“. Треба тежити томе да кључна машина буде она чије је коштање радног сата највише.

Укупно коштање радног сата комбинације машина ( $j$ ) -  $K_{h,укупно,j}$ , износи

$$K_{h,укупно,j} = \sum_i n_{i,j} \cdot K_{h,i,j}$$

где  $K_{h,i,j}$  представља коштање радног сата машине ( $i$ ) у комбинацији ( $j$ ), а  $n_{i,j}$  је број машина ( $i$ ) у комбинацији ( $j$ )



Коначни податак на основу кога се врши избор оптималне комбинације је цена по јединици мере „обрађеног“ материјала –  $C_j$ . Овај податак се добија на основу:

$$C_j = \frac{\sum_i n_{i,j} \cdot K_{h,i,j}}{\min(n_{i,j} \cdot U_{p,i,j})}$$

Оптимална комбинација је она код које је минимална цена обрађеног материјала по јединици мере.

За успешни избор грађевинских машина, треба се придржавати неких основних принципа:

1. Не треба одабирати ни превише велике ни превише мале јединице неке одређене врсте машина. Превише велике и јаке машине обично раде само са једним делом свог пуног капацитета и могу бити неекономичније од мањих машина које је лакше запослити пуним капацитетом. С друге стране превише велики број малих машина захтева веће капацитете смештаја како радника тако и машина, отежано њихово одржавање и може да створи и тешкоће око организације производње услед уског фронта рада на градилишту.
2. По правилу, опремање грађевинском механизацијом треба вршити тако да се она набави за оне послове који се најчешће очекују. При томе, машине треба да поседују способност адаптације (прилагођавања) и у случају да се појаве и други, па и неуобичајени услови и послови.
3. Треба што више користити стандардне машине. Оне су најчешће јефтиније од специјално израђених. Стандардне машине углавном располажу разним прикључним оруђима и за друге сврхе, и заменом прикључних оруђа могу се трошкови опремања механизацијом знатно умањити. Посебан пример код тога је да се за различите машине користи иста врста погонских мотора, чиме се ток резервних делова своди на најмању мјеру.
4. Као прво мерило економичности треба утврдити трошкове по јединици производа, а не почетна улагања или трошкове коштања радног сата основних средстава.
5. При избору машине за специјалне радове може да постоји опасност да набављена машина по довршењу посла за који је набављена остане неупслена. Ако је при томе трајање радова толико да није омогућена пуна депресијација машине, може се догодити да уз привремену корист од набавке, касније појави трајна штета. У таквим случајевима треба добро испитати економску оправданост набавке нове машине и уколико је то могуће и оправдано ићи на изнајмљивање уместо набавке. У крајњој линији те радове поверити специјализованој компанији која за такво нешто има искуство и референцу.



### 3.2 Коментар избора машина на класичан начин

Основни циљ избора машина које ће бити ангажоване на неком технолошком поступку је направити такву групу машина које ће испуњавати два услова:

1. да ће машине бити технички и технолошки у могућности да изведу операције на задатом технолошком процесу
2. да ангажовање тих машина донесе њиховом власнику добит

У процедури ширег избора, формирају се групе машина које могу да изведу постављене операције. При томе се, у пракси, ретко саставља више од три групе машина, а затим се у даљем поступку бира „оптимална“ (мада је, у ствари реч о комбинацији која је најбоља од понуђених, а не заиста оптимална).

Класични приступ избору машина подразумева да онај ко ради избор машина довољно добро познаје технолошке поступке. Такође се подразумева да машине које се бирају постоје на располагању. Применом ове методе исправно се срачунава коштање „обрађеног материјала“ по јединици мере и може се сагледати квалитативни однос између појединих комбинација. О примењивости ове методе сведочи и то да је она актуелна протеклих 30 година и да се она користи и данас у многим фирмама.

Међутим, пракса је показала да ова метода, уколико се примењује без уважавања почетних претпоставки, неће дати одговарајуће решење. У складу захтеваним условима, проблем ће бити исказан у томе што, генерално:

1. изабрана комбинација машина неће бити технолошки у могућности да изведе постављене операције, и/или
2. за изабрану комбинацију неће бити познато са којом добити ради

Грешке које се јављају при прорачуну и недостаци саме методологије ширег и ужег избора машина могу се сврстати у више група:

#### 3.2.1 Непрецизно дефинисани улазни подаци

Један од улазних података при прорачуну ширег и ужег избора је потребни практични учинак  $U_{p,pot}$ . Овај податак показује колико ће свака машина морати да има збирни учинак  $n_i * U_{p,i}$ . Потребни практични учинак одређује се на основу количине радова  $Q$  и планираног трајања радова  $t$  израженог у сатима рада [h] према формули:

$$U_{p,pot} = \frac{Q}{t}$$

На основу потребног практичног учинка, срачунава се број машина  $n_i$  на основу услова:

$$n_i \geq \frac{U_{p,pot}}{U_{p,i}}$$



Количина материјала који се обрађује је одређена предмером радова, док је податак о планираном трајању радова добијен на неки други начин. Он може бити преузет из динамичког плана, добијен на основу искуства, базиран на захтеву Инвеститора, претпостављен или одређен на било који други начин. На овај начин, дефинише се колико радови трају, да би се након тога утврдило колико машина треба да би се радови завршили у задатом року.

Очигледно је да се ради о инверзном поступку. Природније је да се утврди број машина (на основу неких других критеријума) па да се на основу броја машина прорачуна трајање радова према

$$t = Q \cdot \min(n_i \cdot U_{p,i}) \quad [h]$$

Задати практични учинак може бити један од услова при избору машина, али не и једини.

У пракси се често догађа да се учинак претпоставља, без адекватног прорачуна. Овакав случај је мање проблематичан код машина са континуалним радом, док код машина са цикличним радом може имати веома лош утицај на успешност планирања рада машина. Код транспортних средстава се често погрешно процењује стандардна дужина транспорта што има великог утицаја на прецизност срачунавања практичних учинака. Код машина за ископ и утовар, трајање циклуса се усваја без довољно прецизне аргументације. Коефицијент коришћења радног времена се усваја без аргументације и без икакве касније потврде.

Посебан проблем у пракси, при дефинисању улазних података, нарочито код радова у тлу, представља несагледавање међусобних односа учесника у технолошком поступку. Најчешће, учинци и коштање радног сата се усвајају да су исти у свим комбинацијама машина. Практично, ове вредности могу знатно да се разликују у свакој комбинацији, у зависности од међусобних односа појединих учесника у процесу. Phelps [Phelps, 1977], Peurifoy [Peurifoy et al, 2000] Gates и Scarpa [Gates et al, 1980], Gransberg [Gransbert, 1996], као и многи други аутори истраживали су однос транспортних средстава према средствима ископа и утовара и закључили да учинак знатно варира у зависности од броја и капацитета транспортних средстава.

Непрецизност при дефинисању улазних података огледа се и у превеликом поједностављивању прорачуна коштања радног сата. Овај проблем је првенствено ствар праксе, а не саме методологије избора машина. Основа проблема прорачуна коштања радног сата машина лежи у чињеници да се велики део трошкова (посебно трошкова основног средства) акумулира током времена и није препознатљив у кратком временском периоду. Због тога, овај део трошкова се често, погрешно, или занемарује, или се само делимично обрачунава.

Анализа појединих трошкова који имају значајни утицај на укупно коштање радног, као и модел систематичног прорачуна коштања радног сата дата је у Поглављу 2.



### 3.2.2 Мали број комбинација

При ширем избору машина дефинишу се операције и типови машина које могу да их изврше. У ужем избору, за сваку реалну комбинацију машина се срачунава цена по јединици мере обрађеног материјала. При томе се, најчешће, број комбинација креће од 2 до 4. То практично значи да се од великог броја комбинација проверава само веома мали број и из тог малог скупа бира се комбинација са минималном ценом по јединици мере материјала.

Укупни број комбинација које могу да се формирају износи:

$$N = T^n$$

Где је  $N$  – укупни број могућих комбинација,  $T$  представља број типова машина које могу да изврше неке операције, а  $n$  представља број операција. Значи, уколико у технолошком процесу постоје дефинисане 3 операције, а за сваку операцију постоји по 3 типа машина које могу да их обаве, укупни број операција је

$$N = 3^3 = 27$$

Од укупно 27 комбинација, практично би се провериле 3 што представља 11% свих могућих комбинација. Проблем се усложњава уколико од сваког типа машина постоји више модела, веће или мање носивости, на пример, са различитим учинцима и коштањем радног сата. Ово је реална ситуација, с обзиром да скоро свака (иоле) већа фирма има више различитих кипера за транспорт, више различитих багера за ископ и сл.

Избор комбинација које би се прорачунавале најчешће је интуитиван. Овакав приступ може понекад имати резултата, али најчешће оптимална комбинација није међу онима које се прорачунавају, тако да неће бити ни изабрана.

Приступ са прорачуном малог броја комбинација може имати смисла када се ради о позицијама радова са малом количином посла, или када већ на градилишту постоје машине које ће извршити радове (малог обима). Код великих позиција радова (рецимо, изградња насипа при изради ауто пута, бетонирање велике темељне плоче и сл.) и мала уштеда у цени по јединице мере механизованог рада доноси огромне добити (може износити и више од месечног платног фонда фирме). Решење овог проблема је у сагледавању и прорачунавању свих могућих комбинација и тражењу оптималног решења поготово код позиција са великом количином радова.



### 3.3.3 Усвајање машина истог модела за једну операцију

При одређивању која машина ће обављати поједину операцију, за машину се усваја модел и тип машине. За ту машину се утврђује коштање радног сата и са наведеним подацима се врши избор машина.

Код операција где је потребно ангажовати више машина (за ово је карактеристична операција транспорта материјала), уобичајена је пракса да се усвоји један модел и тип машине у великом броју машина које треба ангажовати. При томе, може се десити да фирма нема довољно машина истог модела и типа. У ширем и ужем избору, не практикује се да се једној операцији додељује више машина различитих модела и типова, са различитим учинцима и типовима<sup>2</sup>. Применом методе ужег избора може се ангажовати више различитих типова и модела машина на једној операцији, с тим да то није пракса при планирању ангажовања грађевинске механизације, упркос чињеници да је то свакодневна појава на градилиштима.

Примена више различитих типова и модела исте врсте машине на једној операцији може бити ефикасна при одређивању минималне цене коштања рада механизације по једници мере. Проблем у прорачуну је у великом броју комбинација чије коштање треба проверити. Оваква ситуација је честа када фирма има више различитих кипера за превоз, с тим да поседује и мање и средње и велике кипере, а ангажована је на послу када треба већину кипера да ангажује на једној операцији. Тада оптимизацијом транспортних средстава треба доћи до оптималне комбинације кипера.

### 3.3.4 Недостатак података о $K_h$ на чекању (*Standby Rate*)

При прорачунку карактеристика рада машина у ужем избору, за сваку машину се прорачунава коштање радног сата. При томе, ефективно радно време се претпоставља на основу услова окружења, степена организованости, климе, стања транспортних путева и сл.

Однос ефективног и укупног радног времена претпоставља се кроз коефицијент радног времена  $K_v$  који означава однос ефективног и укупног радног времена. Ово је још једна од вредности која се претпоставља, најчешће без повратне информације о томе да ли је претпоставка била добра или не. У свом раду [Стефановић, 1984] др. Александар Стефановић је извршио идентификацију губитака радног времена са преко 40 ставки. На основу снимања радног процеса на више градилишта, утврђено је да коефицијент радног времена не прелази 0,8. Било је случајева када је вредност овог коефицијента смањивања и до 0,3. При томе, треба истаћи да коефицијент није исти за све врсте радова. Могуће је да се једна машина ангажује са великим коефицијентом радног времена док друга има веома мали коефицијент (нпр. када је неусклађен број транспортних средстава са бројем машина које раде ископ).

---

<sup>2</sup> Иако ово није пракса у грађевинским фирмама, у оквиру курса „Механизација и аутоматизација“ на Грађевинском факултету у Београду овакве и сличне варијанте се разрађују.



Коефицијент радног времена је, фактички, различит за сваку ангажовану машину, како у једној комбинацији, тако и за исту машину. Ипак, тачно срачунавање коефицијента радног времена, за сада, није оствариво у пракси. За прецизније ефективног радног времена потребно је формирати прецизнију евиденцију радног времена, формирање и допуњавање базе историјских података. За смањење непотребних губитака у раду, најбоље решење је побољшање организованости производње и квалитетније планирање производних процеса.

При прорачуну коштања радног сата, добијена вредност односи на ефективни радни сат. У ужем избору, подразумева се да ће машина бити плаћена по тој цени, било какав да је њен учинак у односу на кључну машину. Једине редукције које се практикују су код прорачуна коштања радног сата у погонима производње грађевинског материјала који снабдевају више градилишта и код којих се узима пропорционални однос коштања радног сата у складу са односом преузете количине материјала у односу на укупно произведену количину. Код велике разлике практичног учинка једне групе машина у односу на кључну машину, ефективни рад машине ће бити далеко мањи од укупног радног времена. Међутим, у ужем избору се њен радни сат обрачунава по истој цени као и ефективни радни сат, што не одговара ситуацији на градилишту.

Све признате и коришћене методологије прорачуна коштања радног сата грађевинских машина у свету разликују две цене коштања радног сата – коштање радног сата машине у раду (*Standard Rate*) и коштање радног сата машине на чекању (*Standby Rate*). Домаће фирме (Gemax, Путеви Србије...) такође у својим ценовницима разликују ове две цене. Разлика између ове две вредности је што коштање радног сата машине на чекању обухвата само трошкове основног средства и трошкове радне снаге.

Прорачун трошкова по једници мере обрађеног материјала приказује веће вредности од реалних уколико је велика разлика између вредности учинка кључне машине и вредности  $n \cdot U_p$  осталих машина. Овакав приступ искључиће комбинације код којих је ангажована машина великог учинка (рецимо, велики багер, једини којим фирма располаже) у односу на учинке других машина, иако њено коштање радног сата неће бити обрачунато на начин какав је прорачунат у ужем избору. На неки начин, овакав начин обрачуна фаворизује комбинације код којих је усклађен учинак свих машина са кључном машином. Ипак, усклађеност машина не мора да буде грешка планирања њиховог рада већ може имати и друге узроке, тако да је ипак боље реално сагледавати стварне трошкове рада машина.

### 3.3.5 Неусклађеност учинака машина у истој комбинацији

Учинак појединих машина у једној комбинацији резултат је прорачуна на основу карактеристика саме машине и услова окружења у којима ће машина радити. На основу потребног практичног учинка, усваја се број машина под условом да  $n_i \cdot U_{p,i}$  за сваку машину буде мањи или једнак од потребног учинка.



Учинак појединих машина  $n_i \cdot U_{p,i}$  може знатно да се разликује од потребног практичног учинка. У условима стварања комплексне механизације неопходно је спровести анализу која би показала у ком степену је пројектованим саставом групе машина организацијски решена усклађеност рада појединих машина. Усклађеност учинака машина, према класичном приступу прорачуна ширег и ужег избора, своди се на индивидуалну процену усклађености.

За формирану комбинацију машина не постоје дефинисани нумерички параметри који би описивали усклађеност рада појединих машина. Када би ови показатељи постојали, могла би, премину њему, да се пореди усклађеност између комбинација и да се бира комбинација која би, у одређеним случајевима, имала минимална одступања. Овакав случај био би, пре свега, у дуготрајним технолошким процесима, и у процесима где је потребно формирати довољну резерву машина у циљу повећања поузданости производног система.

### 3.3.6 Примена истог фактора режијских трошкова на свим машинама

При прорачуну коштања радног сата, торшкови експлоатације и трошкови основног средства множе се фактором режије и добити  $\phi$ . Овај фактор представља проценат повећања трошкова машинског рада којим се компензирају трошкови припремних радова градилишта, ризик, режијски трошкови предузећа и захтевана добит на конкретном послу. При томе, фактор режије и добити  $\phi$  примењује се само на трошкове експлоатације и трошкове основног средства, док се на једнократне тршкове не примењује.

Према неким методологијама прорачуна коштања радног сата, рецимо према USACE, Construction Equipment Ownership and Operating Expense Schedule, jul 2007. обрачунавају се само трошкови радног сата (трошкови експлоатације и трошкови основног средства) и на укупне тршкове се примењује фактор  $(1+\phi)$  да би се добила продајна цена. На овај начин, једнократни трошкови се не обрачунавају директно у трошкове, већ се они покривају кроз фактор режије и добити.

При прорачуну коштања радног сата, фактор  $\phi$  се усваја у границама од 0,3 до 0,5 и као такав примењује се при прорачуну коштања свих машина. У ужем избору, користе се исти подаци, тако да фактор  $\phi$  остаје исти за све машине.

У случају да се у једној комбинацији машина налазе машине са великом разликом у коштању радног сата, има економског оправдања варирати и фактор режије, при чему би се код машина са мањим коштањем радног сата рачунало са већим фактором  $\phi$  и обрнуто. Тиме би се дозволила могућност да се и на једнократне трошкове примени фактор режије и добити,

Примена различитих фактора режије и добити има оправдање и у случају када нису све машине у власништу извођача радова (оног ко врши избор машина) већ је део њих рентирани. Уколико је машина изнајмљена, у коштање њеног радног сата већ је обрачунат део режије и добити. Трошак основног средства обухваћен је кроз цену изнајмљивања, док трошак експлоатације може да припадне власнику машине или кориснику (ономе ко је изнајмљује), зависно од договора две стране.



У случају да је део машина у власништву извођача радова, а део се изнајмљује, није реално да се трошкови машинског рада обрачунавају на исти начин.

### 3.3.7 Недефинисан критеријум оптималности машина на нивоу пројекта

Избор комбинације машина базиран је на једном технолошком процесу. Обзиром да пројекат чини више зависних технолошких процеса, процедура избора машина за ниво пројекта своди се на више, узастопних, избора машина за појединачне технолошке процесе.

Не постоји дефинисана јединствена стратегија избора оптималних машина за ниво пројекта. При избору машина, полази се од расположивог машинског парка фирме која изводи радове, или од машина које је могуће изнајмити. Када се планира ангажовање групе машина на једној позицији, машински парк се смањује за ту групу машина, док трају радови на којима су посматране машине ангажоване. Значи, за преостале технолошке процесе потребно је бирати машине из „редукованог“ машинског парка, итд. Ангажовање машина на једном пројекту зависи и од саме динамике планираних радова и њене повезаности са машинским парком, односно ResourcePool-ом. Поступак када се формирају комбинације машина разликује се у случајевима када је приоритетан рок завршетка радова у односу на случај када се планирају радови са ограниченим фондом ресурса. У оба случаја, планирање динамике извођења радова и усвојена технологија радова има одлучујући утицај на избор машина које ће се ангажовати на неком пројекту.

Чест је случај да је једна група радова на грађевинском пројекту доминантна по обиму, у односу на друге радове. У високоградњи, то може бити израда армирано бетонске конструкције, у нискоградњи (при изградњи путева) то је израда насипа и сл. Идентификацијом ових, кључних, радова на пројекту, и оптималним избором машина за њих, оствариће се максимална уштеда. За ангажовање на осталим радовима, машине ангажоване на тим „кључним“ радовима имаће предност обзиром да су већ на градилишту и да су им мањи једнократни трошкови.

### 3.3.8 Недостатак података о оствареном профиту

При прорачуну у ужем избору машина, посматра се коштање радног сата сваке од машина, као и укупно коштање радног сата групе машина. На основу укупног коштања радног сата машина и минималног практичног учинка, срачунава се цена по јединици мере „обрађеног“ материјала, што, према методологији ширег и ужег избора, представља критеријум оптималности комбинације.

Податак о оствареном профиту при ангажовању групе машина скривен је у податку о коштању радног сата машина. С обзиром да је коштање радног сата машина срачунато на основу једнократних трошкова и збира трошкова експлоатације и трошкова основног средства увећаним фактором  $(1+\phi)$ , не може се из табеле ужег избора срачунати колики је профит при раду машина, како укупни, тако и по јединици мере „обрађеног“ материјала.



Ово представља веома битну чињеницу, обзиром да остварени профит, а не најнижа цена може да буде критеријум оптималности за избор комбинције машина. Код радова са великим учешћем једнократних трошкова, профит ће бити мали у односу на укупне радове. Када се прорачун ради само на бази трошкова основног средства и трошкова експлоатације, профитна слика је нешто јаснија, с тим да се из профита финансирају једнократни трошкови, те их треба одузети од укупно оствареног профита.

### 3.3.9 Мањак критеријума оптималности избора

При ужем избору, дефинисан је један услов ограничења

$$n_i \cdot U_{p,i} \geq U_{p,pot}$$

и један критеријум оптималности – цена по јединици мере:

$$\min C_j = \frac{\sum_i n_{i,j} \cdot K_{h,i,j}}{\min(n_{i,j} \cdot U_{p,i,j})}$$

Ово јесу битни критеријуми, али не морају бити и једини. Критеријум може бити и брзина извођења радова, остварени профит, оптимална усклађеност учинака машина у комбинацији, максимална поузданост система или било који други критеријум (или њихова комбинација) који може бити од интереса извођача радова, односно власника грађевинских машина.

Оптимизација ових критеријумских функција може се остварити на много других начина, али је ужи избор машина природни начин да се избор оптимизује уз сагледавање што више параметара рада система. Циљ је оптимални избор машина, али уз транспаренту контролу свих компоненти система.



---

## **4 Предлог новог модела избора грађевинских машина**

---

*Нови приступ избору машина предложен у овој дисертацији базиран је на анализи технолошких ограничења и детаљној анализи позиције рада за коју се врши избор машина. У избору машина полазна тачка је расположиви машински парк и технолошки услови извођења позиције рада. За машине које испуњавају технолошке услове срачунавају се техно економски параметри. Оптимизација избора врши се између технолошки оправданих комбинација.*

*У овом поглављу дат је алгоритам новог приступа избору грађевинских машина са детаљним описом саме процедуре избора. Дефинасано је 10 општих технолошких ограничења која филтрирају расположиви скуп машина у групу машина које технолошки могу да изведу посматране позиције рада.*

*С обзиром да постоји више начина финасирања набавке грађевинских машина, у овом делу су дати описи неких од модела финансирања, са приказом њиховог утицаја на прорачун коштање радног сата, и препорукама за избор између различитих модела финансирања.*



## **4.1 Нови модел избора грађевинских машина на једној позицији рада**

### **4.1.1 Процедура избора машина**

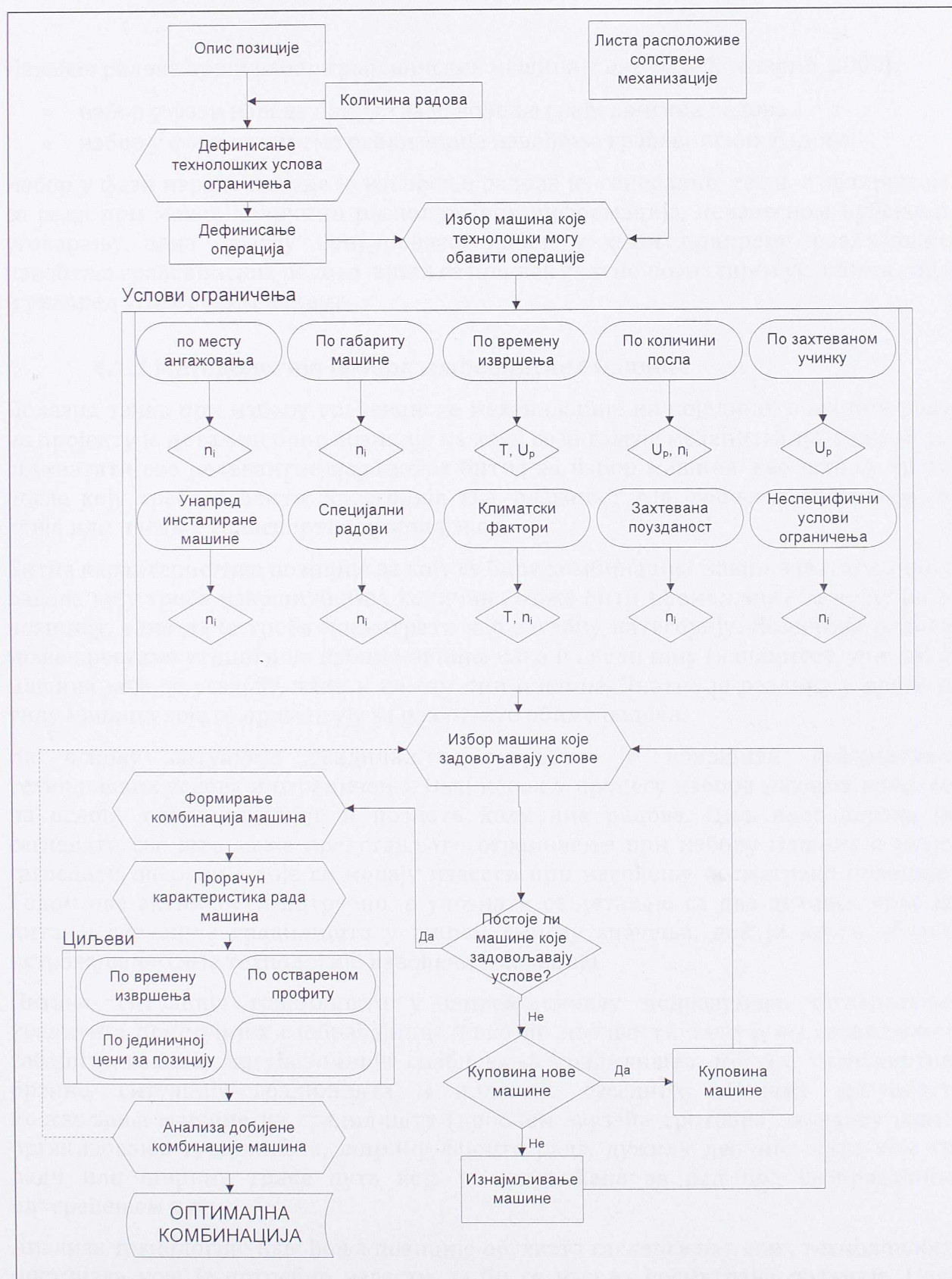
Избор грађевинских машина за реализацију поједине позиције радова на пројекту је низ техничко-технолошких, често итеративних, поступака чији је циљ добијање оптималне комбинације машина која ће, у задатим ограничењима, извести радове са минималном потрошњом ресурса. У општем случају, избор машина и планирање рада машина врши извођач радова [Линарић, 2000.]. Такође, извођач спроводи и набавку потребне механизације на неки од могућих начина (куповина, рентирање, лизинг...).

Избор и набавку грађевинских машина, ако и већих машинских посторојења, може вршити и инвеститор уколико се ради о извођењу посебних грађевинских радова који захтевају увођење и примену посебне (изван стандардне механизације). У том случају, учесник у набавци овако сложене опреме најчешће је пројектант као консултант инвеститора или будући извођач као корисник набављене механизације. Инвеститор може вршити избор и набавку стандардне грађевинске механизације уколико жели као њен власник исту даље да примењује на неком следећем сличном пројекту. Овакав приступ је чест када је инвеститор држава или када су инвестиције, које следе једна за другом, значајни, истоврсни, инфраструктурни пројекти, међусобно повезани и условљени. Инвеститор може спровести избор и набавку грађевинске механизације и из разлога постизања било ког облика, по њему захтеване или утврђене економичности реализације грађења.

Оквирни (начелни) избор, односно одређивање врсте, механизације или друге машинско технолошке опреме неопходне за изградњу објекта, у погледу њене примењивости, у смислу начина реализације конструкције, може непосредно или посредно спроводити и пројектант конструкције. Врста конструкције и начин њеног извођења, нарочито ако се ради о нестандартним грађевинским захватима, захтева разраду од стране пројектанта могућих техничко технолошких и организационих метода грађења. При томе, пројектант не врши набавку механизације нити је њен власник, нити корисник.

Коначно планирање примене и начина ангажовања на било који начин изабране грађевинске механизације, најчешће врши извођач радова. Такође, извођач радова врши и избор и планирање ангажовања посебне грађевинске механизације, без обзира на то ко је њен власник и на који начин је она обезбеђена. Стручан и одговоран приступ реализацији примене такве механизације од стране извођача кроз његову мотивацију било које врсте (поготово финансијску) једино могу потврдити оправданост избора и практичне примене одабране механизације, односно технолошке опреме.





Слика 4.1 – шема процедуре избора грађевинских машина



Извођач радова врши избор грађевинских машина у две фазе [Линарић, 2000]:

- избор у фази израде понуде за извођење грађевинских радова
- избор у фази припреме реализације извођења грађевинских радова

Избор у фази израде понуде је извођење радова је, генерално, тежи, с обзиром да се ради при мањој количини расположивих информација, неизвесном нуђењу и уговарању цена између конкурената. Избор у фази припреме реализације извођења грађевинских радова врши се при већ знатно познатијим условима рада и унапред уговореним ценама.

#### 4.1.2 Методологија избора грађевинских машина

Полазна тачка при избору грађевинске механизације на појединој позицији рада на пројекту је детаљни опис позиције на којој се ангажује механизација. Опис мора обухватати све релевантне параметре битне за избор машина, као што су врста посла коју треба обавити, категорија тла, влажност тла, дебљина слоја који се збија или насипа, транспортна дужина, и сл.

Битна карактеристика позиције за коју се бира комбинација машина је и количина радова коју треба извршити. Ова количина може бити променљива за једну исту позицију, тако да је треба посматрати као засебну категорију. Количина радова може пресудно утицати на избор машина, како на величину (капацитет, учинак...) машина које се усвајају, тако и на сам тип машина. Знатна је разлика у врсти и типу машина које се примењују за различите обиме радова.

На основу ситуације градилишта, потребно је извршити дефинисање технолошких услова и ограничења. Овај корак у процесу избора машина врши се на основу описа позиције и познате количине радова. Циљ овог корака је сагледати све што може представљати ограничење при избору машина и јасно сагледати операције које се морају извести при извођењу посматране позиције. Током ове активности потребно је упознати се детаљно са два питања: прво је питање ситуације градилишта у ширем смислу значења, док је друга област истраживање саме технологије извођења операција.

Питање ситуације градилишта у ширем смислу подразумева сагледавање квалитета приступних саобраћајница, како по носивости тако и по дозвољеном габариту возила, могуће линије снабдевања градилишта, могуће транспортне брзине, ситуацију градилишта и положаје суседних објеката, могућност постављања машине на градилишту (проблем заузећа тротоара), анализу шеме организовања градилишта, ширину фронта рада, дужину деонице пута која се ради или ширину траке пута која је предвиђена за рад под саобраћајним оптерећењем и сл.

Анализа технологије извођења позиције обухвата сагледавање свих технолошких поступака које је потребно извести да би се извела посматрана позиција. Овај корак представља детаљнију анализу описа позиције који је био полазна тачка избора машина. Резултат ове фазе је дефинисање операција које изабране машине



треба да изведу. Све изабране операције имају заједничку карактеристику – материјал који „обрађују“ је исти у свим операцијама. При томе, количина материјала који се креће из операције у операцију најчешће је иста у свим операцијама (нпр, иста је количина бетона који се производе, транспортује и угради), мада се може и разликовати (нпр. један део материјала из ископа се одвози на депонију, а преостали део се одлаже поред места ископа).

На основу дефинисане технологије извршења радова врши се идентификација операција којима у даљем поступку треба доделити одговарајуће машине. Полазна група машина из које се бирају машине за поједине операције базирана је на машинском парку извођача радова, односно фирме за чије се потребе ради избор машина. Најчешћи случај (мада не и једини) је да се избор машина врши из листе расположиве сопствене механизације. На овај начин се остварује максимални профит из ангажовања машина, наравно, у случају да фирма уопште располаже машинама које могу да изведу захтеване операције. Листа расположиве сопствене механизације подразумева прецизне спецификације техничких карактеристика машина при чему сваку машину треба посматрати као одвојену јединицу са сопственим карактеристикама (радни век, капацитет, могуће прикључне уређаје, потрошњу горива и мазива, све врсте трошкова...). Ово је неопходно како би се прецизно одредило коштање радног сата сваке појединачне машине, као и њен утицај у конкретним условима, операцијама и окружењу. Ради прецизне идентификације расположиве механизације, потребно је да свака машина буде означена сопственом ознаком ( $n_i$ ) по некој утврђеној методи шифрирања.

На основу дефинисаних операција и листе расположиве сопствене механизације врши се први избор машина које технолошки могу обавити посматране операције. До овог корака није било никаквих ограничења осим оних одређених технолошким поступцима на основу којих су и изабране машине.

Број овако изабраних машина и комбинација машина може бити веома велики. Да би се изабрала оптимална комбинација, неопходно је сагледати сва ограничења која се могу појавити при примени појединих машина и дефинисати критеријуме за избор оптималне комбинације. Одређивања услова окружења је кључни тренутак избора машина. У доста случајева, након одређивања услова ограничења, листа преостале механизације је толико сужена да је даљи поступак знатно олакшан. У општем случају, услови ограничења одређују границе примењивости појединих машина и њихов оптимални избор веома зависи од прецизно сагледаних ограничења. При томе, на једној позицији рада може бити уочено једно или више ограничења. Могућ је и случај да ограничења нема, али такав случај је веома редак у пракси и није интересантан са становишта оптимизације избора машина. Фактички, процес утврђивања ограничења има за циљ филтрирање листе расположиве механизације или утврђивање других параметара на основу којих се бира број и врста машина. У овом раду је идентификовано 10 типова ограничења:

- *По месту ангажовања* – ограничење које је базирано на условима градилишта. Уколико је на градилишту место рада такво да је могуће применити само одређену врсту машина, или одређени број машина једне



врсте, листа расположиве механизације биће уже одређена. Рецимо, ископ темељне јаме при постојању суседних објеката у урбаним, скученим условима дозвољава ископ само багерима, док остале машине за ископ не могу да функционишу. Такође, може се догодити да је ситуација градилишта таква да је могуће ангажовати само један багер, или један дозер. Ово ограничење обухватаће и селекцију машина на основу носивости тла (евентуално фаворизовање гусеничара на рачун точкаша), проходности транспортних путева и сличних ограничења везаних за услове градилишта. Резултат примене оваквог ограничења био би да се из листе расположиве механизације бирају одређене машине ( $n_i$ ) најчешће по типу или по броју машина које је могуће поставити на градилишту, и у даљој процедури се анализирају само оне.

- *По габариту машине* – ограничење такође базирано најчешће на условима градилишта. Веома често, нарочито у урбаним условима, услови градилишта одређују габарите машине која се може применити. На пример, уколико се изводе радови на једној саобраћајној траци, док је друга под саобраћајним оптерећењем, неопходно је ангажовати машине што мањих габарита (које су прославиле компанију Bobcat пре 40 година да би данас сви већи произвођачи имали у својим производним програмима машине малих габарита). Са друге стране, ако постоји скучена темељна јама, није могуће на ископу ангажовати мањи багер, већ неки са одговарајућом дубином копања и сл. Габарит транспортних возила може бити одређен и стањем, носивошћу и ширином саобраћајница, носивошћу надвожњака преко којих треба прећи или висином подвожњака испод којих треба прећи. Резултат примене оваквог ограничења био би да се из листе расположиве механизације бирају машине које задовољавају услове по габаритима ( $n_i$ ).
- *По времену извршења* – услов ограничења везан за рок завршетка радова на предметној позицији. Трајање радова на посматраној позицији може бити ограничено уговором или динамичким планом одвијања радова. Супротан случај је да се трајање радова срачуна као количник укупне количине радова и практичног учинка групе машина. Ограничено трајање одређује захтевани практични учинак машина комбинације према формули:

$$U_p = \frac{Q}{t}$$

где је  $U_p$  потребни практични учинак,  $Q$  је количина радова а  $t$  је захтевано трајање радова у сатима. Резултат овог ограничења је дефинисани потребни практични учинак  $U_{p,pot}$  на основу кога ће се одређивати број потребних машина.

- *По количини посла* – услов везан за обим посла на позицији. Количина радова на позицији може пресудно да утиче како на избор типа, тако и на капацитете машине. Правило је да се за мање обиме посла бирају мање машине и обрнуто. На пример, за збијање  $10m^2$  тампон слоја на пешачкој



стази није потребно ангажовати велики глатки ваљак већ је могуће извршити збијање и вибро плочом; за бетонирање једног степенишног крака на стамбеној згради није потребно ангажовати ауто пумпу за бетон и слично. Резултат примене оваквог ограничења био би да се из листе расположиве механизације бирају машине чији учинци одговарају количини посла коју треба обавити ( $n_i$ ).

- *По захтеваном учинку* – ограничење везано за тражени обим производње. Ово ограничење је слично ограничењу по трајању, с тим да се примењује у случајевима када је посматрана позиција део ширег технолошког процеса. При томе, група машина на посматраној позицији мора остварити учинак који је одређен од стране других учесника у технолошком процесу. На пример, производња агрегата, производња и транспорт асфалта и сл. Резултат овог ограничења је дефинисани потребни практични учинак  $U_{p,pot}$  на основу кога ће се одређивати број потребних машина.
- *Унапред инсталиране машине* – ограничење које фаворизује машине које већ раде на градилишту. Рецимо, у случају да на градилишту већ постоји кран, у листу расположивих машина ући ће и он. Са друге стране, уколико се радови на градилишту изводе у тренутку док кран још није монтиран, нема логике у избору машина третирати и кран као варијанту, мада постоји у листи расположиве механизације. Ова група ограничења обухватиће и погоне за производњу грађевинских материјала (фабрике бетона, асфалтне базе, сепарације...) који већ постоје инсталиране у близини градилишта.
- *Специјални радови* – ограничење код кога изабрана технологија унапред дефинише тип машине. Уколико је технологија изградње таква да је унапред изабран тип машине, избор машине се своди, евентуално, само на модел конкретног типа. У овом случају, листа расположиве механизације је крајње сужена. Пример за овакав случај може да буде ископ тунела применом ТБМ машине. Избором овакве технологије, пројектант је, дефакто, изабрао и машину која ће бити ангажована, било да је она у поседу инвеститора или извођача или је тек треба набавити.
- *Климатски фактори* – ограничење код кога клима диктира тип машина које ће бити примењене. Уколико се објекат изводи у екстремним временским условима, избор машина у многоструком зависи од тога да ли се машине могу прилагодити окружењу. Рад у екстремно хладним или топлим условима, или рад на великој надморској висини, може изискивати појачано напрезање машина и њихово прилагођавање условима средине у којој се радови одвијају. Климатизација кабина машина најчешће је намењена само руковаоцима, уз задржавање општих карактеристика рада мотора. За рад у екстремним климатским условима, прилагођавање грађевинске машине мора бити на системском нивоу. У складу са тиме, такве ће машине имати предност и при избору машина за рад у екстремним климатским условима. У ову групу ограничења спада и примена машина које се користе у границама стандардних климатских услова, али када је потребно у некој фази (најчешће транспорту) заштити



- грађевински материјал од хлађења или исушивања (као што је примена Asphaltterm комора за транспорт асфалтне мешавине).
- *Захтевана поузданост* – ограничење при неопходној високој расположивости система. У случајевима када је потребно формирати систем грађевинских машина са високом вероватноћом извршења, неопходно је анализирати расположивост компоненти као и целог система, уочити слабе тачке и могућа побољшања и одредити број машина такав да поузданост целог система буде задовољавајућа. У грађевинарству, решење проблема расположивости најчешће се решава увођењем „хладних“ резерви, осим у специфичним случајевима, када је потребна изузетно велика расположивост система (нпр. лифтовање конструкције...). Резултат примене оваквог ограничења био би да се из листе расположиве механизације бирају машине које дају, појединачно и у систему, одговарајућу расположивост ( $n_i$ ).
  - *Неспецифични услови ограничења* – сва ненабројана ограничења која могу да утичу на избор грађевинских машина. Напред набројана ограничења су најчешћа, али не и једина могућа. Машине чијим радом је могуће остварити већи профит него што је уобичајено, већ изнајмљене (рентиране) машине чија неактивност доста кошта, машине којима задата операција није основна али могу да је изведу са неком од прикључних машина (подизање терета багером...), само су неки од примера који се могу јавити у пракси. За свако неспецифично ангажовање машине треба да постоји одговарајући разлог, економски или технолошки. Резултат примене оваквог ограничења био би да се из листе расположиве механизације бирају машине које задовољавају, на неки од начина, постављене неспецифичне услове ограничења ( $n_i$ ).

Услови који су поменути могу да из скупа расположиве механизације издвоје неке машине, услове захтевани учинак који група машина мора да има или да одреди време за које поједине операције морају да се изведу. При томе, једна иста позиција радова може имати једно или више ограничења (рецимо, захтевани учинак и ангажовање неке машине која је на градилишту). Ограничења могу бити улимативна (рецимо, захтевани практични учинак) док друга могу бити само у форми препоруке која мора проћи економску проверу исплативости (рецимо, ангажовање машине која је на градилишту). Што се ограничења прецизније дефинишу, већа је вероватноћа добијања оптималне комбинације машина. Ограничења фактички дефинишу простор дозвољених решења у процесу избора грађевинских машина.

Процес примене ограничења на листу расположиве механизације представља избор машина које могу да задовоље услове ограничења. На основу ограничења која се примењују на листу расположиве механизације, број машина које су на располагању обично се знатно смањи. Овако добијена група машина представља скуп машина које задовољавају услове ограничења и даљи избор и оптимизација избора ради се са њима. У овом кораку се поставља питање да ли уопште постоје такве машине које задовољавају све услове ограничења које смо поставили?



Уколико не постоје такве машине, доноси се одлука да се ангажује машина која није у листи расположиве механизације на један од могућих начина (куповина, изнајмљивање, лизинг...). Могућа је и измена услова ограничења, али је претпоставка да су сва задата ограничења неопходна.

Уколико постоје машине које задовољавају услове ограничења, неопходно је од њих изабрати оптималну комбинацију. Први следећи корак је од таквих машина формирати комбинације машине које могу да изведу захтеване операције (познати као „шири избор машина“). У овом кораку, свакој операцији се додељују одређене машине, при чему, једна машина може бити ангажована на више операција. При томе, понекада је потребно у комбинацију машина укључити и оне машине које не врше директни рад већ помажу осталим машинама на неки начин или смањују цену по јединици мере за комбинацију машина (рецимо, претоварни силос за бетон који скраћује трајање циклуса скупљег аутомиксера).

За изабране комбинације машина неопходно је извршити прорачун карактеристика рада машина, поготово коштање радног часа -  $K_h$  и очекивани практични учинак -  $U_p$ . При томе је битно што реалније срачунати очекивани практични учинак машине. Учинак поједине машине треба рачунати за сваку комбинацију машина одвојено, јер учинак машине у многоме може да зависи од рада других машина у комбинацији.

На основу срачунатих карактеристика рада појединих машина, потребно је срачунати карактеристике формираних комбинација. Свака комбинација, у општем случају, имаће своје карактеристике. Основне карактеристике  $i$ -те комбинације, приликом обраде заједничке, исте, количине материјала  $Q$ , су :

$U_{p,i}$  – практични учинак комбинације машина  $i$

$C_i$  – цена комбинације  $i$  по јединици мере обрађеног материјала  $Q$

$T_i$  – трајање радова за комбинацију  $i$

$P_i$  – остварени профит комбинације  $i$  по јединици мере материјала  $Q$

Од формираних комбинација потребно је изабрати одговарајућу. Оптимална комбинација бира се у складу са циљевима рада који могу бити:

- изабрати комбинацију која ће извести радове за **најкраће време**  $T_i$ ,
- изабрати комбинацију која ће извести радове са **најмањом ценом по јединици производа**  $C_i$ ,
- изабрати комбинацију која ће извести радове са **највећим оствареним профитом** по јединици производа  $P_i$ ,
- изабрати комбинацију која ће извести радове са **минималним трошковима по јединици производа**  $T_i$
- или било којим другим циљем.

Резултат оптимизације формираних комбинација машина као резултат даје (оптималну) комбинацију машина која испуњава технолошке услове постављене описом позиције радова за коју је бирања, базирана је на сопственој или изнајмљеној механизацији, задовољава сва технолошка и економска ограничења и испуњава бар један од циљева рада.



Уколико се догоди да при оптимизацији од изабраних комбинација машина не може да се добије очекивана вредност неког од критеријума (цена, време, профит или учинак), могуће је да се цео поступак врати на процес дефинисања ограничења. Са новим ограничењима се цео поступак понавља до тренутка када се добије оптимална комбинација.

## 4.2 Избор машина при набавци нове машине

### 4.2.1 Критеријум при избору машина

У процесу куповине грађевинске машине, инвеститор се сусреће са збуњујућом палетом модела и типова које се нуде на тржишту. На пример, на тржишту Европе, постоји од више 40 фирми које их производе мини багере. Уз то, свака фирма има велику палету разних модела, што потеницијалном купцу само отежава избор. Када се одлучи за произвођача и модел, следећи проблем при набавци је избор типа инвестиције.

На основу истраживања часописа *Construction Equipment* које је спроведено међу водећим регионалним произвођачима грађевинских машина, најважнији фактори при избору машине су трајност и поузданост (Слика 4.2). Ови фактори чак превазилазе по значају и цену машине. Уколико дође до квара машине на градилишту, она не само што не доноси профит, већ, практично, прави трошкове. Руковалац машине је за то време плаћен у пуном износу, трошкови депресијације, ангажованог капитала и осигурања такође постоје, појављују се трошкови поправке машине, а радови се не изводе тако да пројекат може да касни што доводи до плаћања пенала. Уз то, може се догодити да се мора ангажовати нова машина, или подизвођач што може додатно повећати трошкове.

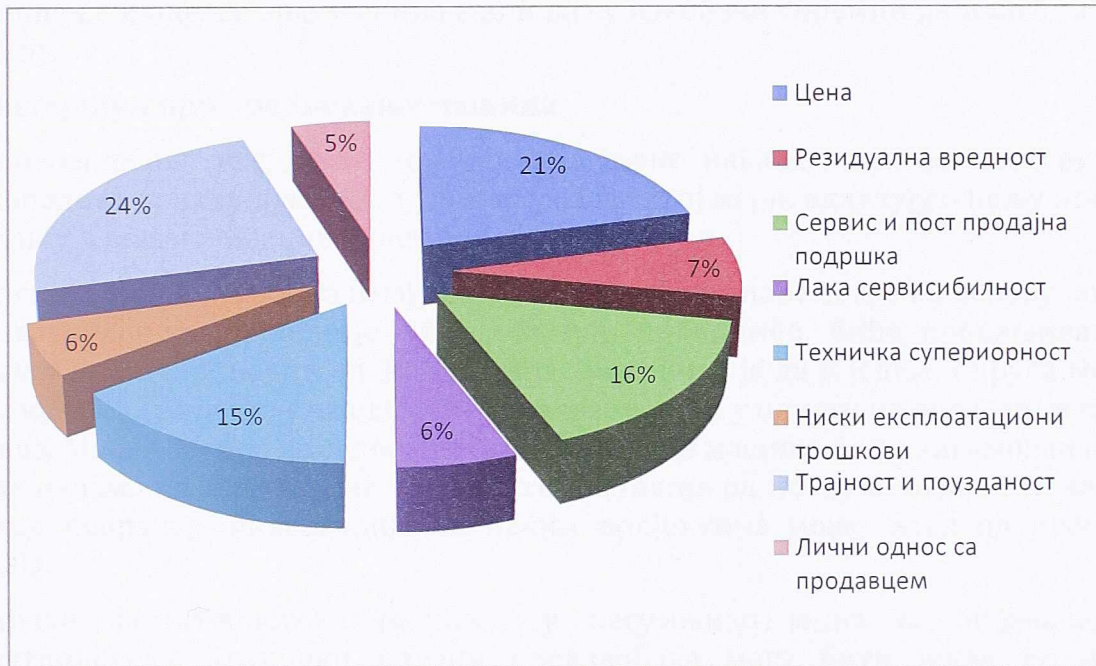
Следеће по важности је питање сервисирања и пост продајне подршке произвођача, што је поново везано за питање поузданости машине. Правилно одржавање и сервисирање има кључани значај за ефикасно функционисање машине и спречавање кварова што је увек боље од поправљања покварене машине. Неки произвођачи, као што су Atlas Copco или Putzmeister, имају развијен метод „телесервиса“ који користи интернет да посматра параметре рада машине да би се помогло у антиципирању момента када је сервис потребан.

Многи произвођачи се слажу да ће поузданост расти у следећим годинама тако да ће поправка машина бити бржа. Следећи задатак је скраћивање трајања и учесталости редовног одржавања. Овоме ће првенствено допринети развој уља и филтера са много дужим радним веком.

Према анкети међу произвођачима, техничка супериорност је четврта карактеристика по значају при одабиру машине при куповини. Она подразумева већи број техничких параметара који у збиру дају боље перформансе, мању потрошњу горива, већи учинак, бољу мобилност и сл. Мада се не рангирају као најважније карактеристике, оне могу превагнути одлуку о избору између сличних типова и модела. У складу са оваквим ставом је и чињеница да се, од стране извођача, највише цене побољшања по питању продужетка радног века



компоненти, док су незнатно мање значајна питања побољшања комфора руковаоца.



Слика 4.2 – најважнији фактори при избору машине при набавци

Повећање аутоматизације и лакоћа сервиса су такође високо котиране карактеристике машине при одлуци о куповини, чак више од укупне цене инвестиције у машину (*whole life cost*) или набавне цене машине.



Слика 4.3 – Главне области развоја произвођача грађевинских машина



Наведени рангирани критеријуми показују да базна стратегија произвођача машина у Европи треба да се заснива на производњу поузданих, лаких за коришћење и одржавање машина као и да су извођачи спремни да плате за такву машину.

### Критеријум при вредновању машина

При одређивању вредности машине код њене набавке, такође постоји више разнородних критеријума, који у веома различитој мери, одлучују о пољу примене или типу и врсти поједине машине.

Различити типови машина имају потпуно различите параметре на основу којих се њихова вредност процењује. Мали багери, на пример, биће процењивани на потпуно другачији начин од 400т багера. Чињеница је да и једни и други могу да врше ископ, једина им је заједничка карактеристика у односу на оно шта се од њих захтева. Много зависи и од пројеката на којима ће машина бити ангажована. Неки облик изнајмљивања машине третира се другачије од потпуне куповине машине. Период повраћаја инвестиције на неким пројектима може бити од пресудног значаја...

Техничке карактеристике машине су несумњиво једна од најзначајнијих карактеристика. Технички подаци произвођача могу бити један од извора података, али данас се првенствено користе „водичи за купце“ који на једном месту наводе све битне техничке параметре за више произвођача (као што су, рецимо, <http://www.khl.com/directories/>). Предност оваквих водича је што су, најчешће, машине груписане по неком кључном параметру (рецимо, по носивости), а не по произвођачима, како би могле боље да се пореде карактеристике. Велики број модела и типова исте врсте машина на тржишту доводи до ситуације да постоји огроман број веома сличних грађевинских машина са скоро идентичним техничким карактеристикама. Модел вредновања појединих машина првенствено зависи од врсте пројекта и региона где се пројекат одвија и треба да буде пажљиво дефинисан према пројекту и типу машина које се оцењују.

При набавци грађевинске машине за потребе извођачке фирме, добра је пракса водити рачуна, посебно у случају стандардних грађевинских машин, на тзв. типизацију (једноликост) појединих врста и типова машина. То је могуће остварити на два начина:

1. набавком већег дела флоте машина код истог произвођача
2. увођењем једног произвођача погонске опреме (мотора) и хидрауличке трансмисије.

Поред овога, веома је битно обезбедити гаранције произвођача по питању поузданости рада машина. Посебно је битно обезбедити довољно дуге „гарантне рокове“ као временска раздобља у којима испоручилац опреме или његов заступник – сервисер гарантује бесплатну поправку и замену делова машине који су у квару услед недостатака при производњи и монтажи машине. Такође, битне су и гаранције у вези могућег начина квалитетног одржавања (сервисирања) односно снабдевања резервним деловима током радног века грађевинске машине.



#### 4.2.2 Избор машина према моделу финансирања

При избору како купити грађевинску машину, модел финансирања има веома значајну улогу. На почетку процедуре избора модела финансирања, поставља се питање да ли платити машину у готовом, или користити неки облик кредитирања.

Плаћање машине у готовом најчешће је опција са најнижом набавном ценом, и са собом носи максималну флексибилност по питању начина куповине, рада и будуће продаје машине. Ипак, и готовина има своју цену, с обзиром да се тај новац може инвестирати на други начин и са већом профитабилношћу. Осим тога, улагање велике количине готовине у грађевинску машину може угрозити редовно пословање компаније и редовно плаћање осталих обавеза. Логика која је против куповине машине за готовину, говори и да се „плате радника не плаћају за 3 године унапред, па зашто би се за машину то радило“.

Генерално, финансијски модели који могу да се примене при набавци механизације, могу бити:

1. изнајмљивање машине и
2. куповина машине.

Изнајмљивањем машине проблем недостатка машине решава се привремено. Овакав модел најчешће се користи за решавање недостатка машина при „вршном“ оптерећењу, када, према динамици радова, у кратком временском периоду постоји недостатак машина, или када је потребно ангажовати машину (коју извођач не поседује) на малом обиму специфичних радова. Овакав модел је обично најскупљи за извођача, с обзиром да је у цену најма машина укључена и добит њеног власника, тако да извођач који је изнајмљује нема много простора за сопствену добит на основу њеног рада. Предности овако набављене машине су у томе што нема заробљавања капитала у машину која изводи мали обим специфичних радова, или за чије дуготрајно ангажовање нема посла.

Куповином машине, извођач трајно постаје власник грађевинске машине. Куповина може да се обави на један од начина:

- плаћањем цене машине одједном, и то
  - сопственом готовином или
  - готовином преко банкарског зајма
- отплаћивањем грађевинске машине уговором између купца и продавца, где на крају периода отплаћивања купац постаје власник машина, и
- набавком преко лизинга

Предности готовинског плаћања су следеће:

- Грађевинска машина одмах у власништву купца, те он са њом може слободно располагати, укључујући и њену продају у најповољнијем тренутку
- Куповином за готовину, обично, плаћена је најмања могућа набавна цена.
- Куповнима за готовину обично се стимулира пореском политиком државе у којој се трансакција обавља.



- Профит који се остварује радом машине је максимална и на располагању је власнику машине
- Машина је део флоте грађевинске фирме и представља њену компаративну предност при добијању послова

Недостаци готовинског плаћања су следећи:

- При недовољном обиму посла, улагање у нову грађевинску машину може бити непрофитабилно улагање и заробљавање капитала.
- Капитал уложен у машину и трошкови ангажованог капитала могу значајно да угрозе остало пословање фирме.

Предности одплаћивања машине у случају да машина постаје власништво фирме тек по укупној отплати су:

- Погодан начин набавке машине у погледу пореске политике државе према фирми
- Динамика отплате прилагођава се пословним активностима и могућности фирме
- Није потребно одједном издвојити велика средства за куповину машине, па фирма може уложити капитал у профитабилније пројекте
- Са малим почетним улагањем фирма долази до савремене машине при чему су трошкови одржавања и коришћења релативно ниски

Недостаци оваквог модела плаћања су:

- Отплатне рате су у правилу оптерећене високим каматним стопама, те је укупна цена машине знатно већа
- Фирма није у власништву машине до краја отплате те је не може приказати као својину при конкурисању за добијање нових пројеката
- Уколико фирма не буде у могућности да одплаћује рате чак и пред крај периода отплате, неће бити у власништву машине.

#### 4.2.3 Набавка нове машине коришћењем финансијског лизинга

Лизинг (извор <http://www.lizing.rs/>) је веома важан извор средњорочног и дугорочног финансирања, јер представља економски ефикасно решење набавке средстава потребних за пословање фирме. Лизинг пружа могућност предузећима да модернизују своју опрему и самим тим постану ефикаснији и конкурентнији. Нарочито је погодан за мала и средња предузећа, као и нова, тек основана предузећа која често не могу да рачунају на друге могућности финансирања. Управо зато владе многих земаља подржавају лизинг као важан метод подстицања инвестиција.

Лизинг индустрија је данас у свету веома развијена. У многим земљама се путем лизинга финансира више од четвртине свих набавки пословне опреме. Само у земљама у развоју се годишње путем лизинга финансира набавка нове опреме и возила у вредности од преко 40 милијарди долара.

Лизинг се може дефинисати као писани уговор између две стране: лизинг компаније (даваоца лизинга) и корисника опреме (примаоца лизинга). У овој



трансакцији давалац лизинга набавља опрему од добављача и даје је на коришћење примаоцу лизинга на одређени временски период, док је корисник лизинга заузврат дужан да даваоцу врши периодична плаћања по условима дефинисаним у уговору.

Иако може изгледати да је лизинг један од новијих метода финансирања, први случајеви практичне примене одиграли су се у давној прошлости. Пронађени су докази да су 2.000 п.н.е. Вавилонци применили једну врсту лизинга за чамце и стоку. Један од првих теоретских описа лизинга пронађен је у римским правним списима. У свом савременом облику финансијски лизинг је потекао из САД.

Прву компанију за финансијски лизинг основао је Хенри Шофелд 1952. године у САД. Компанија је основана са циљем да реализује једну конкретну трансакцију у домену железничког транспорта. Наведеном трансакцијом демонстрирана је економска ефикасност финансијског лизинга па је Шофелд одлучио да настави пословање и оснује америчку лизинг компанију *“United States Leasing Corp.”* (која се данас зове - *“United States Leasing International Inc.”*) Развој финансијског лизинга у Европи почео је крајем 50-тих и почетком 60-тих година прошлог века.

Неколико фактора је подстакло брз развој финансијског лизинга у Северној Америци и западној Европи. Технолошки напредак створио је код предузећа потребу да обнове сопствена стална средства, а финансијски лизинг је пружио неопходни механизам прибављања сталних средстава под повољнијим условима него што је то случај при куповини опреме готовинским путем.

Лизинг (енгл. *leasing*), (Извор “Економски лексикон”) је посебан облик туђег финансирања или финансирања из позајмљених извора. Лизингом, мала или средње велика предузећа могу прибавити производна и друга добра без трошења властитих фондова и без узимања скувих кредита на финансијскоме тржишту. Лизинг таквим предузећима омогућује плаћање накнаде за кориштење предметом лизинга по начелу: “плаћај из онога што зарадиш» (*pay as you earn*). Према економској дефиницији, лизинг је облик финансирања набаве покретних и непокретних добара која се на темељу посебног уговора дају на употребу кориснику лизинга, уз одређену накнаду и на одређено време. По правној дефиницији, ради се о *„уговору о лизингу, којим се даваоц лизинга обавезује предати ствари на кориштење примаоцу лизинга за одређено време или за одређени посао, а прималац лизинга обавезује се платити одређену накнаду у ратама, тако да истеком уговореног рока ствар врати даваоцу лизинга, продужи њезино кориштење или је откупи“*. Зависно о начину финансирања и односима који настају током одвијања лизинг-трансакције, разликују се:

1. посредни лизинг (који подразумева тространу пословну трансакцију у којој учествују: произвођач или испоручилац некога добра, корисник, односно примаоц лизинга и давалац лизинга, односно лизинг-организација, при чему се посебно склапа купопродајни уговор између произвођача и лизинг-предузећа те други уговор о лизингу између лизинг-предузећа и корисника лизинга);
2. директни лизинг (уговор о лизингу склапа се директно између произвођача као давалаца лизинга и корисника предмета лизинга);



3. финансијски лизинг (уговарање основног раздобља трајања лизинга у којем га уговорне стране не могу отказати, а конципиран је као “уговор пуне амортизације”, што значи да корисник лизинга, током трајања уговора исплаћује даваоцу лизинга пуну вредност предмета лизинга; трошкове одржавања и застарелости предмета лизинга сноси прималац лизинга);
4. оперативни лизинг (краткорочни уговор о лизингу који се може раскинути у свакоме тренутку, под условима из уговора; траје краће од економског века предмета лизинга; лизинг-накнада мања је од вредности предмета лизинга, па давалац лизинга амортизира само део својих трошкова и преузима ризик застарелости и трошкове одржавања предмета лизинга, због чега настоји да уговори овакву врсту лизинга са више корисника, чиме осигурава сукцесивност изнајмљивања опреме и рентабилност властитог пословања; користи се у случајевима када корисник лизинга треба привремено, из сезонских или других разлога осигурати повећање свога возног парка, грађевинских или пољопривредних машина, уређаја и сл.; омогућује кориснику боље управљање расположивим капиталом);
5. краткорочни лизинг (трајање коришћења предметом од једне до три године);
6. дугорочни лизинг (кориштење предметом лизинга дуже од три године);
7. нето лизинг (корисник лизинга сноси трошкове одржавања, сервисирања и осигурања предмета лизинга);
8. бруто лизинг (давалац лизинга сноси трошкове одржавања, сервисирања и осигурања предмета лизинга, а може се уговором давалац обавезати на замену новијим и савременијим предметом лизинга).

Према предмету лизинга, постоје:

- лизинг инвестиционе опреме (*equipment leasing*)
- лизинг комплетних постројења (*plant leasing*)
- лизинг робе широке потрошње трајније вредности (*leasing of durables*).

Према искориштености предмета лизинга разликују се:

- лизинг неупотребљаваних добара (*first-hand-leasing*),
- лизинг употребљаваних добара (*second-hand-leasing*).

У спољнотрговинској пракси још се користи:

- индивидуални лизинг (предмет уговора о лизингу тачно је одређен),
- бланкетни лизинг (оквирни уговор о лизингу којим се давалац лизинга обавезује набавити и предати на кориштење предмете лизинга по избору корисника лизинга),
- стандардни лизинг уговор (код којег се предмет лизинга враћа даваоцу лизинга по истеку уговореног рока или се новим уговором продужује његово кориштење),
- уговор с правом опције (којим се кориснику лизинга допушта да по истеку уговоренога рока одлучи хоће ли кориштени предмет вратити или продужити његово кориштење),



- уговор с клаузулом о праву откупа (по коме корисник лизинга придржава право куповине предмета лизинга по истеку уговоренога рока коришћења),
- временски лизинг (унапред утврђен рок коришћења и обавезе враћања предмета лизинга - тзв. *run-off-leasing*),
- ротирајући - револвинг лизинг (с правом корисника да продужи уговор о кориштењу или замени предмета лизинга савременијим моделом),
- повратни лизинг (*sale and lease back*, користи се када власник некога добра, да би прибавио готовинска финансијска средства, продаје та добра лизинг-предузећу и истовремено узима исто продано добро натраг у лизинг, обично финансијски, при чему након уговореног раздобља, отплатом лизинг-накнаде, може поновно доћи у власништво тог добра),
- лизинг с одлуком о купопродаји (тзв. *hire purchase*, при којем се уговор о лизингу може склопити на начин да се одмах донесе одлука о купопродаји предмета лизинга чим истекне раздобље закупа; може се користити за све врсте производа који се користе дужи низ година - од обичног рачунара, аутомобила и сл. па до бродова, авиона итд.).

Лизинг накнада може се уговорити на следеће начине:

- као фиксна линеарна накнада (сигурнија је за давалаца лизинга, јер не зависи о економичности коришћења предметом лизинга),
- као накнада с клаузулом ревизије (штити интересе оба партнера, јер се променом услова лизинг-накнада, као и код клизне скале, може прилагодити интересима оба партнера),
- као висока накнада у првоме месецу, која се у даљим месецима смањује (када се уговором предвиђа откуп предмета лизинга),
- као ниска накнада у почетном раздобљу која се након тога знатно повећава (погодно за корисника лизинга, који у почетку не постиже пуно искориштење капацитета предмета лизинга, нпр. индустријског постројења),
- као накнада чија се висина прилагођавање интензитету и времену рада опреме узете у лизинг (еластично утврђивање и прилагођивање висине лизинг-накнаде према стварном интензитету кориштења предмета лизинга; несигурно је за давалаца лизинга, ако је контрола стварног кориштења предметом лизинга отежана).

Облици уговарања лизинг-накнаде могу се прилагодити конкретним случајевима у пракси.

Смисао лизинга одсликава се у Аристотеловој тврдњи: "Истинско богатство није у власништву над имовином, већ у праву да се она користи." Лизинг аранжмани омогућавају правним и физичким лицима једноставнији, бржи и јефтинији начин набавке опреме, нарочито у условима недостатка сопственог капитала, недовољно повољних банкарских кредита, нефункционисања правне државе, као и због постојања пореских олакшица. Корисницима лизинга ти аранжмани обезбеђују финансирање куповине са правом коришћења предмета лизинга до истека уговора, а право својине преноси се на корисника тек по исплати последње рате.



Основне предности лизинга (извор <http://www.nbs.rs>) су:

1. финансијски разлози – није свако предузеће или појединац у могућности да купи опрему неопходну за покретање, проширење или модернизацију сопственог пословања. Не располаже свако предузеће адекватним средствима које би могло да понуди као обезбеђење за банкарске кредите;
2. једноставнија процедура – примаоцу лизинга углавном не требају жиранти (само понекад се од примаоца лизинга траже и жиранти). Даваоци лизинга лакше долазе до државине предмета лизинга у случају несолидности примаоца лизинга;
3. бољи услови од кредитних – прималац лизинга ослобађа се обавезе плаћања пореза на промет услуга, па лизинг постаје конкурентнији од кредита;
4. економичности и погодности – предузеће или појединац плаћају лизинг накнаде из профита оствареног по основу коришћења предмета лизинга.

Поред ових, додатне предности куповне машине путем лизинга су:

1. лизинг-накнада отплаћује се из прихода остварених употебом предмета лизинга
2. не морају се одмах ангажовати сва расположива финансијска средства;
3. лизинг-накнаде су искључиво материјални трошкови;
4. користећи опцију куповине, инвестиционо добро се може добити јефтиније, јер се плаћа цена према преосталој, неамортизованој вредности тога добра;
5. овакав начин финансирања пружа могућност кориштења најновије високе технологије која је, иначе, због високе цене недоступна
6. финансирањем кроз форму лизинга корисник не улаже сопствена средства у набавку предмета, већ инвестира у своје редовно пословање, што му омогућује отплату месечних лизинг рата;
7. рате лизинга се отплаћују месечно из прихода који предузеће остварује коришћењем предмета лизинга;
8. лизинг рате су фиксне и служе као основица за јасну калкулацију трошкова, што је веома важно за предузеће, а и за физичко лице;
9. финансијски лизинг обухвата најчешће и финансирање са минималним учешћем од 25% за лако теретно возило и 20% за тешко теретно возило, са максималним роком отплате до 60 месеци;

Предности за даваоца лизинга су:

1. сигурност - власништво над опремом и једноставнија процедура повраћаја дају даваоцу лизинга сигурност која је много већа него што би то била било која залога која се користи код осигурања кредита банака.
2. релативно једноставна документација – узрокује да трансакциони трошкови буду ниски омогућавајући лизинг компанијама да подигну ефикасност на виши ниво.
3. мања регулација – лизинг компанијама обично није дозвољено да примају депозите, па је њихово пословање далеко мање контролисано него што је то



случај код банака. Мањи ниво регулације им пружа могућност да буду много ефикасније.

Поред уплате учешћа, услов за улазак у систем лизинга је позитивна оцена бонитета лица које је поднело захтев за одобрење лизинга.

У пракси, на тржишту Србије, најчешће је у примени финансијски лизинг. За разлику од оперативног лизинга који је веома сличан класичном изнајмљивању, финансијски лизинг је много комплекснија трансакција. То је облик кредитног аранжмана који финансира набавку одређене опреме за потребе примаоца лизинга.

Предмет финансијског лизинга је покретна непотрошна ствар (опрема, постројења, возила и сл.). Прималац лизинга може бити правно или физичко лице. Минимални рок на који се уговор о лизингу закључује не може бити краћи од две године од дана закључења уговора. Основни принцип лизинг пословања је да давалац лизинга задржава правно власништво над предметом лизинга, док прималац лизинга стиче економско власништво.

У пракси, финансијски лизинг подразумева ситуацију да Давалац лизинга, уз претходни договор са примаоцем лизинга, купује опрему од добављача и даје му је на коришћење. Прималац лизинга користи ову опрему у пословању и стиче приходе по том основу, који му омогућују да исплаћује уговорене обавезе које има према даваоцу лизинга. Током периода отплате, опрема остаје у правном власништву даваоца лизинга. По истеку уговора, прималац лизинга може да се одлучи да врати опрему даваоцу, или да је купи за цену која је знатно нижа од очекиване тржишне вредности опреме. У пракси се најчешће (али не и обавезно) уговор направи тако да плаћањем последње лизинг рате, прималац лизинга аутоматски постаје и правни власник предмета лизинга.

Финансијски лизинг је често дефинисан као алтернативни вид финансирања нових инвестиција предузећа. У односу на банкарске кредите финансијски лизинг има велики број предности како за даваоца тако и за примаоца лизинга.

За време трајања уговора о финансијском лизингу предмет уговора је власништво лизинг куће, за разлику од случаја када се нешто купи на кредит.

Право власништва се преноси на корисника по исплати последње рате, а амортизација предмета лизинга води се у пословним књигама примаоца лизинга.

Финансијски разлози за куповину машине преко лизинг уговора леже у чињеници да није свако предузеће или појединац у могућности да купи опрему неопходну за покретање, проширење или модернизацију сопственог пословања. Не располаже свако предузеће адекватним средствима које би могло да понуди као обезбеђење за банкарске кредите. Лизинг представља одговор на такве проблеме тако што пружа могућности примаоцима лизинга да прибаве неопходну опрему. Предузеће плаћа лизинг накнаде из профита оствареног по основу коришћења предмета лизинга. Веома често лизинг обезбеђује 100% финансирања за пројекат. Коришћењем лизинга могуће је остварити одређене пореске предности – пуни износ лизинг накнаде се може одбити од основице за порез на добит.



На територији Србије финансијски лизинг правно је регулисан одредбама Закона о финансијском лизингу. Код оперативног лизинга, након истека периода лизинга, корисник враћа предмет лизинга даваоцу лизинга. Разлике између финансијског и оперативног лизинга састоје се пре свега у томе што финансијски лизинг представља финансирање куповине, а оперативни финансирање коришћења предмета лизинга и што код финансијског лизинга постоји имовински ризик, односно ризик пропасти или оштећења предмета лизинга, који сноси корисник лизинга, док је код оперативног тај ризик на даваоцу лизинга.

За време трајања уговора о финансијском лизингу предмет уговора је власништво лизинг куће, за разлику од случаја када се нешто купи на кредит. Право власништва се преноси на корисника по исплати последње рате, а амортизација предмета лизинга води се у пословним књигама примаоца лизинга.

У Србији финансијски лизинг је тек у развоју. Закон о финансијском лизингу Републике Србије је усвојен у мају 2003 године. Ради се о модерном закону, који је подстицајан за развој тржишта лизинга.

Треба нагласити да лизинг компанији, као даваоцу лизинга, погодности које ужива омогућују да постигне већу ефикасност. Овима се ствара простор да компанија снизи цене својих услуга, што аутоматски представља корист за примаоца лизинга. На тај начин се практично све предности које има давалац лизинга индиректно преносе на примаоца лизинга.

#### **4.2.4 Одлука о избору између лизинга, куповине или изнајмљивања машине**

Одлука о избору између куповине, изнајмљивања или лизингу машине није ни једнозначна нити је једноставна за доношење. Уговор о лизингу може имати различите клаузуле и услове за обе стране. При томе, лизинг подразумева дугорочни аранжман, са фиксним роком, који може укључивати и могућност откупа машине по истеку рока (са или без кредита). На тржишту Србије, услови су најчешће такви да корисник лизинга на крају лизинг периода постаје власник машине.

Изнајмљивање (рентирање) је уобичајено краткорочнији уговорни аранжман са извеснијим условима по завршетку. При томе, могућност изнајмљивања зависи само од тренуте расположивости машине на тржишту и период изнајмљивања је минимум 1 дан.

Последњих година, како на територији Европе, тако и на тржишту Србије, све је већи тренд изнајмљивања машина или њиховог лизинга наспрам куповине машина. Ово је узроковано, са једне стране, и све већим бројем фирми које се баве рентирањем или лизингом машина, али и тиме што се све више извођачких грађевинских фирми одлучује да при набавци машине да предност овим опцијама, уместо да се одлучи за куповину машине.

Предности власништва над другим облицима права коришћења грађевинске машине су у могућностима добијања повластица при улагању у основна средства,

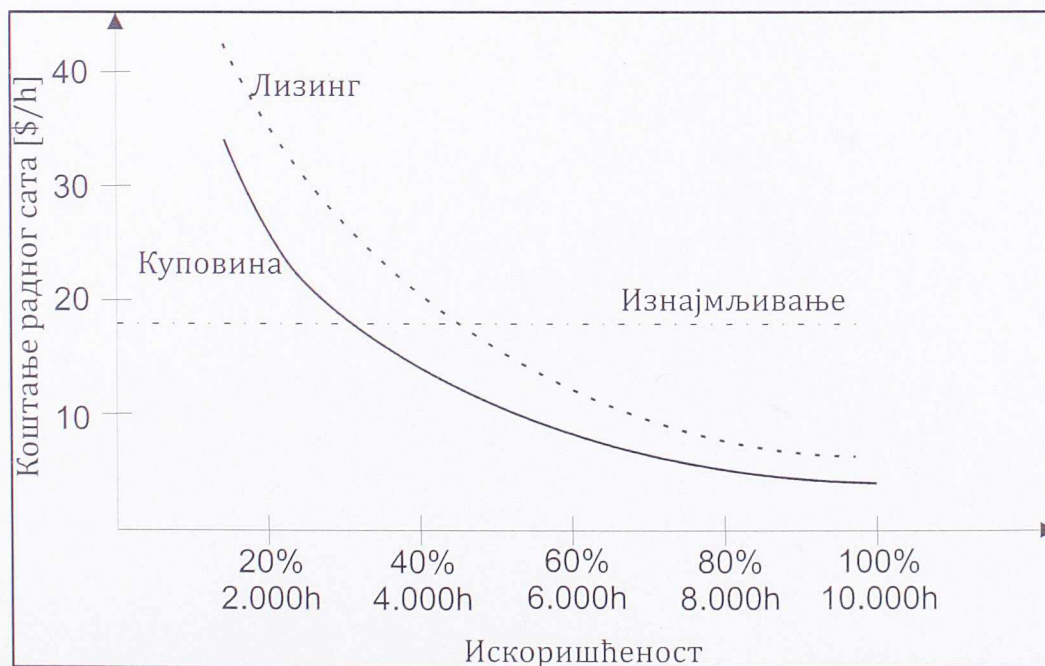


добијању повољних инвестиционих кредита, потпуној контроли над машином и располагању машине у сваком тренутку. Ова могућност подразумева и могућност продаје машине у сваком тренутку. Са друге стране, при куповини машине ангажује се знатна количина обртних средстава фирме, те се при обрачунању коштања радног сата машине обавезно треба обрачунати и трошак ангажованог капитала. Уколико се куповина обавља преко кредита, трошак је сличан случају када се обезбеђење машине обавља преко лизинга, с том разликом да је фирма одмах у власништву машине, а не (евентуално) тек по истеку периода лизинга.

Предности лизинга и рентирања машине су у малим иницијалним трошковима (никаким код рентирања), могућности транспарентног књиговодственог приказивања трошка ангажовања машине са могућношћу пореског ослобађања.

Анализа предности једног од поменутих три начина ангажовања машине је комплексна и подразумева студиозну анализу односа прихода и трошкова, као и предикцију пословања грађевинске фирме у будућности.

Генерално говорећи, набавка машине доводи до мањих трошкова радног сата, уколико се машина одговарајуће одржава и користи, при довољној упошљености машине. При малој упошљености машине, трошкови радног сата машине се драстично повећавају (с обзиром да депресијацију вредности машине треба обрачунати на мали број радних сати). Рентирање машине је обично исплативије уколико машина неће имати велику упошљеност. При већој упошљености, средње решење између рентирања и куповине машине је лизинг машине. При малој упошљености, лизинг представља најскупле решење.



Слика 4.4 – Однос трошкова радног сата за изнајмљивање, куповину и лизинг



#### 4.2.5 Утицај рентирања и лизинга машина на прорачун коштања радног сата

Уколико је машина под лизингом или је изнајмљена, прорачун трошкова радног сата разликује се од случаја када је машина у власништву фирме која је користи. У овим случајевима, трошак основног средства једак је износу месечне ренте или лизинга по радном часу машине.

$$E_{OS} = E_L,$$

$$E_L = \frac{L_M}{h_M}$$

где је  $E_{OS}$  трошак основног средства на нивоу радног часа,  $E_L$  је трошак лизинга (или ренте) на нивоу радног часа,  $L_M$  представља месечну рату за лизинг или износ најма машине на месечном нивоу, а  $h_M$  представља месечни фонд радних сати.

Овакав трошак одговарао би трошку депресијације, инвестиционог одржавања и трошку ангажованог капитала у случају да је машина у власништу. При томе, у случају лизинга или ренте, трошак основног средства је углавном већи него у случају власништва над машином. Ово ће за последицу имати и примену мањег фактора режије  $\phi$  над овим трошковима, да би се задржала конкуретност цене рада машине. Трошак експлоатације у случају лизинга или ренте остаје исти као и у случају власништва над машином.



---

## 5 Модел оптимизације избора грађевинских машина

---

*На основу могућих комбинација машина врши се оптимизација избора. У овом поглављу дат је преглед постојећих модела оптимизације избора грађевинских машина приказан у светској литератури. Дате су полазне претпоставке новог приступа оптимизацији, приказан је математички модел и дефинисани су критеријуми према којима се врши оптимизација.*

*У поступку анализе појединачне комбинације машина, уведени су нове мере усклађености рада машина. Приказани су утицаји нових мера усклађености са очекиваним резултатима и приказан је практични значај ових мера у побољшању појединачних комбинација машина.*



## 5.1 Приказ постојећих модела оптимизације избора грађевинских машина

Проблем оптимизовања избора грађевинских машина је стар колико и примена грађевинских машина. У тренутку када је произведена више од једне машине која може извршити неку позицију радова у грађевинарству, појавио се и проблем избора између понуђених варијанти. Овај проблем је нарочито био изражен код инфраструктурних радова, на изради путева, брана, насипа и сличних конструкција за чију израду је неопходно велико учешће механизованог рада.

У светској литератури проблем оптимизације избора грађевинских машина није непознат и третиран је на различите начине. Поједини аутори [Abbas R., Rajaie H., Hazrati A, 2007] за оптимизацију грађевинских машина користе теорију редова. Они у студији случаја приказују избор машина на примеру изградње *Southern Pars Especial Economical Zone* на југу Ирана. У наведеном раду аутори се баве првенствено усклађивањем рада машина на позицијама ископ – утовар – транспорт. При томе, аутори исправно сагледавају утицај окружења на учинак транспортних средстава. У раду су дати и утицаји промене броја појединих машина на укупно трајање пројекта. Критеријум према коме су усклађиване машине је био тај да нема застоја између операција. Економски параметри и остали критеријуми оптималности нису анализирани.

Старије методе оптимизације су углавном полазиле од претпоставке да се само прилагођавањем условима градилишта и окружења може доћи до минимизирања укупних трошкова пројекта. При томе, мало аутора се трудило да у своје математичке моделе укључе цену рада и профит. Модел развијен Marvin Gates и Amerigo Scrapa био је први који је препознавао значај функције цене на укупну оптимизацију систем. У свом раду Ahmed M. Al-Ghassani, John M. Kamara, Chimay J. Anumba, Patricia M. Carrillo [Ahmed M et al, 2006], добро сагледавају факторе утицаја који се морају анализирати када се бира тип и величина грађевинских машина за земљане радове. Укупно двадесет фактора груписали су у четири групе – услови окружења, карактеристике тла, услови уговора и услови логистике. Такође, они исправно сагледавају да су укупни трошкови рада збир индиректних и непродуктивних трошкова машине и трошкова продуктивног рада. При томе, они уводе линеарну зависност између количине рада и трошкова рада. Према ауторима, проблем оптимизације се своди на одређивање количине рада  $Q^*$  која раздваја економичност употребе једног од другог модела машина. Овакав модел је прилично једноставан и ретко се среће у пракси. Поред тога, иако је зависност трошкова од количине линеарна, за прецизно дефинисање те функције потребна је велика база историјских података. Закључак да се при мањем обиму посла више исплати ангажовање машина мањег капацитета може бити или сувише очигледно, или последица превеликог уопштавања података.

Први аутор који је предложио метод оптимизације продуктивности система грађевинских машина био је Peurifoy [Peurifoy et al, 2000]. Његов модел укључује



одређивање свих физичких ограничења током транспорта материјала као и њихово оцењивање у циљу добијања максималне продуктивности система. Примарна слабост овог модела је да не садржи факторе трошкова, а процене су на основу максималне теоријске производње оствариве у датом тренутку уместо. Овај модел такође има тенденцију да постане прилично сложене али је пружио добру основу на коју су неки други аутори правили надоградњу.

Један од аутора који је унапређивао модел који је дефинисао Peurifoy је R. E. Phelps [Phelps R.E, 1977]. Он је користио поменути методу и унапредио је уводећи фактор реалности у прорачун. Његов метод настоји да процени производњу која се може реално остварити у датом временском периоду. Phelps дефинише овакав обим производње као "одрживу производњу" (sustained production). Принцип који је користио је да се време које је изгубљено услед људског фактора и несавршеног управљања производњом распоређује на цео циклус. У индустрији, менаџери понекад покушавају да надокнаде губитке услед људског фактора користећи 45 до 50-минутним продуктивним сатом. То не даје тачне процене, јер операције које су дуготрајне омогућавају мање могућности губитка времена од краткотрајнијих операција. Тако, на пројектима са већом дужином транспорта укупни губици времена су мање него на пројектима код којих је мала транспортна дужина.

И други аутори, [M. Marzouk,2006], [Moselhi et al, 2004], [Chung-Wei Fenga Et. al.,2004] предлажу различите моделе за оптимизацију групе машина које су ангажоване на транспорту ископаног материјала при земљаним радовима. Модели су базирани на генетским алгоритмима, методама линеарног програмирања, теорије фази скупова, теорије редова или другим методама, при чему се углавном баве оптимизацијом појединих сегмената – продуктивношћу, трошковима или временом. Неки аутори, као Karsten Menzel [Karsten Menzel Et al, 2004] проблему оптимизације грађевинских машина прилазе као проблему расподеле ресурса.

Сви наведени приступи проблему оптимизације грађевинских машина најчешће су примењиви на неким од области грађевинарства. Најчешће су приказани модели примењени на оптимизацији земљаних радова, с обзиром на велико учешће машинског рада, велику цену ових радова и укупни утицај на завршетак пројеката. У моделима се најчешће истражују утицаји само појединих фактора на успешност пројекта. И сама успешност је различито формулисана – код неких аутора је то продуктивност, док други посматрају као кључне економске параметре или нешто треће.

## 5.2 Полазне претпоставке новог модела

При ангажовању комплексне механизације неопходно је спровести анализу која ће показати у којој мери је пројектованим саставом машина организацијски решен проблем усклађености машина у односу на услове и потребе места рада, односно градилишта [Стефановић А., 1984.]. Организацијски аспект за испитивање комплексности и повољности састава комплексне механизације заснива се на коначном резултату добијеном као решење одговарајућих учинака машина у



саставу. За сваку машину састава комплексне механизације испитује се појединачно однос учинака кључне машине са учинком сваке машине састава, уз узимање у обзир број група (врста) машина у саставу, а не укупан број машина у саставу.

Модел оптимизације који је овде приказан има за циљ проналажење оптималног решења у дискретном скупу базираном на расположивом машинском парку. Генерално, могуће је издвојити три критеријума на основу којих може да се изврши оптимизација:

- цена по јединици мере  $P$  [€/m<sup>3</sup>]
- приход механизованог рада по јединици мере  $T$  [€/m<sup>3</sup>]
- трошак механизованог рада по јединици мере  $C$  [€/m<sup>3</sup>]

Ови критеријуми нису међусобно независни, већ су повезани на начин:

$$P \text{ [€/m}^3\text{]} = C \text{ [€/m}^3\text{]} + T \text{ [€/m}^3\text{]}$$

Додатни критеријум је време извршење радова  $D$ . Функција зависи од учинка кључне машине једне комбинације.

У тражењу оптималног решења, циљ је пронаћи екстреме наведених функција, и то, макар један од следећих:

- $\min P$ ,
- $\min C$ ,
- $\min D$  или
- $\max T$

Алгоритам избора машина дат је на слици 4.1.

### 5.2.1 Параметри избора машина према минималној јединичној цени позиције

Једна од претпоставки нове методологије прорачуна је да се на свакој позицији рада може ангажовати више различитих модела машина. Свакој позицији рада „ $i$ “ може бити додељена једна група машина (која може бити састављена од једне до „ $j$ “ машина). Учинак целе комбинације машина одређен је учинком **кључне групе машина** –  $\min U_{p,i}$  (учинак  $i$ -те групе машина у којој има  $j$  машина).

$$\min U_{p,i} = \sum_j U_{p,i,j}$$

При прорачуну коштања радног сата, свака од три групе трошкова –једнократни трошкови -  $J_t$  (који се раподељују на  $h_{gr}$  фонд радних сати), трошкови експлоатације  $E_e$  и трошкови основног средства -  $E_{os}$ , имају своје факторе режијских трошкова -  $\phi_j$ ,  $\phi_{os}$  и  $\phi_e$ . При томе, у општем случају, фактори режије су различити у сва три случаја, а на кориснику грађевинских машина је да њихове вредности прилагоди тржишту, пројекту, условима власништва над машином или било ком другом релевантном фактору. Укупно ефективно коштање радног сата  $K_{h,i,j}$  грађевинске машине  $M_{i,j}$  (машине у групи  $i$  којих има  $j$  истих) било би



$$K_{h,j}^{EF} = \frac{J_{t,j}}{h_{gr,j}}(1 + \varphi_J) + E_{OS,t,j}(1 + \varphi_{OS}) + E_{E,t,j}(1 + \varphi_E)$$

При томе, трошак машине -  $C_{h,i,j}$  на нивоу радног сата за ангажовање машине  $M_{i,j}$  био би:

$$C_{h,i,j} = \frac{J_{t,j}}{h_{gr,j}} + E_{OS,t,j} + E_{E,t,j}$$

док би приход -  $T_{h,i,j}$  од ангажовања машине  $M_{i,j}$  на нивоу радног сата био

$$T_{h,i,j} = \frac{J_{t,j}}{h_{gr,j}} \cdot \varphi_J + E_{OS,t,j} \cdot \varphi_{OS} + E_{E,t,j} \cdot \varphi_E$$

Ефективно коштање радног сата групе машина  $i$  износи:

$$K_{h,i}^{EF} = \sum_j K_{h,j}^{EF} = \frac{J_{t,j}}{h_{gr,j}}(1 + \varphi_J) + E_{OS,t,j}(1 + \varphi_{OS}) + E_{E,t,j}(1 + \varphi_E)$$

Коштање сата машине  $M_{i,j}$  на чекању -  $K_{h,i,j}^{SB}$  износи:

$$K_{h,i,j}^{SB} = E_{OS,t,j}(1 + \varphi_{OS}) + E_{RS,t,j}(1 + \varphi_E)$$

Наплата ангажовања механизације врши се према реалном ангажовању машине. При томе, пуном ценом радног сата -  $K_{h,i,j}$  обрачунавали би се сати пуног ангажовања машина, док би се смањеном ценом -  $K_{h,i,j}^{SB}$  коштањем радног сата машине на чекању - обрачунавало време када је машина ангажована на градилишту, али без ефективног рада. Уколико је ангажована машина са знатно већим учинком од учинка кључне машине, већи део њеног времена биће неефективан, тако да ће се тако и обрачунати (без потрошње енергената и мазива, уз присутне трошкове руковоаца). Колики ће удео у укупном коштању радног сата бити једног, односно другог трошка, зависи од усклађености учинка групе кључних машина и посматране групе машина. Да би се одредио овај однос, неопходно је увести меру усклађености учинака - индекс усклађености  $p_i$  који се срачунава из односа:

$$p_i = \frac{\sum_j U_{p,i,j}}{\min \sum_j U_{p,i,j}}$$

Индекс усклађености  $p_i$  односи се на групу машина. Овај индекс за кључну групу машина једнак је 1,0, док је за остале групе машина мањи од јединице. С обзиром да је у прорачуну учинака машина за све машине коришћен исти коефицијент коришћења радног времена  $K_v$  (који представља однос ефективног и укупног радног времена), он ће бити ефективан само за кључну групу машина. За остале групе машина, ефективни коефицијент коришћења радног времена биће једнак

$$K_{v,i}^{EF} = K_{v,i} \cdot p_i$$

Реално коштање радног сата машине биће једнако:



$$K_{h,i,j}^R = K_{h,i,j}^{EF} \cdot p_i + K_{h,i,j}^{SB} \cdot (1 - p_i)$$

За кључну групу машина, реално коштање радног сата биће једнако ефективном коштању радног сата  $K_h$  док је за остале групе машина реално коштање мање од ефективног.

Укупно коштање радног сата за све ангазоване групе машина износи:

$$KK = \sum_i \sum_j K_{h,i,j}^R$$

Цена по јединици мере обрађеног материјала износи:

$$P = \frac{KK}{\min(U_{P,i})}$$

Ова вредност је изузетно битна у избору грађевинских машина. Веома често се она користи као функција чији минимум представља оптимално решење избора машина. Међутим, с обзиром да се успешност пројекта не огледа у нивоу постигнутих цена, већ (између осталог) у величини оствареног прихода, величина цене обрађеног материјала може бити важа, али не и једини, одлучујући критеријум за одлуку о избору одређене комбинације машина.

### 5.2.2 Параметри избора машина према максималном приходу

У савременом грађевинарству постоји широк дијапазон типова права коришћења и власништва над грађевинским машинама. Тип власништва, односно право коришћења машине, утицаће на приход који се може придружити одређеном типу трошка, односно укупном приходу, како је то објашњено у претходном тексту. Услед разноликости могућих профитних стопа, примат над податком о минималној могућој цени позиције узима податак о максималном могућем оствареном приходу по јединици мере обрађеног материјала, или податак о минимално могућем остваривом трошку по јединици обрађеног материјала.

Као што је био случај са прорачуном коштања ефективног радног сата, тако је и код прорачуна ефективног прихода, мора се водити рачуна о међусобној усклађености учинака кључне групе машина, са осталим групама машина. При прорачуну ефективног прихода, користе се исти индекси усклађености као и код прорачуна ефективног коштања радног сата.

Приход  $T_{h,i,j}$  од ангазовања машине  $M_{i,j}$  на нивоу ефективног радног сата био:

$$T_{h,i,j}^{EF} = \frac{J_{I,i,j}}{h_{gr,i,j}} \cdot \varphi_J + E_{OS,i,j} \cdot \varphi_{OS} + E_{E,i,j} \cdot \varphi_E$$

Приход  $T_{h,i,j}^{SB}$  од ангазовања машине  $M_{i,j}$  на чекању био би:

$$T_{h,i,j}^{SB} = E_{OS,i,j} \cdot \varphi_{OS} + E_{RS,i,j} \cdot \varphi_E$$

Реални приход од ангазовања машине  $M_{i,j}$  износи:

$$T_{h,i,j}^R = T_{h,i,j}^{EF} \cdot p_i + T_{h,i,j}^{SB} \cdot (1 - p_i)$$



Укупни приход за све ангажоване групе машина, на нивоу радног часа, износи:

$$TT = \sum_i \sum_j T_{h,i,j}^R$$

Приход по јединици мере обрађеног материјала износи:

$$JP = \frac{TT}{\min(U_{P,i})}$$

Остварени приход по јединици мере представља један од основних критеријума на основу кога се усваја оптимална комбинација машина. У ову величину укључени су индиректни трошкови (који се крећу у распону од 10 – 15%), ризик и профит. Укупни приход – ТР на посматраној позицији радова чији обим (количина радова) износи Q, добија се као:

$$TP = Q * JP$$

### 5.2.3 Параметри избора машина према минималним једничним трошковима

Уколико се грађевинске машине ангажују за сопствене потребе, критеријум максималног профита није примењив. Такође, у таквим случајевима није примењив ни случај оптимизације према минималној цени по јединици мере, с обзиром да је у том случају већ урачунат фактор режије  $\phi$  који се у наведеном примеру не примењује. У таквим случајевима, оптимизација избора групе машина врши се према минималним трошковима - C.

Трошак  $C_{h,i,j}$  на ангажовању машине  $M_{i,j}$  на нивоу ефективног радног сата био:

$$C_{h,i,j}^{EF} = \frac{J_{t,i,j}}{h_{gr,i,j}} + E_{OS,i,j} + E_{E,i,j}$$

Трошак  $C_{h,i,j}^{SB}$  на ангажовању машине  $M_{i,j}$  на чекању био би:

$$C_{h,i,j}^{SB} = E_{OS,i,j} + E_{RS,i,j}$$

Реални трошак на ангажовању машине  $M_{i,j}$  износи:

$$C_{h,i,j}^R = C_{h,i,j}^{EF} \cdot p_i + C_{h,i,j}^{SB} \cdot (1 - p_i)$$

Укупни трошак за све ангажоване групе машина, на нивоу радног часа, износи:

$$CC = \sum_i \sum_j C_{h,i,j}^R$$

Приход по јединици мере обрађеног материјала износи:

$$JC = \frac{CC}{\min(U_{P,i})}$$



Укупни трошак -  $TC$  на посматраној позицији радова чији обим (количина радова) износи  $Q$ , добија се као:

$$TC = Q * JC$$

#### 5.2.4 Параметри избора машина према минималном трајању радова

Генерално, свака комбинација машина, уколико није задат потребни практични учинак  $U_{p,pot}$  има различито трајање. Уколико је задат потребни практични учинак, трајање радова (изражено у сатима -  $D$ ) чији је обим  $Q$  изражен у [ $m^3$ ] може се прорачунати као:

$$D = \frac{Q}{U_{p,pot}}$$

У свим осталим случајевима, када свака група машина има другачији учинак, трајање радова за групу машина  $i$  износи:

$$D_i = \frac{Q}{U_{p,i}}$$

На исти начин се закључује да ће, према овом критеријуму, оптимална комбинација машина бити она код које је

$$optD = \min\left(\frac{Q}{U_{p,i}}\right)$$

#### 5.2.5 Мере усклађености учинка машина у групи

Добијање оптималне комбинације машина по неком од критеријума захтева тестирање великог броја комбинација. Без одговарајућег софтвера, најчешће, није могуће прорачунати сваку од комбинација, с обзиром да њихов број може бити веома велики. У таквим случајевима, јавља се потреба да се из једне, или малог броја комбинација, утврди каква је мера међусобне усклађености машина и њен утицај на близину оптималног решења.

Основни параметар од кога се полази при анализи усклађености рада машина је индекс усклађености. Свака група машина  $i$  представљена је у комбинацији машина својим индексом усклађености  $r_i$ . Овај индекс би се могао представити и као додатни коефицијент коришћења радног времена. С обзиром да је коефицијент коришћења радног времена  $K_v$  већ примењен у прорачуну учинка сваке појединачне машине и представља однос ефективног и укупног радног времена, индекс усклађености групе машина  $r_i$  представљао би однос ефективног радног времена групе машина  $i$  у односу на ефективно радно време кључне групе машина.

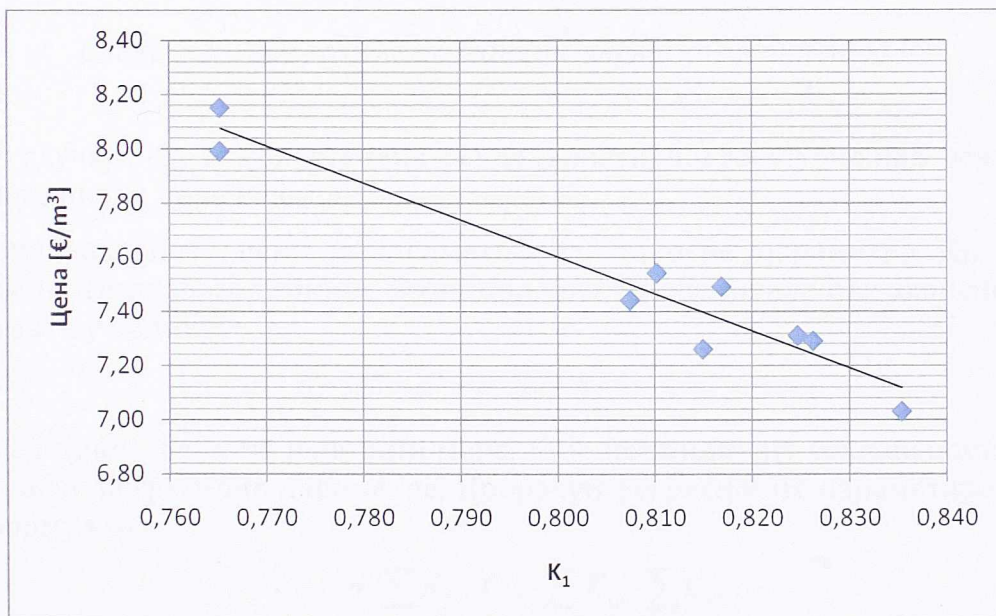
Коефицијент усклађености комбинације машина -  $K_1$ , састављену од  $n$  група машина, представља аритметичку средину индекса усклађености:



$$K_1 = \frac{\sum p_i}{n}, i = 1 \div n$$

У идеалном случају, када би све групе машина имале исти учинак, коефицијент усклађености  $K_1$  био би једнак јединици. У реалним случајевима,  $K_1$  је увек мањи од јединице. Међутим, величина овог коефицијента је добар показатељ не само усклађености учинка група машина, већ и близине оптималног решења. Са повећањем коефицијента усклађености, долази се до нижих цена позиције рада по јединици мере (слика 5.1).

Коефицијент  $K_1$  описује општу усклађеност група машина са кључном групом машина. На слици 5.1 приказан је пад вредности цене по јединици мере са повећањем коефицијента усклађености  $K_1$  за случајно изабране комбинације машина из примера. Уочљива је скоро линеарна веза између цене позиције и коефицијента  $K_1$ .



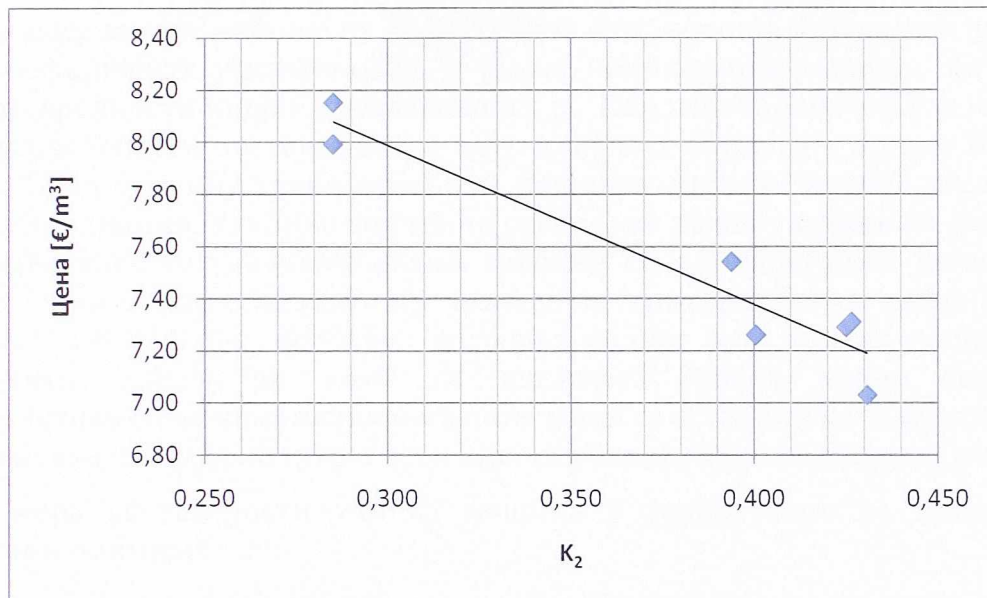
Слика 5.1 - Однос цене по јединици мере и коефицијента  $K_1$

Други параметар који може да нам на основу једне комбинације укаже на повољност, односно неповољност комбинације, јесте степен усклађености комбинације –  $K_2$ , (Слика 5.2) који представља производ индекса усклађености једне комбинације:

$$K_2 = \prod p_i, i = 1 \div n$$

Степен усклађености  $K_2$  је мера индивидуалног одступања појединих група машина у једној комбинацији. Уколико су све групе машина приближно једнако усклађене, овај коефицијент ће бити ближи јединици. Уколико постоји бар једна група машина која има практични учинак који значајније одступа од практичног учинка кључне групе машина, степен усклађености знатно пада.





Слика 5.2 - Однос цене по јединици мере и коефицијента  $K_2$

Као и у случају  $K_1$ , и код степена усклађености постоји уочљива веза између висине јединичне цене позиције и величине  $K_2$ .

Међусобна зависност цене и параметра  $K_1$ , односно параметра  $K_2$ , може се апроксимирати правом линијом. Функција која би описивала ову зависност може се приказати у облику:

$$C = a \cdot K_1 + b$$

Где  $C$  представља цену по јединици мере,  $K_1$  је коефицијент усклађености, а  $a$  и  $b$  представљају регресионе параметре. Прорачун регресионих параметара врши се према формулама:

$$a = \frac{n \cdot \sum_i K_{1,i} \cdot C_i - \sum_i K_{1,i} \cdot \sum_i C_i}{n \cdot \sum_i K_{1,i}^2 - \left( \sum_i K_{1,i} \right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_i C_i - a \cdot \sum_i K_{1,i}}{n}$$

Уколико би се вредност цене по јединици мере посматрала као функција коефицијента усклађености  $K_1$ , могла би се утврдити њена минимална вредност према

$$\min C = a \cdot 1 + b$$

Ова, минимална, цена била би оријентациона (гранична) вредност којој се може тежити у таквој комбинацији типова машина. Често се та цена не може постићи ни у једној комбинацији расположивих машина и до приближавања овој цени морају се извршити замене појединих машина.



У том процесу замене машина из посматраних комбинација огледа се и практични значај коефицијента усклађености. У једној комбинацији машина, потребно је сагледати вредности индекса усклађености  $p_i$ . Код типова машина где је најмањи индекс усклађености постоји знатна неусклађеност учинака у односу на кључну машину. Такву машину треба заменити машином чији би индекс усклађености био ближи јединици. Уколико фирма не располаже таквом машином, потребно је размотрити варијанту изнајмљивања машине са одговарајућим учинком, или њену куповину путем лизинга (у складу са критеријумима дефинисаним у поглављу 4.2.4). Такође, прорачун коштања радног сата таквих машина треба прилагодити основу по коме се ангажују. Овакав начин побољшања карактеристика једне комбинације машине може се остварити под претпоставком да све машине имају приближно исти однос учинак/коштање радног сата.

Приказ мера усклађености учинка машина у групи може се приказати на конкретном примеру:

На позицији ископа земљаног материјала III и IV категорије са утоваром и одвозом на депонију удаљену бкм, укупне количине  $1.454.499\text{m}^3$ , анализиран је случај да се ископ ради на 4 места (4 деонице), да на сваком нападном месту могу радити 2 машине за ископ, те да је укупни практични учинак на ископу  $U_p=104\text{m}^3/\text{h}$ . Анализирано је десет комбинација, и за сваку комбинацију, срачуната је цена по јединици мере, индекс усклађености  $p_i$ , коефицијент усклађености  $K_1$  и степен усклађености  $K_2$ . Резултати прорачуна за једну комбинацију (1.1) дати су у табели 5.1.

No	Машина	$U_p$ [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	n kom	$n*U_p$ [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	$p_i$	$K_h$ [€/h]	$n*K_h$ [€/h]	C [€/m <sup>3</sup> ]
1.1	Ex01	43,13	1	104,27	1,00	39,35	39,35	7,03
	Ex02	61,14	1			50,60	50,60	
	Tr02	14,50	3	108,52	0,96	70,04	210,11	
	Tr03	16,25	4			78,44	313,78	
	Gr01	199,55	1	199,55	0,52	40,02	40,02	
	Ro01	121,52	1	121,52	0,86	78,66	78,66	

$$K_1 = 0,835$$

$$K_2 = 0,431$$

Табела 5.1 – Приказ резултата прорачуна једне комбинације

У табели 5.1 приказано је да на ископу раде два различита модела багера (Ex01 и Ex02), са укупним учинком од  $104,27\text{m}^3/\text{h}$ , на транспорту су ангажована 3 камиона Tr02 и 4 камиона Tr03 са укупним учинком од  $108,52\text{m}^3/\text{h}$ . На разастирању је ангажован један грејдер Gr01, док је на збијању ангажован један ваљак Ro01.



За сваку операцију срачунат је коефицијент усклађености  $r_i$ . За кључну операцију (багер) индекс усклађености  $r_i$  једнак је јединици, док је за остале операције индекс усклађености мањи од јединице.

За посматрану комбинацију машина, коефицијент усклађености  $K_1$  је 0,835 док степен усклађености  $K_2$  износи 0,431.

Рекапитулација резултата прорачуна за свих десет комбинација приказана је у табели 5.2. За сваку комбинацију приказани су коефицијент усклађености  $K_1$  и степен усклађености  $K_2$ .

Варијанта	$K_1$	$K_2$	$C$ [€/m <sup>3</sup> ]
1.1	0,835	0,431	7,03
1.2	0,810	0,394	7,540
1.3	0,765	0,285	7,99
1.4	0,765	0,285	8,15
1.5	0,826	0,425	7,29
1.6	0,815	0,401	7,26
1.7	0,825	0,427	7,31
1.8	0,807	0,389	7,44
1.9	0,817	0,405	7,49
1.10	0,808	0,390	7,85

Табела 5.2 – Рекапитулација резултата прорачуна 10 комбинација избора машина

На основу приказаних резултата, може се линеарном регресијом добити једначина праве са минималним квадратним одступањем, према претходно наведеним формулама. На основу прорачуна, добија се следећа једначина праве, приказане на слици 5.1 :

$$C = 18.5284 - 13,6277 * K_1$$

Уколико би постојала идеална усклађеност учинака између група машина у једној комбинацији, коефицијент усклађености  $K_1$  био би једнак јединици, те би се, на основу регресионе праве, могла очекивати (минимална) цена од 4,91 €/m<sup>3</sup>. Предуслов за ово је да цена рада машина одговара учинку те машине, те да се са смањењем практичног учинка машина смањује и цена њиховог рада.

Из једне посматране комбинације машина треба уклонити оне машине које по учинку значајније одударају од кључне машине, односно чији је индекс усклађености  $r_i$  мали. У приказаном примеру, наведеном у табели 5.1, на пример, треба, пре свега, грејдер Gr01 заменити мањим, обзиром да је његов индекс усклађености веома мали (износи свега 0,52) односно да по учинку значајно одступа од кључне машине. Замена машине може се остварити куповином нове машине, рентирањем или лизингом.



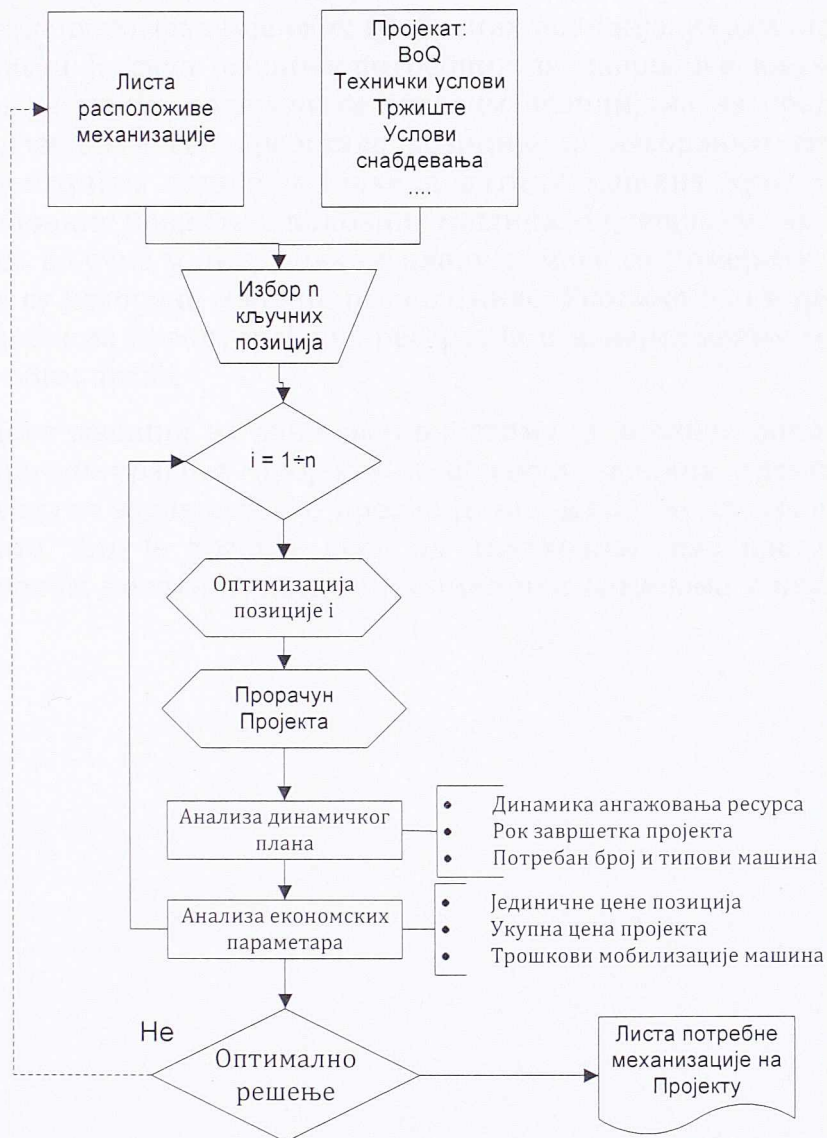
### **5.3 Оптимизација избора машина на нивоу пројекта**

Оптимизација избора машина на нивоу целокупног пројекта је проблем који временски следи након оптимизације машина на нивоу једне позиције. Док је на нивоу позиције за избор машина најчешће присутно мање ограничења, за избор машина на нивоу пројекта услови ограничења су бројни и често међусобно контрадикторни. У даљем тексту биће приказан само предлог начелног алгоритма решавања овог проблема, приказан на слици 5.3.

Приликом оптимизовања избора машина на нивоу једне позиције, кључни критеријуми оптимизације су цена по јединици мере, профит по јединици мере и/или могући оствариви учинак. Када се оптимизује избор машина на нивоу пројекта, критеријуми могу бити рок завршетка Пројекта, укупни трошкови пројекта, укупни оствариви профит на пројекту или неки други критеријум или комбинација наведених критеријума. Међутим, сагледавање трошкова и трајања на нивоу Пројекта захтева детаљанију анализу свих расположивих ресурса (не само грађевинске механизације), сагледавање динамичког плана, обрачун индиректних трошкова и све остале трошкове и утицаје који могу да утичу на рок и цену Пројекта.

Основа за избор машина чини машински парк фирме, машине које се могу изнајмити или узети на лизинг на тржишту, као и машине које се могу купити на предметном тржишту. Са друге стране, неопходно је детаљно познавање предмера радова, техничких услова извођења радова, услова снабдевања, услова рада на градилишту и све друге техничке предуслове извођења радова. Такође, битно је имати и неки (уговорни или оквирни) динамички план одвијања радова.





Слика 5.3 - Алгоритам оптимизације избора машина на нивоу Пројекта

Да би се поступак избора машина применио, неопходно је дефинисати кључне позиције на пројекту. Приликом избора ових позиција може се применити Парето расподела, односно изабрати 20% позиција које чине 80% трошкова на пројекту. На инфраструктурним радовима овај однос се може кретати и до 10% - 90%. Изабране позиције морају имати највећи утицај на укупну цену пројекта.

За изабране позиције врши се оптимизација избора машина. При томе, редослед позиција за које се врши оптимизација избора машина одговара њиховом учешћу у укупној цени пројекта. Када се изврши избор машина за прву позицију, анализира се динамички план и ангажовање машина (ресурса) током времена. Исти поступак се понавља за све позиције, с тим да је у сваком следећем кораку расположиви скуп машина мањи за машине додељене претходно анализираним позицијама. Након сваке позиције анализира се динамички план пројекта и расположивост ресурса.



Након завршетка оптимизације свих изабраних позиција, уз анализу динамичког плана, дефинисан је скуп машина потребних за извршење кључних позиција. Овако изабране машине додељују се осталим позицијама на пројекту. Уколико није могуће извршити све преостале позиције са изабраним скупом машина, могуће је размотрити опције набавке додатних машина кроз изнајмљивање, лизинг или куповину нових или половних машина. Најчешће су ове позиције мање по обиму, нису кључне у динамичком плану и могу се померити у времену, до тренутка када су изабране машине расположиве. Уколико ово није могуће, једно од решења проблема преоптерећења ресурса је и изнајмљивање машине јер је у питању мањи обим посла.

Након расподеле машина на свим активностима, и анализе динамичког плана, врши се прорачун трајања пројекта и обрачун укупних трошкова, Уколико добијени резултати задовољавају, процес је завршен. Ако су трошкови већи од буџета пројекта, или је трајање веће од планираног, цео поступак је могуће поновити са новим почетним скупом машина или изменама у некој од кључних позиција.



---

## **6 Модел информационог система за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације**

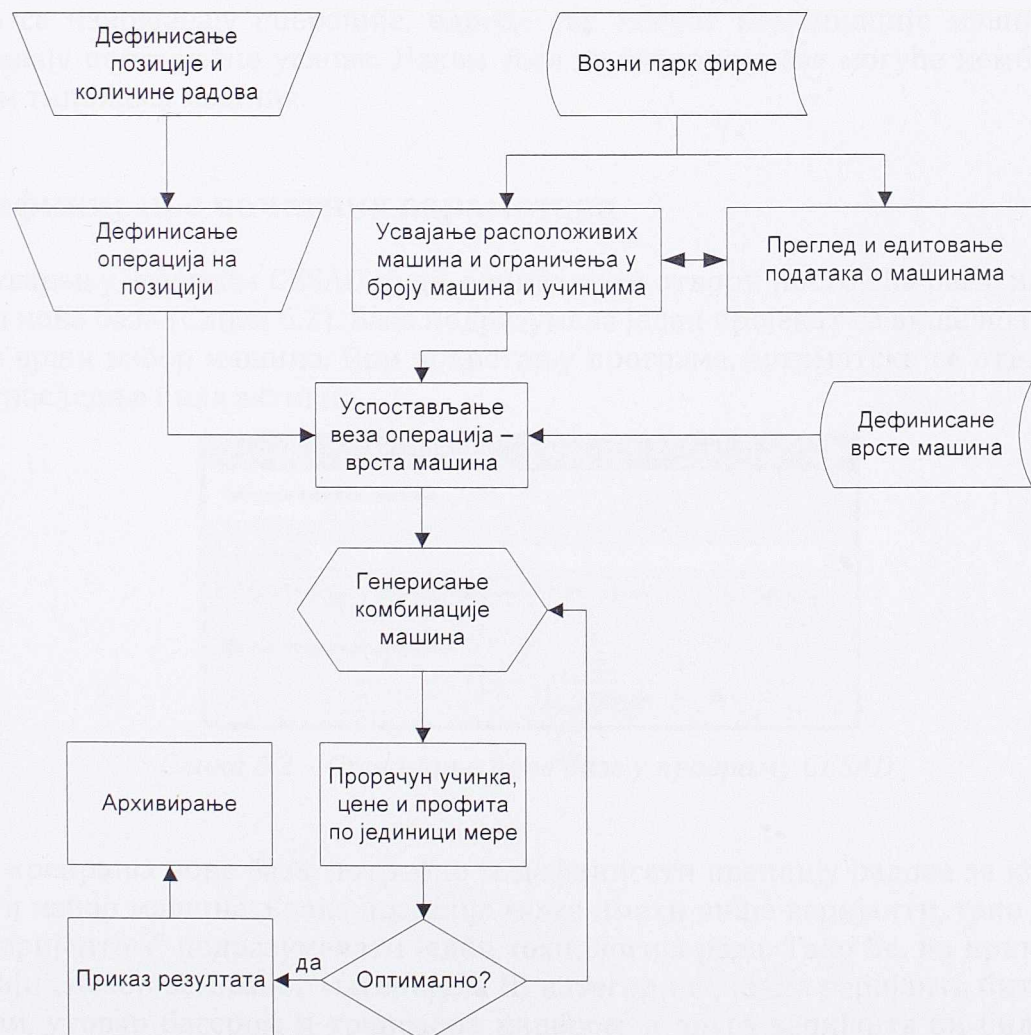
---

*На основу описаног новог модела избора машина, као и дефинисаних критеријума оптималности, креиран је информациони систем за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације CESAD (Construction Equipment Selection ADviser). У овом поглављу дат је принцип рада програма, начин тумачења добијених резултата и њихово коришћење у даљем процесу оптимизације избора.*



## 6.1 Принцип рада програма CESAD

За потребе оптимизације избора грађевинских машина, креиран је информациони систем за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације под називом **CESAD** (*Construction Equipment Selection ADviser*). Основна намена програма је избор оптималних комбинација машина за поједине позиције рада, у складу са задатим критеријумом оптималности. По својој природи, овакав рачунарски програм припада групи система за подршку у одлучивању (*Decision Support System - DSS*), обзиром да су резултати добијени програмом основа за одлучивање у процесу планирања рада грађевинских машина. Такође, програм **CESAD** је и експертни систем, с обзиром да се њиме симулира знање експерата у процесу доношења одлука. Шема рада програма приказана је на слици 6.1.



Слика 6.1 - Алгоритам рада програма CESAD



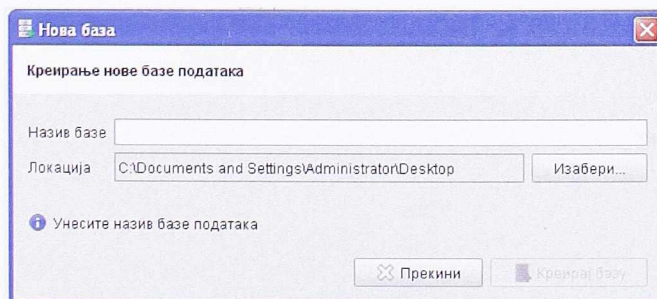
Програм је написан у програмском језику Java. Графички кориснички интерфејс је реализован помоћу Swing компонената. Сва подешавања програма се чувају у директоријуму "Documents and Settings\<Име корисника>\CESAD". За чување података се користи уграђена (embedded) база података H2 (<http://www.h2database.com>). За рад са Excel табелама користи се библиотека Apache POI (<http://poi.apache.org>).

Типови машина се чувају у посебном XML фајлу "equipment.xml", који се налази унутар сваког директоријума са базом података. Приликом креирања нове базе података, овај фајл се копира из директоријума са подешавањима. Могуће је ручно мењање ових фајлова, да би се додали нови типови машина. Идентификациони бројеви типова машина се генеришу из постојећих категорија на следећи начин: Први број се множи са 10000, а други са 100, па се ови производи сабирају са трећим ("1.5.2" => "10502").

Алгоритам генерисања комбинација је једноставан: прво се за сваки тип машине којима се извршавају операције, одреде све могуће комбинације машина, које испуњавају постављене услове. Након тога се генеришу све могуће комбинације по свим типовима машина.

## 6.2 Дефинисање почетних параметара

При отварању, програм CESAD нуди опцију да се отвори постојећа база, или да се креира нова база (Слика 6.2). База подразумева један пројекат са више позиција за које се врши избор машина. При покретању програма, аутоматски се отвара база која је последња била активна.

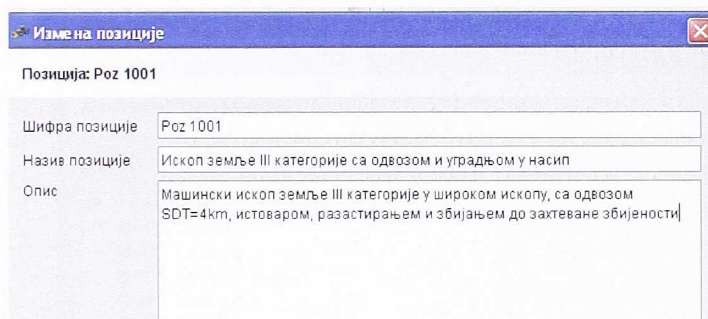


Слика 6.2 – Отварање нове базе у програму CESAD

Након креирања нове базе, потребно је дефинисати позицију радова за коју ће се вршити избор машина. Свака позиција може имати више варијанти, тако да ће се под „варијантом“ подразумевати једна технологија рада. Тако ће, на пример, при позицији „Ископ земљаног материјала III категорије“, једна варијанта бити ископ багером, утовар багером и транспорт кипером, а друга варијанта би била ископ дозером, утовар утоваривачем и транспорт кипером. Избор оптималне комбинације врши се на нивоу једне варијанте, по једном од критеријума, а поређење између варијанти могуће је само индиректно.



Свака позиција дефинисана је својом шифром, која се аутоматски генерише, називом позиције и описом позиције (Слика 6.3 ). Опис позиције садржи детаљније образложење свих технолошких поступака које треба спровести у посматраној позицији.



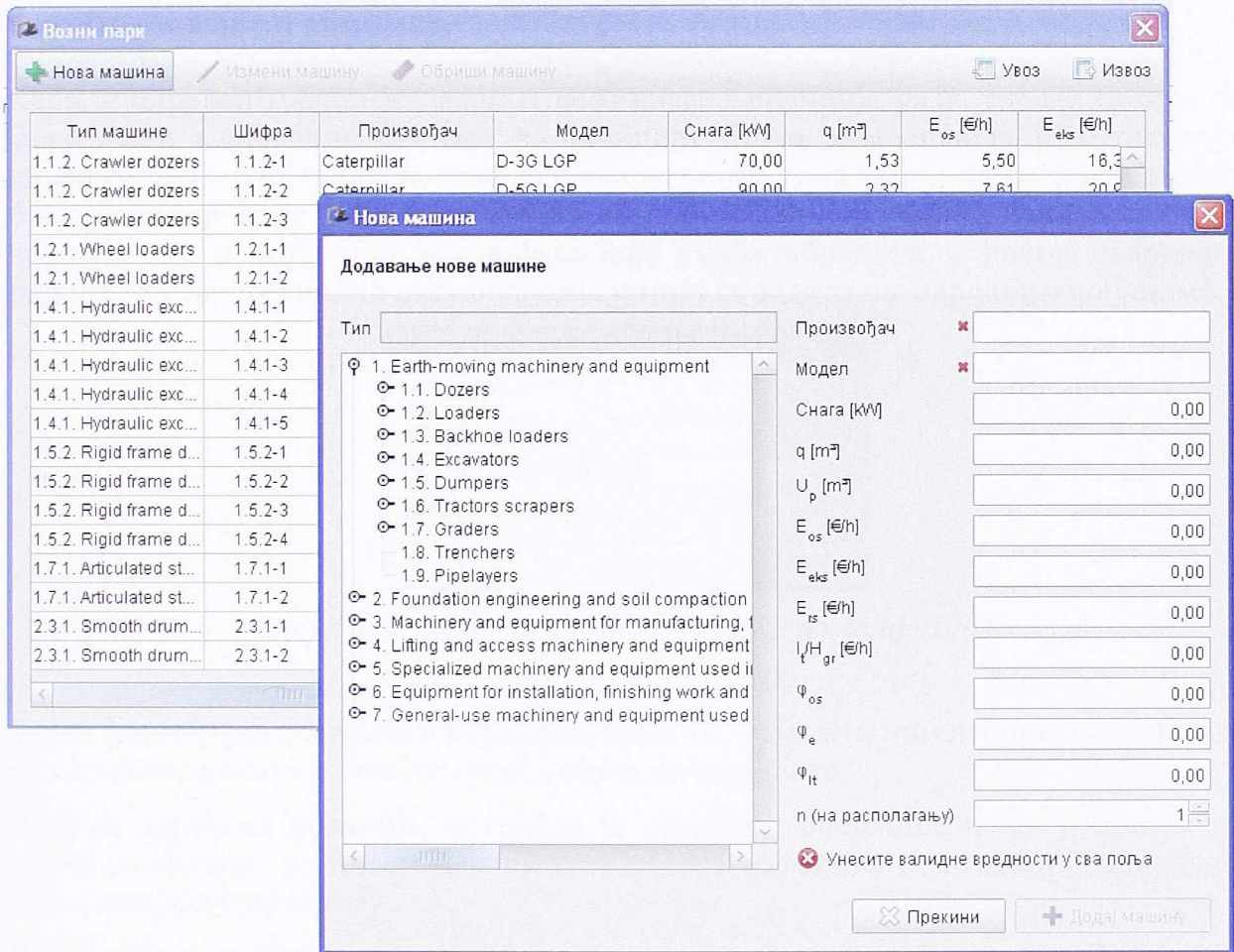
Измена позиције	
Позиција:	Poz 1001
Шифра позиције	Poz 1001
Назив позиције	Ископ земље III категорије са одвозом и уградњом у насип
Опис	Машински ископ земље III категорије у широком ископу, са одвозом SDT=4km, истоваром, разастирањем и збијањем до захтеване збијености

Слика 6.3- Дефинисање позиције у програму CESAD

### 6.3 Одређивање машинског парка

Поред дефинисања позиције рада, друга полазна тачка избора машина представља расположиви машински парк, из кога се бирају машине. Свака машина је описана, пре свега, својим типом. Груписање машина извршено је на основу ISO/TR 12603:1996 *Building construction machinery and equipment – Classification* издатим од International Organization for Standardization (ISO).





Слика 6.4 - Дефинисање машине у програму CESAD

Машине су подељене у 7 основних група и већи број подгрупа. Поред групе, свака машина је дефинисана својим произвођачем, моделом, снагом [kW], запремином радног органа - q, очекиваним практичним учинком - U<sub>p</sub>, трошковима основног средства - E<sub>os</sub>, трошковима експлоатације - E<sub>eks</sub> и трошковима радне снаге - E<sub>rs</sub>, као и очекиваним односом једнократних трошкова и фонда радних сати на градилишту - I<sub>t</sub>/h<sub>gr</sub>. У складу са описаном технологијом прорачуна коштања радног сата, дефинише се посебни фактор режијских трошкова за трошкове основног средства - φ<sub>os</sub>, односно за трошкове експлоатације- φ<sub>eks</sub> и једнократне трошкове - φ<sub>lt</sub>. На крају, за машину се дефинише и број расположивих машина исте врсте - n.

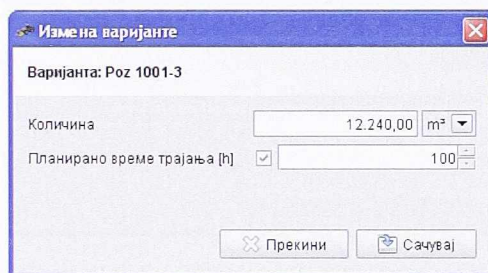
Када је машина једном дефинисана, приказиваће се у листи машина. Поред података који се уносе при њеном дефинисању, у листи машина појављују се и подаци о коштању радног сата машине - K<sub>h</sub>, коштању радног сата на чекању - K<sub>h,stby</sub>, оствареном профиту по часу - P<sub>h</sub> и оствареном профиту на чекању - P<sub>h,stby</sub>.

Програм омогућава да се подаци о расположивим машинама (машински парк) увезу, односно извезу, у виду Excel табеле.



## 6.4 Шири избор машина

Када је одређен машински парк и дефинисана позиција рада, следећи корак је формирати варијантно решење за позицију. Свака варијанта се идентификује шифром која се генерише на основу броја позиције рада за коју се креира и редног броја позиције (нпр 1003-4 је четврта варијанта позиције 1003). Карактеристика варијанте је и количина материјала који треба обрадити и време извршења радова. Ове две величине нису обавезне и могу се задати и у наредним корацима.



Слика 6.5 - дефинисање варијанте 3 позиције 1001

Свака формирана позиција и варијанта може се изменити или избрисати, исто као што се може додати и нова позиција, односно варијанта.

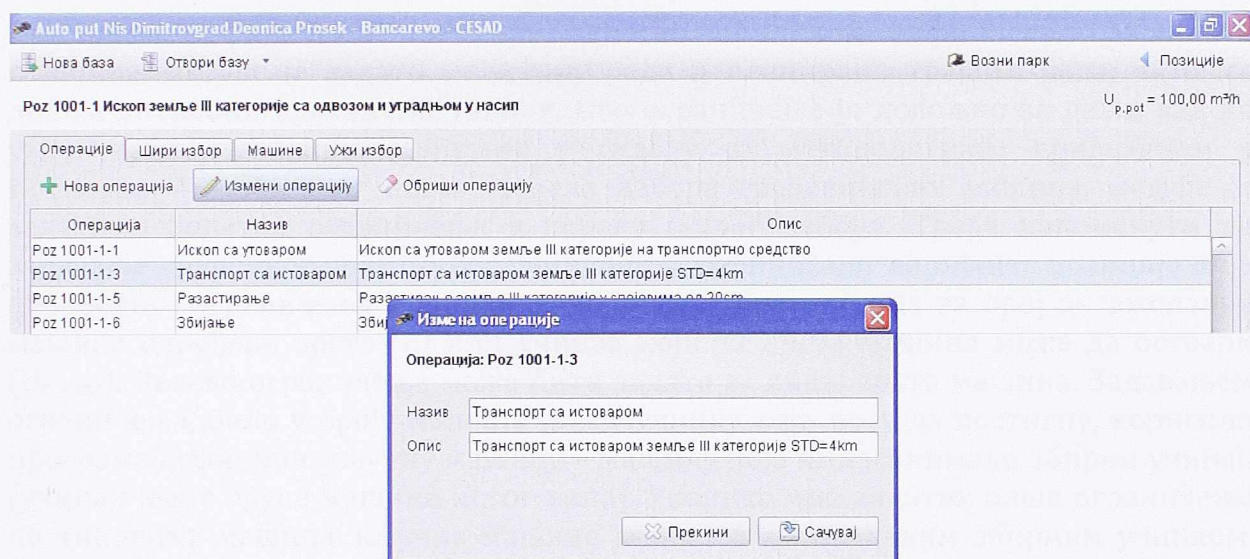
Када је одређена позиција, потребно је креирати операције на њој кликом на дугме „операције“ у горњем, десном углу екрана. Одређивањем позиције, завршава се уводни рад у програму

Са почетком креирања операција, отвара се прозор са више картица (Операције, Шири избор, Машине, Ужи избор) приказан на слици 6.5. Свакој позицији могуће је доделити практично неограничени број операција. При томе, свака операција има једнозначну шифру, формирану од броја позиције, варијанте и редног броја операције. Операција има назив (краћи текст) и опис (детаљнији опис рада). Операције се могу креирати, изменити или обрисати кликом на један од тастера. За успешно дефинисање операција, потребно је технолошко познавање позиције рада, обзиром да се грешке у овој фази, грешке у постављању технолошких поступака на позицији, неће моћи касније исправити.

У горњем десном углу екрана, приказује се податак о потребном практичном учинку комбинације машина, уколико је при одређивању позиције задата количина рада и време извршења. Могуће је вратити се на дефинисање позиције кликом на тастер „Позиције“ или погледати (или изменити) машински парк кликом на тастер „Машине“. При дефинисању операција, треба имати на уму да једна машина може обављати више операција, односно да није потребна једнозначна веза операција : машина.



## Модел информационог система за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације

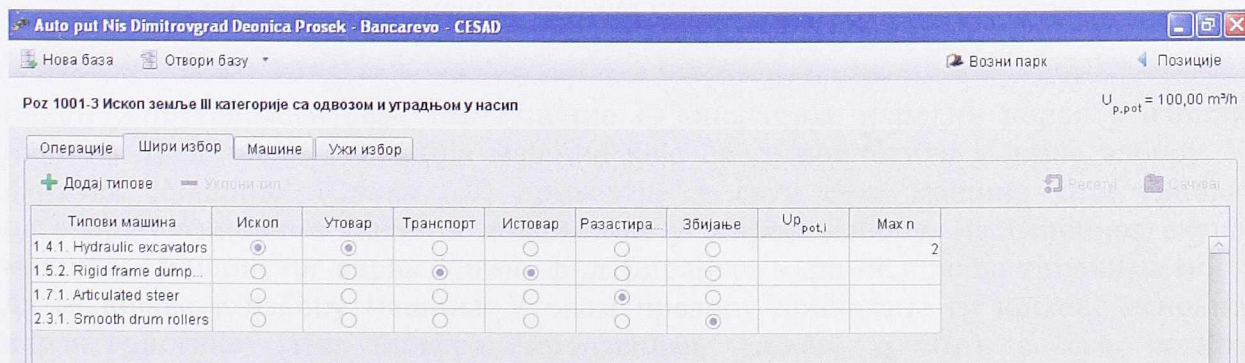


Слика 6.6 – Креирање операција

Након дефинисања операција потребних за извршење поједине позиције, следи шири избор машина. Концепција програма је таква да се под варијантом позиције подразумева једна од могућих технологија рада. То значи, практично, да се у ширем избору дефинише који **тип машина** ће бити ангажован на појединим позицијама.

Шири избор се састоји у процесу доделе типова машина, а затим у додељивању сваком типу машина појединих операција. При томе, један тип машина може бити ангажован на више операција. Такође, на једној операцији може бити ангажован један или више типова машина. (Слика 6.6).

Приликом додавања типа машина, програм нуди оне типове машина који су на располагању у машинском парку фирме. Типови машина груписани су у складу са ISO/TR 12603:1996 *Building construction machinery and equipment – Classification* издатим од *International Organization for Standardization (ISO)*.



Слика 6.7 – Шири избор машина



Приликом дефинисања позиције, односно приликом дефинисања варијанте позиције, могуће је задати количину рада и планирано трајање рада, чиме се добија потребни практични учинак. Ово ограничење је довољно за даљи рад на ужем избору машина. Међутим, у складу са методологијом приказаном у Поглављу 4 – Предлог новог модела избора грађевинских машина, могуће је задати и додатна ограничења у кораку ширег избора. Треба напоменути да задавање потребног практичног учинка при дефинисању варијанте позиције није неопходно. Ограничења у ширем избору могу бити везана за број ангажованих машина одређене врсте ( $n$ ) или учинак који та врста машина може да оствари ( $U_{p,pot,i}$ ). Овакво ограничење може бити задато за више врста машина. Задавањем ограничења, било у броју машина или у учинку које могу да постигну, корисник програма дефинише кључну машину – машину која има минимални збирни учинак (учинак једне групе машина истог типа). Уколико има задатих више ограничења по типовима машина, кључна машина је она са минималним збирним учинком. Значи, могуће је задати или ограничење у учинку на нивоу целе позиције (варијанте), или ограничење у броју машина одређене врсте или остваривом учинку машина одређеног типа, за једну или више типова машина.

Тип машине	Шифра	Произвођач	Модел	q [m <sup>3</sup> ]	U <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Учествује	n (на располагању)	N (≤ n)
1.4.1. Hydraulic excavators	1.4.1-1	Caterpillar	312-C I	0,52	43,13	<input checked="" type="checkbox"/>	5	3
1.4.1. Hydraulic excavators	1.4.1-2	Komatsu	PC 160LC-7	0,86	61,14	<input checked="" type="checkbox"/>	3	
1.4.1. Hydraulic excavators	1.4.1-3	Caterpillar	318CL	0,76	56,73	<input checked="" type="checkbox"/>	2	
1.4.1. Hydraulic excavators	1.4.1-4	Caterpillar	320C	1,15	85,85	<input checked="" type="checkbox"/>	2	
1.4.1. Hydraulic excavators	1.4.1-5	Kobelco	SK250 LC	1,15	85,40	<input checked="" type="checkbox"/>	3	
1.5.2. Rigid frame dumpers	1.5.2-1	Komatsu	KM350-1	17,20	17,55	<input checked="" type="checkbox"/>	15	
1.5.2. Rigid frame dumpers	1.5.2-2	Volvo	A-25D	12,23	14,50	<input checked="" type="checkbox"/>	14	
1.5.2. Rigid frame dumpers	1.5.2-3	Volvo	A-30D	14,91	16,25	<input checked="" type="checkbox"/>	14	
1.5.2. Rigid frame dumpers	1.5.2-4	Volvo	A-35D	16,82	17,34	<input checked="" type="checkbox"/>	3	
1.7.1. Articulated steer	1.7.1-1	Caterpillar	815-F	0,00	199,55	<input checked="" type="checkbox"/>	2	
1.7.1. Articulated steer	1.7.1-2	Caterpillar	825-G II	0,00	270,55	<input checked="" type="checkbox"/>	2	
2.3.1. Smooth drum rollers	2.3.1-1	Caterpillar	D-3G LGP	0,00	66,18	<input checked="" type="checkbox"/>	3	
2.3.1. Smooth drum rollers	2.3.1-2	Caterpillar	825-G II	0,00	113,20	<input checked="" type="checkbox"/>	2	

Слика 6.8 – одређивање машина које учествују у ужем избору

Након успостављања везе тип машине ↔ операција, наредни корак у избору машина представља селекција машина које ће се користити у ужем избору. У картици „Машине“ (Слика 6.8) приказује се скуп свих машина чији типови одговарају типовима машина додељеним у ширем избору. Из основног скупа машина – машинског парка фирме, филтрирају се машине које по типовима могу да се појаве у избору машина. У овом прозору приказане су њихове основне карактеристике (тип, шифра, произвођач, модел,  $q$ ,  $U_p$ ) а све остале карактеристике могу се видети и мењати у бази машина до које се долази кликом на тастер „Машински парк“ у горњем, десном углу прозора.

Основни задатак у овом кораку је одређивање да ли поједина машина може да учествује у ужем избору иако по типу одговара (рецимо, да ли задовољава



технолошке предуслове по габариту, ходном склопу, погонском гориву, снази, учинку и сл.), увид у бројно стање машина ( $n$  – на располагању), и избор броја машина које ће се користити у ужем избору ( $N$ ). Одређена машина се прихвата селектовањем у checkbox-у. Унапред је додељена вредност да све машине изабраних типова могу да се користе у ужем избору. Вредност  $n$  представља број машина које фирма има на располагању у свом машинском парку. Потребно је уписати број  $N$  машина које се узимају од  $n$  понуђених. Унапред је додељено да се све понуђене машине прихватају, тако да се, практично, уносе само оне вредности  $N$  где се не узимају све понуђене машине, односно, где је  $N < n$ .

## 6.5 Ужи избор машина

Након корака одређивања машина које ће учествовати у ужем избору, сва ограничења, по учинку и машинама, су постављена. За дефинитивни избор машина, потребно је направити све комбинације расположивих машина у захтеваним операцијама, за сваку комбинацију срачунати карактеристичне параметре и изабрати оптималну комбинацију.

Ужи избор се извршава кликом на истоимену картицу (Слика 8).

Операције	Шири избор	Машине	Ужи избор						
Макс. раз. типова машина	3	Прикажи	5						
Сортирање	по профиту	Извоз	6318						
	C [€/m <sup>3</sup> ]	E [€/m <sup>3</sup> ]	U <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /h]	n	n · U <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /h]	K <sub>h</sub> [€/h]	K <sub>h, stdby</sub> [€/h]	ρ <sub>i</sub>	K <sub>h, ef</sub> [€/h]
Комбинација	5266	9,25	2,13	104,27				0,74	
Комбинација	5267	9,24	2,13	105,30				0,71	
Комбинација	5275	9,22	2,12	105,30				0,67	
Комбинација	5278	9,21	2,12	105,30				0,65	
Комбинација	1054	9,19	2,12	104,27				0,79	

Слика 6.9 – Ужи избор машина

У складу са описаном методологијом ужег избора машина, програм CESAD прорачунава све могуће комбинације, у складу са расположивим машинама, ограничењима и задатим технолошким условима. При томе, не губећи драстично на квалитету добијених резултата, али са значајним смањењем броја комбинација и убрзавањем прорачуна, ограничава се број различитих типова машина исте врсте које је могуће ангажовати на једној позицији (у примеру на слици 6.9 број машина различитих типова ограничен је на 3). Број комбинација приказује се у десном делу прозора (у примеру на слици, са 4 операције и ограничења броја машина у првој операцији на две и бројем различитих типова машина на 3, број комбинација је 6318). Критеријуми по коме се бирају најбоље комбинације су:

- минимална цена по јединици мере -  $C$  [€/m<sup>3</sup>],
- максимални профит по јединици мере -  $E$  [€/m<sup>3</sup>],
- максимални оствариви учинак -  $U_p$  [m<sup>3</sup>/h]



# Модел информационог система за подршку планирању ангажовања грађевинске механизације

Операције	Шири избор	Машине	Ужи избор	Макс. раз. типова машина	Прикажи	Сортирање	Извоз	6318		
		C [€/m <sup>3</sup> ]	E [€/m <sup>3</sup> ]	U <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /h]	n	n U <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /h]	K <sub>h</sub> [€/h]	K <sub>h,stab</sub> [€/h]	p <sub>i</sub>	K <sub>h,ef</sub> [€/h]
☐ Комбинација		5266	9,25	2,13	104,27				0,74	
☐ Ископ / Утовар					2	104,27			1,00	
Caterpillar 312-...	1.4.1-1			43,13	1		39,36	20,03		39,36
Komatsu PC 16...	1.4.1-2			61,14	1		50,21	24,23		50,21
☐ Транспорт / Истовар					6	105,30			0,99	
Komatsu KM35...	1.5.2-1			17,55	6		112,10	43,17		111,42
☐ Разастирање					1	270,55			0,39	
Caterpillar 825-...	1.7.1-2			270,55	1		96,14	41,60		62,62
☐ Збијање					2	179,38			0,58	
Caterpillar D-3G...	2.3.1-1			66,18	1		78,66	31,98		59,11
Caterpillar 825-...	2.3.1-2			113,20	1		112,66	45,50		84,54
☐ Комбинација		5267	9,24	2,13	105,30				0,71	
☐ Ископ / Утовар					2	122,28			0,86	
Komatsu PC 16...	1.4.1-2			61,14	2		50,21	24,23		46,61
☐ Транспорт / Истовар					6	105,30			1,00	
☐ Разастирање					1	270,55			0,39	
☐ Збијање					2	179,38			0,59	
☐ Комбинација		5275	9,22	2,12	105,30				0,67	
☐ Комбинација		5278	9,21	2,12	105,30				0,65	
☐ Комбинација		1054	9,19	2,12	104,27				0,79	

Слика 6.10 – Детаљни приказ комбинација ужег избора машина (део приказа)

При томе, могуће је изабрати колико најбољих комбинација по одређеном критеријуму ће се приказати (2, 3, 5, 10 или све комбинације). Избор критеријума према коме ће се приказивати комбинације врши се избором модела сортирања, обзиром да програм прорачунава све комбинације. Модел сортирања одређује према ком критеријуму оптималности ће се приказивати најбоље комбинације.

Свака од комбинација је одређена својим генерисаним бројем. У основном погледу на резултате прорачуна (приказаном на слици 6.10), видљив је само број комбинације, цена комбинације по јединици мере - C [€/m<sup>3</sup>], профит комбинације по јединици мере - E [€/m<sup>3</sup>], и учинак комбинције - U<sub>p</sub> [m<sup>3</sup>/h]. Поред тога, приказан је и Коефицијент усклађености P<sub>i</sub>, који представља средњу вредност индекса усклађености p<sub>i</sub> типова машина (природа и значај ових параметара описани су у поглављу 5.2.5).

Детаљни приказ појединачне комбинације могућ је кликом на знак испред ознаке „Комбинација“ (слика 6.10). При томе је могуће приказати податке на нивоу операције, или на нивоу ангажованих машина.

Овај приказ је најдетаљнији и садржи све релевантне податке о изабраним машинама и њиховим параметрима рада. Као такав, он је погодан за даље анализе, прорачуне и комбинације и може се извести у форми Excel табеле.



Прорачуном комбинација ужег избора долази се до најбољих могућих комбинација по критеријумима цене, учинка и профита, а у складу са свим задатим ограничењима. Из понуђених комбинација потребно је изабрати оптималну по једном или више критеријума. Међутим, уколико неки од параметара није задовољавајући, могуће је вратити се на дефинисање машинског парка, или услова ограчијења, њихову измену и нови прорачун. Архивирање података из постојећег прорачуна комбинација и резултате могуће је као архивирање једне од варијанти (нови прорачун се ради као нова варијанта) или кроз извоз података.

## 7 Избор оптималне комбинације машине на основу више критеријума

На основу одређеног избора машинског парка и одређених критеријума изабрана је оптимална комбинација машинског парка. У овом случају изабрана је комбинација машинског парка која је најбоља по свим критеријумима. У овом случају изабрана је комбинација машинског парка која је најбоља по свим критеријумима.

Избор оптималне комбинације машинског парка је одређен на основу одређених критеријума. У овом случају изабрана је комбинација машинског парка која је најбоља по свим критеријумима. У овом случају изабрана је комбинација машинског парка која је најбоља по свим критеријумима.



---

## **7 Избор оптималне комбинације машине на основу више критеријума**

---

*На основу формираних комбинација машина, као и дефинисаних критеријума у овом поглављу дефинисан је модел за оптимизацију избора. Обзиром да оптимизација избора има изразити вишекритеријумски карактер, изабрана је метода Аналитичког хијерархијског процесирања – АХП.*

*Кључни проблем оптимизације је дефинисати начин за поређење алтернатива које могу бити, по природи података, веома различите. У овом поглављу дат је математички модел АХП методе, приказан је начин поређења алтернатива у складу са раније дефинисаним критеријумима. Модел оптимизације тестиран је на конкретном примеру са анализом осетљивости решења.*



## 7.1 Оптимизација система

Оптимизација (лат. – *Optimus*, најбољи) је процес побољшања неког постојећег решења и проналажења најбољег решења по неком критеријуму. Термин „најбољег“ решења имплицира да постижи више од једног решења и да решења нису једнаке вредности. Дефиниција најбољег решења зависи од проблема који се анализира, методе одлучивања и дозвољене тачности [Haupt Randy L et al, 2004.].



Слика 7.1 - Дијаграм функције или процеса који се оптимизују

Циљ оптимизације је избор најбоље варијанте из низа могућих варијанти, или из низа повољних варијанти, у смислу усвојеног критеријума [Оприцовић С. 1998.]. Критеријум дефинише квалитет управљања и представља меру за поређење приликом одабирања најбоље варијанте. При томе, критеријум се представља (циљном) функцијом, која за најбољу варијанту (решење) треба да достигне глобални екстремум, с обзиром на ограничења која представљају могућност постизања циља. Променама улазних параметара система, у складу са функцијама или процесима система, мењају се и добијене карактеристике постигнутог решења (Слика 7.1)



Слика 7.2 - Класификација оптимизација



Оптимизације се могу класификовати у 6 основних категорија (Слика 7.2). Ни једна од њих не одређује унапред остале категорије, тако да су у техници могуће све међусобне комбинације категорија.

Оптимизација преко покушаја и грешака карактерише системе код којих нема јасних сазнања о утицају улазних параметара на коначни резултат. Овакав приступ је веома чест код експерименталних испитивања. Насупрот овом приступу, код проблема који су добро математички структурирани, постоји прецизно дефинисана, математички формулисана, веза улазних параметара и излазног решења.

Уколико постоји само једна променљива, проблем је једнодимензионалан. Ако се може дефинисати више променљивих, проблем захтева вишедимензионалну оптимизацију. Поступак оптимизације се знатно усложњава са повећањем броја променљивих. Многи приступи вишедимензионалној оптимизацији креирани су као низ једнодимензионалних оптимизација.

Код динамичке оптимизације, проблем је у функцији времена, док код статичке оптимизације време није битан параметар.

Оптимизације се такође могу класификовати на оне са дискретним улазним променљивим и оне са континуалним променљивим. Дискретне променљиве имају коначни број могућих вредности, док континуалне променљиве имају неограничени број могућих вредности. Оптимизација дискретних променљивих позната је још и као оптимизација комбинаториком, обзиром да се оптимално решење садржи у ограниченом скупу комбинација.

Променљиве често могу имати ограничења. Оптимизације са ограничењима укључују различите једнакости и неједнакости које описују границе могућих решења, док код оптимизација без ограничења променљиве могу узимати било које вредности. Најчешће, оптимизације са ограничењима се, различитим трансформацијама, претварају у оптимизације без ограничења и, као такве, решавају.

Поједини алгоритми проблем оптимизације решавају полазећи од почетног скупа променљивих. Овакав метод често доводи до тога да се проналази само локални екстрем функције циља, али је знатна брзина решавања проблема. Ово су традиционални алгоритми и базирани су на моделима прорачуна. Други начин решавања је претраживање читавог скупа дозвољених решења, прелазећи са једног скупа решења на други скуп решења, у складу са неком од метода случајног одређивања решења. Овакве методе могу спорије дати резултат, али је често сигурније да се долази до глобалног екстремума функције.

Оптимизација избора грађевинских машина прида групи математичко формулисаних проблема, са више променљивих, статичких и дискретних променљивих, са ограничењима и базирана је на моделима прорачуна.

Циљ оптимизације је изабрати комбинацију машина која задовољава један или више критеријума, чији међусобни значај може да варира. При томе, постоји прецизно дефинисана, математички формулисана, функција циља за сваки од критеријума.



Критеријуми су (најчешће):

- цена производа по јединици мере,
- остварени профит по јединици мере и/или
- остварени учинак

У поступку оптимизације избора грађевинских машина, променљиве представљају машине у комбинацији машина чији број може да варира у зависности од ограничења (задати практични учинак, ограничен фронт рада, унапред мобилисана механизације и сл...). Претпоставка је да током времена, ни променљиве ни функције циља не мењају своје карактеристике<sup>3</sup>. Са друге стране, претпоставка да променљиве имају исте параметре рада у свим комбинацијама, ипак, исувише поједностављује проблем и далеко је од истине. Због тога се уводи прорачун учинака и коштања радног сата у складу са усклађеношћу са кључном машином. Променљиве имају дискретне вредности с обзиром да се ради о грађевинским машинама чији рад се може посматрати само у дискретним величинама. При проналажењу оптималних комбинација, потребно је постављањем више ограничења описати технолошке предуслове извођења радова. Ограничењима се могу знатно смањити број дозвољених решења и сузити скуп расположивих машина. При томе, ограничења могу да се односе на примену појединих машина, чиме се сужава скуп могућих решења, или да се односе на параметре рада (очекивани практични учинак и сл.).

Оптимизација избора грађевинских машина је по својој природи изразито вишекритеријумска. Критеријуми могу бити од испуњавања технолошких услова, до техно економских параметара. При избору машина, применом технолошких ограничења приликом избора машина (описаних у поглављу 4.1) могуће је донекле смањити број критеријума. Коначан избор машина базиран је на поређењу комбинација машина које дају најбоље техно – економске карактеристике: најбољу цену по јединици мере обрађеног материјала, максимални остварени профит по јединици мере и максимални учинак.

Применом одговарајућег предложеног рачунарског програма (CESAD) могуће је, из великог броја комбинација, добити оне које задовољавају све постављене технолошке критеријуме, а које имају најбоље поменуте техно економске параметре. У општем (и у пракси најчешћем случају) оне комбинације машина које су најбоље у једним параметрима, нису оптималне у свим другим параметрима. Из тог разлога, комбинције које имају највећи профит, на пример, дају мање учинке него остале комбинације и сл. Према томе, није могуће, у општем случају, применом технолошких ограничења, добити једну комбинацију која ће имати максимални учинак, минималну цену по јединици мере и максимални профит по јединици мере. Избор оптималне комбинације своди се на поступак избора оне групе машина која ће дати оптималну комбинацију параметара.

---

<sup>3</sup> Ова претпоставка се уводи ради поједностављења проблема. У случајевима када се врши оптимизација избора машина за транспорт у урбаним условима, или оптимизација путева снабдевања градилишта, време може имати велики утицај на избор решења. За транспорт у ноћним часовима или у поподневним часовима може се изабрати потпуно другачија траса, с обзиром да најкраћи пут, у оваквим, урбаним, условима, не значи и најбржи пут.



Проблем оптимизације избора грађевинских машина је проблем вишекритеријумске оптимизације. За коначни избор машина, у овом раду, прихваћена је метода АНР (Analytic Hierarchy Process – АНР), односно, у складу са српским језиком АХП метода (Аналитички Хијерархијски Процес).

## **7.2 Математички модел АХП методе**

Аналитички хијерархијски процес – АХП, је техника која се користи у области вишекритеријумског одлучивања. Заснована је на разлагању сложеног проблема у хијерархију, где се на врху налази циљ, док су критеријуми, подкритеријуми и алтернативе формиран на више хијерархијских нивоа. Доносилац одлуке врши поређење елемената у паровима на сваком хијерархијском нивоу у односу на елемент на вишем нивоу, коришћењем такозване Сатијеве скале. Крајњи резултат поређења су вектори релативног значаја (приоритета) критеријума и алтернатива у односу на циљ.

Централно место у вредновању елемената хијерархије по АХП методи имају матрице поређења добијене трансформације семантичких оцена доносиоца одлуке о међусобном значају елемената у нумеричке вредности. Тако се, у односу на сваки елемент хијерархије, из вишег нивоа формира по једна матрица поређења  $A$ , вредновањем елемената из посматраног нивоа хијерархије. Из сваке такве матрице треба извући вектор приоритета елемената који се може означити као  $W$ .

### **7.2.1 Математичка основа АХП методе**

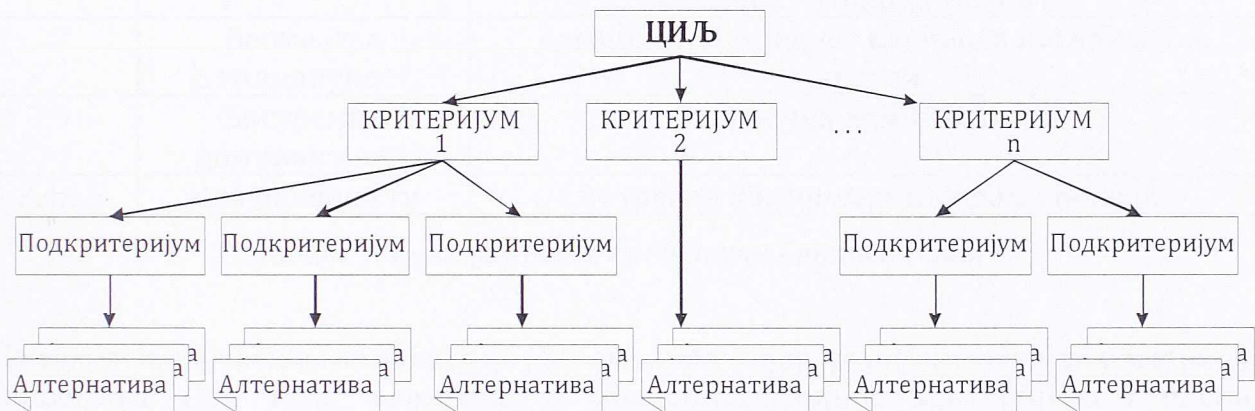
Математичку и идејну основу АХП методе дефинисао је Thomas Saaty [Saaty, 1980]. Ова метода спада у класу метода меке оптимизације. АХП је алат за формирање и анализу хијерархије одлучивања која се спроводи у четири корака:

1. Први корак је развијање хијерархијског модела проблема одлучивања са циљем на врху, критеријумима и подкритеријумима на нижим нивоима и алтернативама на дну хијерархије (формирање костура).
2. Након дефинисања хијерархије (костура), на сваком нивоу хијерархијске структуре у паровима се међусобно пореде елементи и структуре при чему се преференције доносиоца одлуке изражавају уз помоћ одговарајуће скале (Saaty-јева скала релативне важности) која има 5 степена и 4 међустепена вербално описаних интензитета и одговарајуће нумеричке вредности за њих у распону од 1 до 9 (табела 7.1).
3. На основу процена релативних важности елемената одговарајућег нивоа хијерархијске структуре проблема помоћу одговарајућег математичког модела прорачунавају се локални приоритети (тежине) критеријума, подкритеријума и алтернатива, који се даље групишу у укупне приоритете алтернатива
4. Коначни корак је спровођење анализе осетљивости решења.

Хијерархијски структуриран модел одлучивања, у општем случају, састоји се од циља, критеријума, неколико нивоа подкритеријума и алтернатива (Слика 7.3).



Циљ је на врху костура хијерархије и он се не пореди са другим елементима. На првом следећем нивоу налазе се критеријуми, који се у паровима, сваки са сваким, пореде у односу на непосредно надређени елемент на вишем нивоу. Број поређења износи  $n*(n-1)/2$ . Исти поступак се понавља на свим хијерархијским нивоима, све до последњег (најнижег) нивоа (к-тог нивоа).



Слика 7.3 – Општи хијерархијски модел АХП

У радовима (Saaty, 1986; Arphonse, 1997; Harker и Vargas, 1987) постављени су аксиоми на којима се АХП заснива:

- *Аксиом реципрочности* – ако је елемент А  $n$  пута значајнији од елемента В, тада је елемент В  $1/n$  пута значајнији од елемента А
- *Аксиом хомогености* – поређење има смисла једино ако су елементи упоредиви – нпр не може се поредити тежина комарца и тежина слона
- *Аксиом зависности* – дозвољава се поређење међу групом елемената једног нивоа у односу на елемент вишег нивоа, тј. поређења на нижем нивоу зависе од елемената вишег нивоа.
- *Аксиом очекивања* – свака промена у структури хијерархије захтева поново рачунање приоритета у новој хијерархији.

Поређење два елемента хијерархије врши се коришћењем Сатијеве скале :

$$S = \left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \frac{1}{6}, \frac{1}{5}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \right\}$$



Значај	Дефиниција	Објашњење
1	Истог значаја	Два елемента су истог значаја у односу на циљ
3	Слаба доминантност	Искуство или расуђивање незнатно фаворизују један елемент у односу на други
5	Јака доминантност	Искуство или расуђивање знатно фаворизују један елемент у односу на други
7	Веома јака доминантност	Доминантност једног елемента потврђена у пракси
9	Екстремна доминантност	Екстремна доминантност
2,4,6,8	Међувредности	Потребан компромис или даља подела

Табела 7.1 – Објашњење вредности Сатијеве скале

Резултати поређења елемената на једном нивоу хијерархије смештају се у матрице поређења. При томе, елемент  $a_{ij}$  представља однос критеријума  $i$  према критеријуму  $j$ . Уколико има  $n$  критеријума, матрица поређења је димензија  $n \times n$ . Да би се очувала конзистентност расуђивања, елементи  $a_{ji}$  имају реципрочну вредност одговарајућих елемената  $a_{ij}$  а елементи на дијагонали матрице једнаки су 1.

У "савршеном свету", који одговара идеално конзистентном вредновању, матрица поређења **A**, добила би се из односа релативних тежинских коефицијената критеријума на следећи начин:

$$A = \begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Где је  $w_i$  реалтивни тежински коефицијент елемента  $i$ .

У литератури је дефинисано више метода за добијање вредности тежинских коефицијената  $W^T = \{w_1, \dots, w_n\}$ , које би одговарале одговарајућим елементима матрице **A**. Саату предлаже да се за матрицу **A** прво одреди њена сопствена вредност  $\lambda_{\max}$ . Одговарајући вектор сопствених вредности матрице може се затим узети као вектор приближних вредности тежинских коефицијената  $w^T$  обзиром да важи:

$$\begin{bmatrix} w_1 / w_1 & w_1 / w_2 & \dots & w_1 / w_n \\ w_2 / w_1 & w_2 / w_2 & \dots & w_2 / w_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_n / w_1 & w_n / w_2 & \dots & w_n / w_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} = n * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix}$$



Вектор  $\mathbf{W}$  може се добити решавањем система линеарних једначина:

$$A * W = n * W \text{ или } (A - n * I) * W = 0$$

Систем има нетривијално решење ако и само ако је  $n$  сопствена вредност матрице  $A$ , односно, ако је детерминанта матрице  $(A - n * I)$  једнака нули.

Матрица  $A$  је позитивна, реципрочна матрица, и важи  $r(A)=1$  (сви њени редови пропорционални су првом реду, сви су позитивни и важи  $a_{ij}=1/a_{ji}$ ). Због тога су све сопствене вредности, осим једне, једнаке нули. Сума сопствених вредности матрице једнака је трагу матрице, или суми дијагоналних елемената. У овом случају, траг матрице  $A$  једнак је  $n$ . Према томе,  $n$  је сопствена вредност матрице  $A$  и систем једначина има нетривијално решење које се састоји од позитивних елемената у вектору решења. Да би се постигло да  $\mathbf{W}$  буде јединствено, његови елементи се нормализују тако што се поделе својом сумом.

Друге технике за одређивање вектора  $\mathbf{W}$  које такође препоручује Saaty (Saaty, 1992), укључују сумирање редова матрице резултата поређења и нормализовање добијених сума, јер је:

$$\sum_{j=1}^n \frac{w_i}{w_j} = w_i * \left( \sum_{j=1}^n \frac{1}{w_j} \right) \quad i=1, \dots, n \text{ (по редовима)}$$

Вектор тежинских коефицијената може се добити и тако што се реципрочне вредности сума колона нормализују:

$$\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_j} = \frac{1}{w_j} * \left( \sum_{i=1}^n w_i \right) \quad j=1, \dots, n \text{ (по колонама)}$$

Одређивање  $\mathbf{W}$  може се извести нормализацијом геометријске средине елемената по редовима матрице, што је ређи случај у пракси.

Када се на неки од наведених начина одреди, вектор  $\mathbf{W}$  се затим множи тежинским коефицијентом елемента са вишег нивоа који је коришћен као критеријум при поређењу. Процедура се затим понавља идући од виших ка нижим нивоима хирерахије. Тежински коефицијенти се рачунају за сваки елемент на датом нивоу и исти се затим користе за одређивање тзв. Композитних релативних тежинских коефицијената елемената у нижим нивоима.

Након спровођења поступка до најнижег хијерархијског нивоа на коме су алтернативе, на крају се одређују композитни тежински коефицијенти свих алтернатива. Збир ових коефицијената је 1, а доносилац одлуке располаже са две кључне информације: познат је значај сваке алтернативе у односу на циљ и на врху хијерархије (оцена значајности) и утврђен је редослед алтернатива по значају (рангирање).



### 7.2.2 Конзистентност решења

У процесу доношења одлука, доносилац је често склон да одлуке доноси неконзистентно, односно да несвесно различито расуђује и вреднује поједине критеријуме. Једна од предности АХП методе је и та што на одређени начин ублажава овај проблем тако што има математички модел прорачуна степена неконзистентности одлука. Поред тога, и сама редувантност поређења у паровима производи да ова метода није превише осетљива на грешке у расуђивању. Она даје могућност да се мере грешке у расуђивању тако што се прорачунава индекс конзистенције за добијену матрицу поређења, а затим срачунава и степен конзистентности.

Уколико матрица  $\mathbf{A}$  садржи неконзистентне процене (у пракси је то честа појава), вектор тежина  $w$  може се добити решавањем једначине:

$$(\mathbf{A} - \lambda_{\max}\mathbf{I})\mathbf{W}=\mathbf{0} \quad \text{уз услов} \quad \sum w_i=1$$

При чему је  $\lambda_{\max}$  највећа сопствена вредност матрице  $\mathbf{A}$ , или

$$A^* w = n^* w \Rightarrow \sum_j a_{ij} w_j = n w_i$$

одакле је

$$w = \frac{1}{n} \sum_j a_{ij} w_j$$

Због

$$\sum_i a_{ij} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_j}$$

важи

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}}$$

Синтеза приоритета врши се на начин да се локални приоритети алтернатива пондеришу тежинама свих чворова којима припадају од најнижег нивоа хијерархијске структуре према врху, а затим се ти глобални приоритети за највиши ниво сабирају чиме се формира укупни приоритет за поједину алтернативу.

Због својстава матрице  $\mathbf{A}$  важи да је  $\lambda_{\max} \geq n$  а разлика  $\lambda_{\max} - n$  користи се у мерењу конзистенције процена. У случају неконзистентности, што је  $\lambda_{\max}$  ближи  $n$ , процена је конзистентнија.

За прорачун степена конзистентности CR потребно је срачунати прво индекс конзистентности CI према релацији:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$



АХП метода омогућава праћење конзистентности процена у сваком тренутку поступка упоређивања у паровима. Уз помоћ индекса конзистенције  $CI$  прорачунава се степен конзистенције  $CR$  као

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

где је  $RI$  случајни индекс (индекс конзистенције за матрице реда  $n$  случајно генерисаних поређења у паровима). Најчешће се  $RI$  користи према табели са прорачунатим вредностима (табела 7.2).

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Табела 7.2 – Вредности  $RI$  случајних индекса [Saaty, 1980.]

Ако је за матрицу  $A$   $CR \leq 0,10$  процене релативних важности критерија (приоритета алтернатива) сматрају се прихватљивим. У супротном, треба испитати разлоге због којих је неконзистентност процена неприхватљиво велика, уклонити из делимичним понављањем поређења у паровима, а ако понављање процедуре у неколико корака не доведе до снижења степена конзистентности до толерантног лимита, све резултате треба одбацити и поновити цео поступак од почетка.

### 7.3 Оптимизација избора грађевинских машина применом АХП методе

#### 7.3.1 Примена АХП методе у оптимизацији избора грађевинских машина

Метода АХП представља један од најпознатијих метода научне анализе сценарија и доношења одлука кроз поступак вредновања алтернатива у хијерархији коју чине циљ, критеријуми, подкритеријуми и алтернативе. Ова метода је погодна за примену у оптимизацији избора грађевинских машина из више разлога:

- Циљ оптимизације је јасан и лако се може дефинисати (описати).
- Постоји више критеријума по којима се могу оцењивати алтернативе. Критеријумске функције су најчешће добро математички структуриране, тако да је прецизно дефинисано вредновање алтернатива.
- Често је потребно мењати односе између критеријума. Ове промене могу једноставно да се обухвате прорачуном.
- У поступку оптимизације може постојати већи број алтернатива.
- Свака алтернатива може се прецизно вредновати према сваком од критеријума.

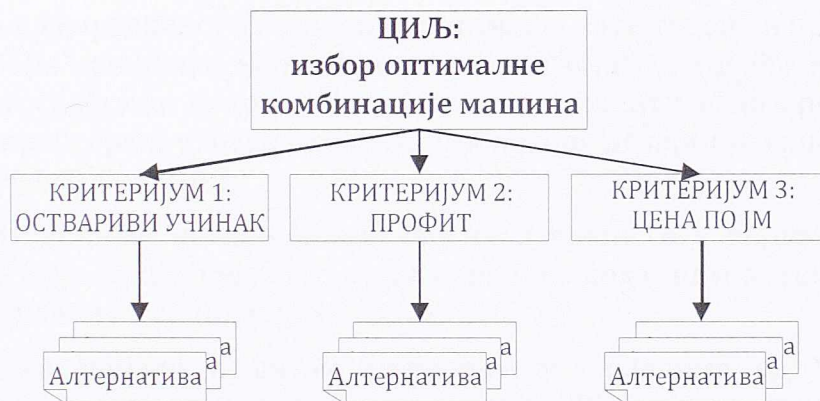


- Конзистентност решења је најчешће задовољена, обзиром да нема субјективног оцењивања алтернатива.
- На основу прорачуна АХП методом, јасно је дефинисана хијерархија алтернатива према постављеном циљу.

Хијерархијски модел АХП методе за оптимизацију избора грађевинских машина приказан је на слици 7.4. Циљ оптимизације је избор оптималне комбинације машина. Критеријуми према којима се врши вредновање алтернатива су:

1. Оствариви учинак сваке од комбинација
2. Профит по јединици мере обрађеног материјала за сваку од комбинација
3. Цена по јединици мере обрађеног материјала

За критеријум учинка и профита тражи се максимум функције, док се за цену по јединици мере тражи минимум функције.



Слика 7.4 – Хијерархијски модел АХП методе на оптимизацији избора грађевинских машина

Алтернативе које се вреднују добијају се у претходном поступку. Оптимално је да се избор алтернатива које се вреднују добије на основу методологије описане у поглављу 4.1, односно да се из свих технолошки могућих комбинација изабере оне које дају најбоље резултате по сваком од критеријума. У примеру који следи изабране су комбинације на основу прорачуна у програму CESAD, и то по три најбоље комбинације по сваком од критеријума. Међутим, могуће је да се изабере и друге варијанте комбинација, рецимо, по 2 или 4 најбоље по сваком од критеријума, или произвољни број најбољих комбинација по сваком од критеријума. АХП метод се може применити на исти начина и на произвољно изабраних  $n$  комбинација, независно од њиховог вредновања у односу на критеријуме.

Након изабраних алтернатива, потребно је дефинисати меру за међусобно поређење алтернатива по сваком од критеријума при чему се преференције алтернатива изражавају уз помоћ одговарајуће скале (Saaty-јева скала релативне важности) која има 5 степена и 4 међустепена вербално описаних интензитета и одговарајуће нумеричке вредности за њих у распону од 1 до 9 (табела 7.1).



На основу процена релативних важности критеријума помоћу описаног математичког модела прорачунавају се локални приоритети (тежине) критеријума, подкритеријума и алтернатива, који се даље групишу у укупне приоритете алтернатива.

### **7.3.2 Оптимизација избора машина на позицији земљаних радова**

Методологија оптимизације избора грађевинских машина приказана је на примеру избора машина на позицији „Ископ материјала и израда насипа“ на пројекту аутопута Е-80, Ниш – Димитровград, деоница 1: Просек – Банцарево. Количина материјала коју треба обрадити износи 1.454.499м<sup>3</sup>. Ископ материјала III и IV категорије врши се машински у широком откопу. Овом позицијом обухваћен је ископ, утовар, транспорт и истовар. Израда насипа обухвата: разастирање, фино планирање, збијање и израду подужног и попречног нагиба према решењу датом у пројекту.

Након скидања хумузираног тла, врши се снимање коте терена и приступа ископу. На основу избора машина, ископ се врши багером којим се такође обавља и утовар у транспортна средства. Ископ је такође могуће вршити и дозером с тим да се утовар материјала врши утоваривачима. При ископу дозерима, врши се транспорт земљаног материјала до 30м.

Рад на ископу почиње на површини терена и врши се у подужним слојевима дебљине 0,2 – 0,4м. Транспорт материјала врши се локалним путем са асфалтним застором и земљаним градилишним путем.

Разастирање материјала врши се грејдером у слојевима од 0,1 – 0,2м, уз пројектованом подужном и попречном нагибу. Збијање се врши јежевима уз квашење.

На основу положаја места ископа и места насипа, усвојена је средња транспортна дужина од 4,5км.

Обзиром на тип објекта (изградња новог пута), габарит објекта (2х3 саобраћајне траке) и планирани рок завршетка радова (око 15месеци) као ограничења, изабрано је да на једном нападном месту могу да раде две машине за ископ материјала, и те машине постају кључне машине. Деоница се напада на 4 фронта рада. Дефинисане су две варијанте технологије израде ископа и насипа, приказане у табели ширег избора.

Оваква позиција је карактеристична за приказ методе оптимизације избора машина из следећих разлога:

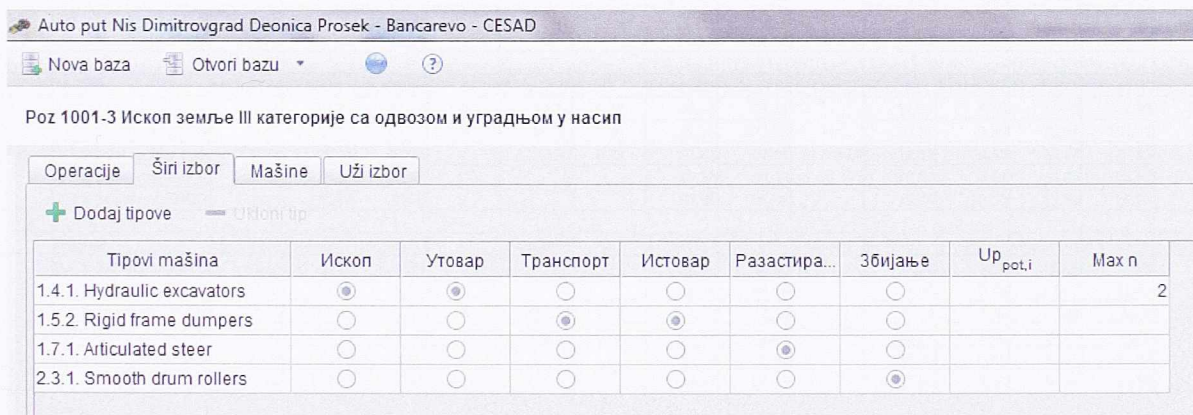
- Количина материјала је велика. Цео насип има 1.454.499м<sup>3</sup> материјала који треба уградити, тако да свака уштеда у цени позиције има велики утицај на коначну цену радова. Оптимизација оваквих позиција је увек исплатива, без обзира која се метода примењује.
- Обзиром на врсту радова (земљани радови, велики број различитих машина...) постоји велики број могућих комбинација које се могу



тестирати. У оваквим ситуацијама веома је тешко доћи до оптималне комбинације без примене неке од метода оптимизације.

- Оваква позиција има доминантне трошкове менанизованог рада (нема трошкове материјала) што такође повећава значај оптимизације избора машина.

Прорачун комбинација машина извршен је програмом CESAD. Приликом прорачуна, третирана је само једна варијанта из ширег избора машина. У овој варијанти, ископ се ради багером, транспорт и истовар киперима, грејдери врше разастирање и ваљци врше уградњу земљаног материјала. При томе, захтевани фронт рада ограничава број багера који се могу ангажовати на два. Комбинације су формиране са предусловом да на једној позицији могу бити највише два различита модела машина. Од укупно 2418 комбинација, програм CESAD издвојио је по три најбоље комбинације по критеријуму учинка, цене по јединици мере и профита по јединици мере. Резултати прорачуна у програму CESAD приказани су у табели 7.3



Auto put Nis Dimitrovgrad Deonica Prosek - Bancarevo - CESAD

Nova baza    Otvori bazu

Poz 1001-3 Ископ земље III категорије са одвозом и уградњом у насип

Operacije    Širi izbor    Mašine    Uži izbor

+ Dodaj tipove    - Ukloni tip

Tipovi mašina	Ископ	Утовар	Транспорт	Истовар	Разастира...	Збијање	Up <sub>pot,i</sub>	Max n
1.4.1. Hydraulic excavators	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		2
1.5.2. Rigid frame dumpers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>		
1.7.1. Articulated steer	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>		
2.3.1. Smooth drum rollers	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>		

Слика 7.5 – шири избора машина на позицији која се оптимизује



## Избор оптималне комбинације машине на основу више критеријума

Комбинације са минималном ценом по јединици мере - C [€/m³]:															
	Mašina	Up [m³/h]	Kh [€/h]	Kh_stdbyl [l]	n	n-Up [m³]	pi	Kh_ef [€/h]	n-Kh_ef [€]	C [€/m³]	Pr [€/h]	Pr_stdbyl [l]	Pr_ef [€/h]	n-Pr_ef [€]	E [€/m³]
1	1.4.1-3 Caterpillar 3184	56,73	37,41	17,12	2	113,46	0,99	37,15	74,29	6,77	8,57	3,95	8,51	17,02	1,56
	1.5.2-2 Volvo A-25D	14,50	70,03	28,31	1	112,00	1,00	70,03	70,03		16,13	6,53	16,13	16,13	
	1.5.2-3 Volvo A-30D	16,25	78,45	32,64	6			78,45	470,71		18,07	7,53	18,07	108,43	
	1.7.1-1 Caterpillar 815-	199,55	40,31	19,21	1	199,55	0,56	31,05	31,05		9,24	4,43	7,13	7,13	
	2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1	113,20	0,99	111,95	111,95		25,94	10,50	25,77	25,77	
2	1.4.1-3 Caterpillar 3184	56,73	37,41	17,12	2	113,46	1,00	37,36	74,72	6,77	8,57	3,95	8,56	17,11	1,56
	1.5.2-3 Volvo A-30D	16,25	78,45	32,64	7	113,75	1,00	78,23	547,61		18,07	7,53	18,02	126,15	
	1.7.1-1 Caterpillar 815-	199,55	40,31	19,21	1	199,55	0,57	31,18	31,18		9,24	4,43	7,16	7,16	
	2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1	113,20	1,00	112,67	112,67		25,94	10,50	25,94	25,94	
	1.4.1-3 Caterpillar 3184	56,73	37,41	17,12	1	142,58	0,79	33,23	33,23		6,78	8,57	3,95	7,62	
1.4.1-4 Caterpillar 3204	85,85	48,19	22,20	1			42,83	42,83	11,06	5,12		9,83	9,83		
1.5.2-3 Volvo A-30D	16,25	78,45	32,64	7	113,75	1,00	78,23	547,61	18,07	7,53		18,02	126,15		
1.7.1-1 Caterpillar 815-	199,55	40,31	19,21	1	199,55	0,57	31,18	31,18	9,24	4,43		7,16	7,16		
2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1	113,20	1,00	112,67	112,67	25,94	10,50		25,94	25,94		
Комбинације са максималним профитом по јединици мере - E [€/m³]															
	Mašina	Up [m³/h]	Kh [€/h]	Kh_stdbyl [l]	n	n-Up [m³]	pi	Kh_ef [€/h]	n-Kh_ef [€]	C [€/m³]	Pr [€/h]	Pr_stdbyl [l]	Pr_ef [€/h]	n-Pr_ef [€]	E [€/m³]
4	1.4.1-1 Caterpillar 312-	43,13	39,36	20,03	1	104,27	1,00	39,36	39,36	9,25	9,02	4,62	9,02	9,02	2,13
	1.4.1-2 Komatsu PC 164	61,14	50,21	24,23	1			50,21	50,21		11,52	5,59	11,52	11,52	
	1.5.2-1 Komatsu KM35	17,55	112,10	43,17	6	105,30	0,99	111,42	668,53		25,84	9,96	25,68	154,08	
	1.7.1-2 Caterpillar 825-	270,55	96,14	41,60	1	270,55	0,39	62,62	62,62		22,12	9,60	14,43	14,43	
	2.3.1-1 Caterpillar D-34	66,18	78,66	31,98	1	179,38	0,58	59,11	59,11		18,09	7,38	13,60	13,60	
	2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1			84,54	84,54		25,94	10,50	19,47	19,47	
5	1.4.1-2 Komatsu PC 164	61,14	50,21	24,23	2	122,28	0,86	46,61	93,21	9,24	11,52	5,59	10,70	21,40	2,13
	1.5.2-1 Komatsu KM35	17,55	112,10	43,17	6	105,30	1,00	112,10	672,58		25,84	9,96	25,84	155,02	
	1.7.1-2 Caterpillar 825-	270,55	96,14	41,60	1	270,55	0,39	62,83	62,83		22,12	9,60	14,47	14,47	
	2.3.1-1 Caterpillar D-34	66,18	78,66	31,98	1	179,38	0,59	59,38	59,38		18,09	7,38	13,67	13,67	
	2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1			84,93	84,93		25,94	10,50	19,56	19,56	
6	1.4.1-2 Komatsu PC 164	61,14	50,21	24,23	1	146,54	0,72	42,90	42,90	9,22	11,52	5,59	9,85	9,85	2,12
	1.4.1-5 Kobelco SK250	85,40	57,32	24,83	1			48,18	48,18		13,16	5,73	11,07	11,07	
	1.5.2-1 Komatsu KM35	17,55	112,10	43,17	6	105,30	1,00	112,10	672,58		25,84	9,96	25,84	155,02	
	1.7.1-2 Caterpillar 825-	270,55	96,14	41,60	1	270,55	0,39	62,83	62,83		22,12	9,60	14,47	14,47	
	2.3.1-1 Caterpillar D-34	66,18	78,66	31,98	1	179,38	0,59	59,38	59,38		18,09	7,38	13,67	13,67	
	2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1			84,93	84,93		25,94	10,50	19,56	19,56	
Комбинације са максималним учинком - n-Up [m³/h]															
	Mašina	Up [m³/h]	Kh [€/h]	Kh_stdbyl [l]	n	n-Up [m³]	pi	Kh_ef [€/h]	n-Kh_ef [€]	C [€/m³]	Pr [€/h]	Pr_stdbyl [l]	Pr_ef [€/h]	n-Pr_ef [€]	E [€/m³]
7	1.4.1-5 Kobelco SK250	85,40	57,32	24,83	2	170,80	0,69	47,09	94,19	7,80	13,16	5,73	10,82	21,65	1,80
	1.5.2-3 Volvo A-30D	16,25	78,45	32,64	4	117,02	1,00	78,45	313,81		18,07	7,53	18,07	72,29	
	1.5.2-4 Volvo A-35D	17,34	95,78	36,71	3			95,78	287,34		22,07	8,47	22,07	66,21	
	1.7.1-2 Caterpillar 825-	270,55	96,14	41,60	1	270,55	0,43	65,19	65,19		22,12	9,60	15,02	15,02	
	2.3.1-1 Caterpillar D-34	66,18	78,66	31,98	1	179,38	0,65	62,43	62,43		18,09	7,38	14,36	14,36	
	2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1			89,32	89,32		25,94	10,50	20,57	20,57	
8	1.4.1-4 Caterpillar 3204	85,85	48,19	22,20	1	171,25	0,68	39,96	39,96	7,73	11,06	5,12	9,18	9,18	1,78
	1.4.1-5 Kobelco SK250	85,40	57,32	24,83	1			47,03	47,03		13,16	5,73	10,81	10,81	
	1.5.2-3 Volvo A-30D	16,25	78,45	32,64	4	117,02	1,00	78,45	313,81		18,07	7,53	18,07	72,29	
	1.5.2-4 Volvo A-35D	17,34	95,78	36,71	3			95,78	287,34		22,07	8,47	22,07	66,21	
	1.7.1-2 Caterpillar 825-	270,55	96,14	41,60	1	270,55	0,43	65,19	65,19		22,12	9,60	15,02	15,02	
	2.3.1-1 Caterpillar D-34	66,18	78,66	31,98	1	179,38	0,65	62,43	62,43		18,09	7,38	14,36	14,36	
2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1			89,32	89,32	25,94	10,50	20,57	20,57			
9	1.4.1-3 Caterpillar 3184	56,73	37,41	17,12	1	142,13	0,82	33,82	33,82	7,72	8,57	3,95	7,75	7,75	1,78
	1.4.1-5 Kobelco SK250	85,40	57,32	24,83	1			51,58	51,58		13,16	5,73	11,85	11,85	
	1.5.2-3 Volvo A-30D	16,25	78,45	32,64	4	117,02	1,00	78,45	313,81		18,07	7,53	18,07	72,29	
	1.5.2-4 Volvo A-35D	17,34	95,78	36,71	3			95,78	287,34		22,07	8,47	22,07	66,21	
	1.7.1-2 Caterpillar 825-	270,55	96,14	41,60	1	270,55	0,43	65,19	65,19		22,12	9,60	15,02	15,02	
	2.3.1-1 Caterpillar D-34	66,18	78,66	31,98	1	179,38	0,65	62,43	62,43		18,09	7,38	14,36	14,36	
2.3.1-2 Caterpillar 825-	113,20	112,67	45,50	1			89,32	89,32	25,94	10,50	20,57	20,57			

Табела 7.3 – 9 најбољих комбинација по учинку, профиту и цени по јм добијених из програма CESAD



Рекапитулација добијених комбинација приказана је у табели 7.4:

Р. Бр.	Варијанта	У <sub>р</sub> [m <sup>3</sup> /h]	Цена/ЈМ [€/m <sup>3</sup> ]	Профит/ЈМ [€/m <sup>3</sup> ]
1	1057	113,46	6,77	1,56
2	1070	113,46	6,77	1,56
3	1073	142,58	6,78	1,56
4	2016	104,27	9,25	2,13
5	2017	122,28	9,24	2,13
6	2025	146,54	9,22	2,12
7	2418	170,8	7,80	1,80
8	2417	171,25	7,73	1,78
9	2416	142,13	7,72	1,78
Средња вредност		136,31	7,92	1,82
Стандардна девијација		24,64	1,07	0,25
Ст. девијација у % од ср. вредности		17%	13%	13%

Табела 7.4 – рекапитулација добених комбинација машина

Поређење комбинација по учинку приказано је у табели 7.5. Ћелија  $a_{ij}$  табеле представља разлику учинка комбинација  $i$  и  $j$ :

$$a_{ij} = U_{p,i} - U_{p,j}$$

Приказана је само половина табеле, обзиром да друга половина табеле једна првој за променљеним предзнаком.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,00	0,00	-29,12	9,19	-8,82	-33,08	-57,34	-57,79	-28,67	1
	0,00	-29,12	-8,82	-8,82	-33,08	-57,34	-57,79	-28,67	2
		0,00	38,31	20,30	-3,96	-28,22	-28,67	0,45	3
			0,00	-18,01	-42,27	-66,53	-66,98	-37,86	4
				0,00	-24,26	-48,52	-48,97	-19,85	5
					0,00	-24,26	-24,71	4,41	6
						0,00	-0,45	28,67	7
							0,00	29,12	8
								0,00	9

Табела 7.5 – поређење комбинација по учинку.

Поређење комбинација по јединичној цени приказано је у табели 7.6. И у овом случају, табела је симетрична по дијагонали, са променљеним предзнаком. Обзиром да је за овај критеријум тражи максимална вредност, односно, боља је комбинација са мањом ценом по јединици мере, вредност у ћелији  $a_{ij}$  ове табеле представља разлику јединичних цена комбинација  $j$  и  $i$ :



$$a_{ij} = C_j - C_i$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,00	0,00	0,01	2,48	2,47	2,45	1,03	0,97	0,95	1
	0,00	0,01	2,48	2,47	2,45	1,03	0,97	0,95	2
		0,00	2,47	2,46	2,44	1,02	0,95	0,94	3
			0,00	-0,01	-0,03	-1,45	-1,51	-1,53	4
				0,00	-0,02	-1,44	-1,51	-1,52	5
					0,00	-1,42	-1,48	-1,50	6
						0,00	-0,06	-0,08	7
							0,00	-0,01	8
								0,00	9

Табела 7.6 – поређење комбинација по јединичној цени

Поређење комбинација по профиту по јединици мере приказано је у табели 7.7. Табела је и у овом случају симетрична по дијагонали са супротним предзнаком. Вредност у ћелији  $a_{ij}$  табеле представља разлику јединичног профита комбинација  $i$  и  $j$ :

$$a_{ij} = E_i - E_j$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0,00	0,00	0,00	-0,57	-0,57	-0,57	-0,24	-0,22	-0,22	1
	0,00	0,00	-0,57	-0,57	-0,57	-0,24	-0,22	-0,22	2
		0,00	-0,57	-0,57	-0,56	-0,23	-0,22	-0,22	3
			0,00	0,00	0,01	0,33	0,35	0,35	4
				0,00	0,00	0,33	0,35	0,35	5
					0,00	0,33	0,34	0,35	6
						0,00	0,01	0,02	7
							0,00	0,00	8
								0,00	9

Табела 7.7 – поређење комбинација по профиту по јединици мере

Критеријуми по којима се пореде комбинације су различитих димензија и различитих редова величина. Да би се извршило вредновање критеријума, неопходно је дефинисати мере њиховог оцењивања. АХП метода дозвољава комбиновање различитих типова критеријума, с тим да се свим критеријумима дефинише нека заједничка мера. Та мера је представљена кроз Сатијеву скалу, приказану у табели 7.1.



Основни проблем у уравнотежењу критеријума представља пресликавање разлика приказаних у табелама 7.5, 7.6 и 7.7 у вредности Сатијеве скале. Предложено решење је да се прво дефинише мера "јаке доминантности" једне варијанте у односу на другу по једном од критеријума. Усвојена мера разликовања две варијанте је вредност стандардне девијације по том критеријуму. Значи, по једном критеријуму, варијанта  $i$  је "јако доминантна" у односу на варијанту  $j$  уколико је њихова разлика једнака стандардној девијацији тог критеријума. Када је одређена мера "јаке доминантности", цео интервал вредности разлика између комбинација подели се на једнаке делове и вредностима се доделе мере из Сатијеве скале.

Да би могли критеријуми да се пореде, неопходно је прво да се изврши њихово свођење на упоредиве величине. За сваки од критеријума, потребно је разлике вредности критеријума између комбинација поделити средњом вредношћу истог критеријума за све посматране комбинације. Тиме се, фактички, вредност разлике критеријума између комбинација своди на процентуални део средње вредности посматраног критеријума. Исти поступак се врши и са мером значајности из Сатијеве скале: стандардна девијација критеријума дели се средњом вредношћу истог критеријума. Када се тај поступак изврши за све критеријуме, добијене вредности су истих димензија и тек тада се на њих може применити Сатијева скала.

У посматраном примеру, када се вредности из табеле поређења комбинација по учинку (табела 7.5) поделе средњом вредношћу учинка (приказаном у табели 7.44), добијају се вредности као у табели 7.8:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	0%	-21%	7%	-6%	-24%	-42%	-42%	-21%	1
	0%	-21%	-6%	-6%	-24%	-42%	-42%	-21%	2
		0%	28%	15%	-3%	-21%	-21%	0%	3
			0%	-13%	-31%	-49%	-49%	-28%	4
				0%	-18%	-36%	-36%	-15%	5
					0%	-18%	-18%	3%	6
						0%	0%	21%	7
							0%	21%	8
								0%	9

Табела 7.8 – поређење комбинација по учинку, у односу на средњу вредност учинка.

Исти поступак се понавља и са вредностима поређења комбинација по јединичној цени (табела 7.6) и јединичном профиту (табела 7.7).



Избор оптималне комбинације машине на основу више критеријума

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	0%	0%	31%	31%	31%	13%	12%	12%	1
	0%	0%	31%	31%	31%	13%	12%	12%	2
		0%	31%	31%	31%	13%	12%	12%	3
			0%	0%	0%	-18%	-19%	-19%	4
				0%	0%	-18%	-19%	-19%	5
					0%	-18%	-19%	-19%	6
						0%	-1%	-1%	7
							0%	0%	8
								0%	9

Табела 7.9 – поређење комбинација по јед. цени, у односу на средњу вредност јединичне цене

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	0%	0%	-31%	-31%	-31%	-13%	-12%	-12%	1
	0%	0%	-31%	-31%	-31%	-13%	-12%	-12%	2
		0%	-31%	-31%	-31%	-13%	-12%	-12%	3
			0%	0%	0%	18%	19%	19%	4
				0%	0%	18%	19%	19%	5
					0%	18%	19%	19%	6
						0%	1%	1%	7
							0%	0%	8
								0%	9

Табела 7.10 – поређење комбинација по јед. профиту, у односу на средњу вредност јединичног профита

Мера значајности за поређење комбинација формирана је тако што је за меру "јакe доминантности" (5, односно -5 по Сатијевој скали) изабрана вредност количника стандардне девијације са њеном средњом вредношћу а затим је интервал између подељен на једнаке делове, с тим да је средишњи део интервала од -1 до 1 – интервал "истог значаја", нешто краћи, због заокруживања вредности. Добијене вредности признане су у табели 7.11:

Сатијева вреднос	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Учинак	-100%	-29%	-25%	-21%	-17%	-13%	-9%	-5%	-1%	0%	1%	5%	9%	13%	17%	21%	25%	29%	100%
Цена по ЈМ	-100%	-22%	-19%	-16%	-13%	-10%	-7%	-4%	-1%	0%	1%	4%	7%	10%	13%	16%	19%	22%	100%
Профит по ЈМ	-100%	-22%	-19%	-16%	-13%	-10%	-7%	-4%	-1%	0%	1%	4%	7%	10%	13%	16%	19%	22%	100%

Табела 7.11 – додељивање разликама по критеријумима мера значајности према Сатијевој скали



Коначно, матрица поређења комбинација машина према критеријумима учинка, цене и профита, у складу са вредностима из Сатијеве скале (табела 1) приказане су у следећим табелама:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	1/7	2	1/3	1/7	1/9	1/9	1/7		1
	1	1/7	1/3	1/3	1/7	1/9	1/9	1/7		2
		1	7	4	1/2	1/6	1/7	1		3
			1	1/5	1/9	1/9	1/9	1/8		4
				1	1/6	1/9	1/9	1/5		5
					1	1/6	1/6	1		6
						1	1	6		7
							1	6		8
								1		9

$$CI=0,1470, CR=0,1014, \lambda=10,1757$$

Табела 7.12 - матрица поређења комбинација према учинку у складу са вредностима из Сатијеве скале

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	1	8	8	8	4	4	4		1
	1	1	8	8	8	4	4	4		2
		1	8	8	8	4	4	4		3
			1	1	1	1/7	1/8	1/8		4
				1	1	1/7	1/8	1/8		5
					1	1/7	1/7	1/7		6
						1	1	1		7
							1	1		8
								1		9

$$CI=0,0726, CR=0,0501, \lambda=9,5808$$

Табела 7.13 - матрица поређења комбинација према јединичној цени у складу са вредностима из Сатијеве скале

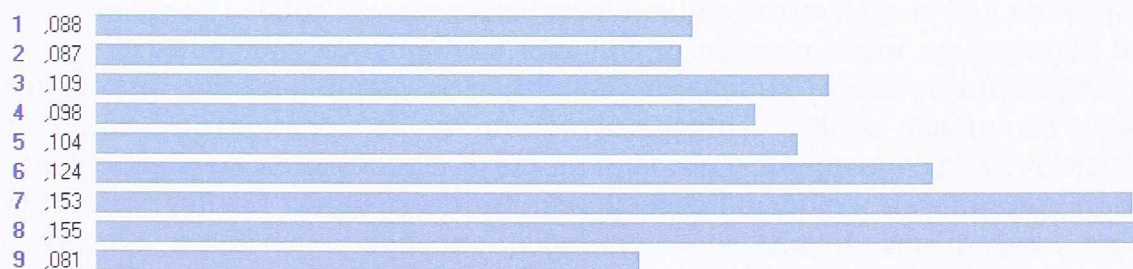


1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	1	1/9	1/9	1/9	1/6	1/5	1/5	1
	1	1	1/9	1/9	1/9	1/6	1/5	1/5	2
		1	1/9	1/9	1/9	1/5	1/5	1/5	3
			1	1	1	6	7	7	4
				1	1	6	7	7	5
					1	6	6	6	6
						1	1	1	7
							1	1	8
								1	9

$$CI=0,0735, CR=0,0507, \lambda=9,5878$$

Табела 7.14 - матрица поређења комбинација према јединичном профиту у складу са вредностима из Сатијеве скале

Уколико се зада подједнака тежина свим критеријумима, применом прорачуна приказаним у поглављу 4, добија се следећи ранг алтернатива:

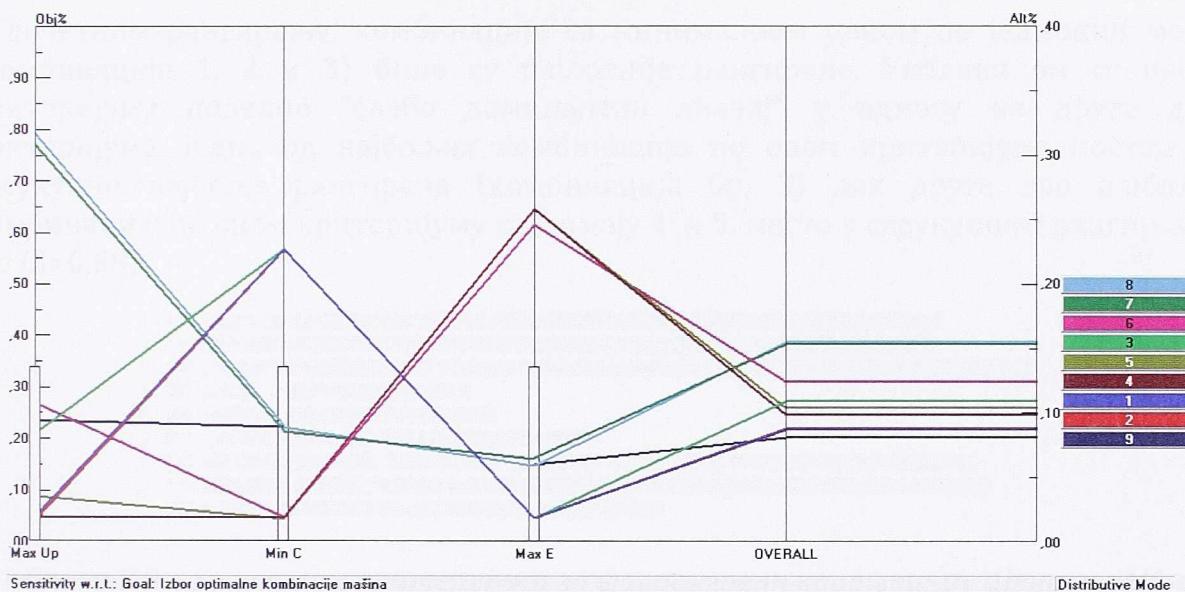


Слика 7.6 – Рангирање алтернатива са приказом релативне важности у односу на циљ

Прорачуном се добија да је оптимална комбинација бр. 8 ( $w_8=0,155$ ), и њој веома блиска комбинација бр. 7 ( $w_7=0,153$ ). Степен конзистенције износи 0,02 тако да, обзиром да је мањи од толерантног лимита од 0,1, резултат може да се сматра конзистентним.

Интересантно је приметити да најбоље рангирана комбинација машина бр. 8 није најбоља појединачно ни по једном критеријуму. Такође, најбоља комбинација са минималном једничном ценом (комбинација бр. 1) налази се тек на 7. месту ранжираних комбинација, док је комбинација са навећим оствареним профитом (комбинација бр. 4) тек незнатно боље рангирана и налази се на 6. месту.



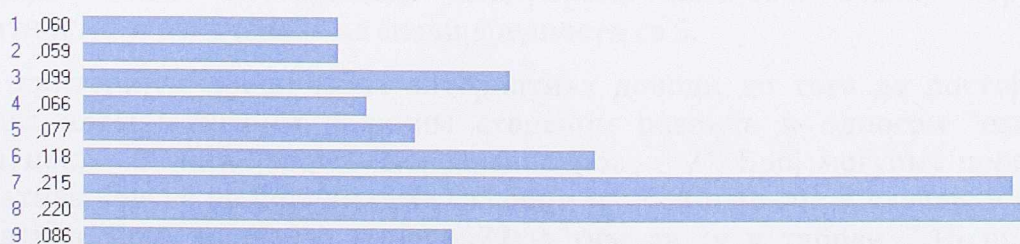


Слика 7.7 – рангирање комбинација према критеријумима и свеукупно

### 7.3.3 Анализа осетљивости решења

Оптимизовање избора између више комбинација ретко када је под претпоставком једнаке тежине свих критеријума. Када је доминантан један критеријум, избор је тривијалан, односно, бирају се комбинације машина са екстремним вредностима траженог критеријума, и ту се оптимизација избора своди на решавање једнокритеријумске функције. Најшири простор је подручје где се усклађивањем захтеваног учинка тражи она комбинација која ће донети максимални профит, уз постизање минималне цене по јединици мере. Конкретна тежина појединих критеријума зависи од фазе пројекта у којој се ради оптимизација (фаза израде понуде, израде глобалног плана или оперативног планирања...) као и од свеукупног циља и услова ограничења пројекта.

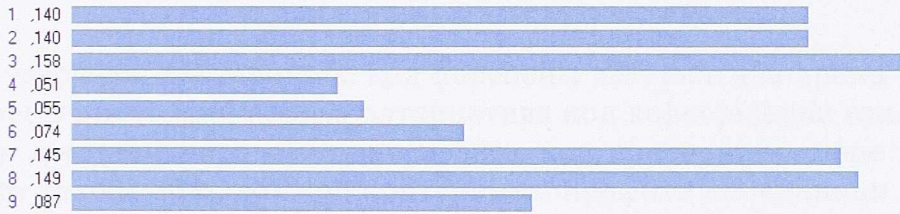
У конкретном посматраном случају, комбинације 6, 7 и 8 које су најбоље рангиране, припадају комбинацијама које имају максимални учинак. Уколико се значај критеријума "Учинак" повећа у односу на критеријум "Цена по ЈМ" и критеријума "Профит по ЈМ" на ранг "слабо доминантан" (ознака 3 по Сатијевој скали), положај ових комбинација биће још доминантнији (уз  $CI=0,06$ ).



Слика 7.8 – рангирање алтернатива за фаворизован критеријум "Учинак"



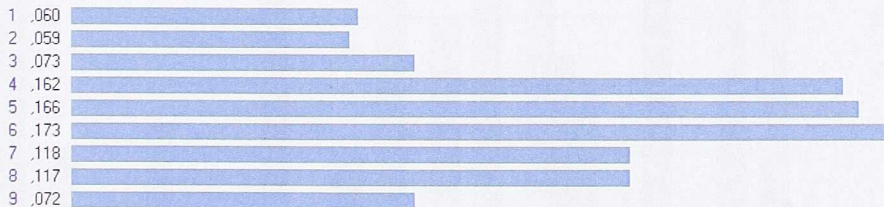
У почетном рангирању, комбинације са минималном ценом по јединици мере (комбинације 1, 2 и 3) биле су најлошије рангиране. Уколико би се овом критеријуму доделио "слабо доминантан значај" у односу на друга два критеријума, једна од најбољих комбинација по овом критеријуму постаје и свеукупно најбоље рангирана (комбинација бр. 3) док друге две најбоље комбинације по овом критеријуму заузимају 4. и 5. место у свеукупном рангирању (уз  $CI=0,08$ ).



Слика 7.9 – рангирање критеријума за фаворизован критеријум "Цена по ЈМ"

Најбоље комбинације по критеријуму "Цена по јединици мере" постаће и свеукупно најбоље рангиране тек када се овом критеријуму додели "доминантан значај", по Сатијевој скали, у односу на друга два критеријума.

Уколико се критеријуму "Профит по јединици мере" додели "слабо доминантан значај" у доносу на друга два критеријума, комбинације које су најбоље по овом критеријуму, постаће и свеукупно најбоље рангиране комбинације (уз  $CI=0,04$ )



Слика 7.10 – рангирање алтернатива за фаворизован критеријум "Профит по јм"

У посматраном случају, за меру поређења две комбинације користила се вредност стандардне девијације. При оцењивању, пошло се од претпоставке да, уколико је разлика две алтернативе за одређени критеријум једнака вредности стандардне девијације, "боља" алтернатива има, према Сатијевој скали, меру "јаке доминатности" и означена је на скали вредности са 5.

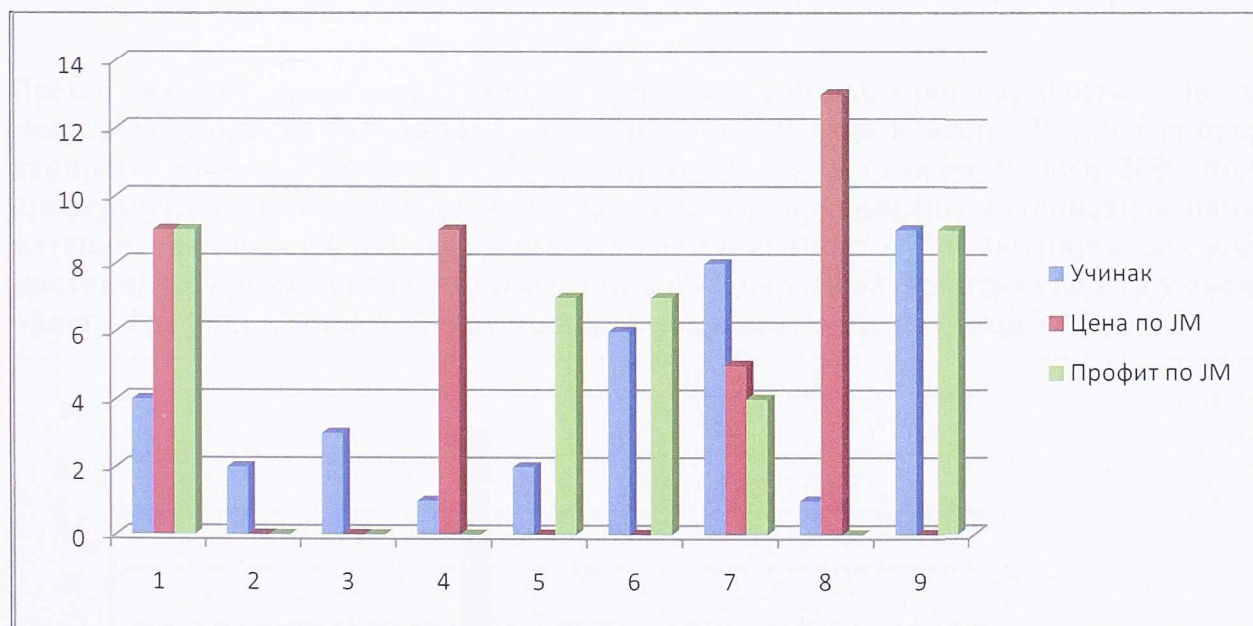
Овакав критеријум вредновања алтернатива доводи до тога да постоји доста поређења алтернатива са великим степеном разлике и односом "екстремна доминатност - 9" или "веома јака доминатност - 7". Број могућих поређења  $n$  алтернатива које се не пореде саме са собом износи  $n*(n-1)$ . У случају 9 могућих алтернатива, број поређења износи 72, с тим да су у табели 7.15 приказана половина поређења, обзиром да је друга половина симетрична.



Оцена поређења	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Учинак	4	2	3	1	2	6	8	1	9
Цена по ЈМ	9	0	0	9	0	0	5	13	0
Профит по ЈМ	9	0	0	0	7	7	4	0	9

Табела 7.15 – сумарни приказ оцена поређења

На основу усвојеног критеријума, код поређења алтернатива према критеријуму максималног учинка, број парова алтернатива код којих је једна означена мером "веома јака доминантност - 7" износи 50%, код критеријума цене по јединици мере износи такође 50%, док код критеријума профита по јединици мере износи 36%. При томе, приметно је груписање резултата поређења и њихова неравномерна распоређеност. Графички приказ резултата поређења дат је на слици 7.9.



Слика 7.11 – графички приказ резултата поређења

Да би се утврдила стабилност решења и извршина анализа осетљивости решења, потребно је претходни прорачун спровести са делимично измењеним критеријумом вредности. За нови критеријум вредности усваја се да уколико се две алтернативе разликују за вредност стандардне девијације то представља одступање које ће "бољу" алтернативу окарактерисати, не као "јако доминанту - 5" како је то у претходном случају било већ као "слабо доминанту - 3". Све вредности између ових, као и изван ових граница, биће пропорционално подељене.

На основу овако дефинисаног новог критеријума, нове мере значајности за поређење алтернатива према Сатијевој скали, приказане су у табели 7.16.



## Избор оптималне комбинације машине на основу више критеријума

Сатијева вредност	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Учинак	-100%	-52%	-45%	-38%	-31%	-24%	-0,17	-0,1	-0,03	0	3%	10%	17%	24%	31%	38%	45%	52%	100%
Цена по ЈМ	-100%	-37%	-32%	-27%	-22%	-17%	-0,12	-0,07	-0,02	0	2%	7%	12%	17%	22%	27%	32%	37%	100%
Профит по ЈМ	-100%	-37%	-32%	-27%	-22%	-17%	-0,12	-0,07	-0,02	0	2%	7%	12%	17%	22%	27%	32%	37%	100%

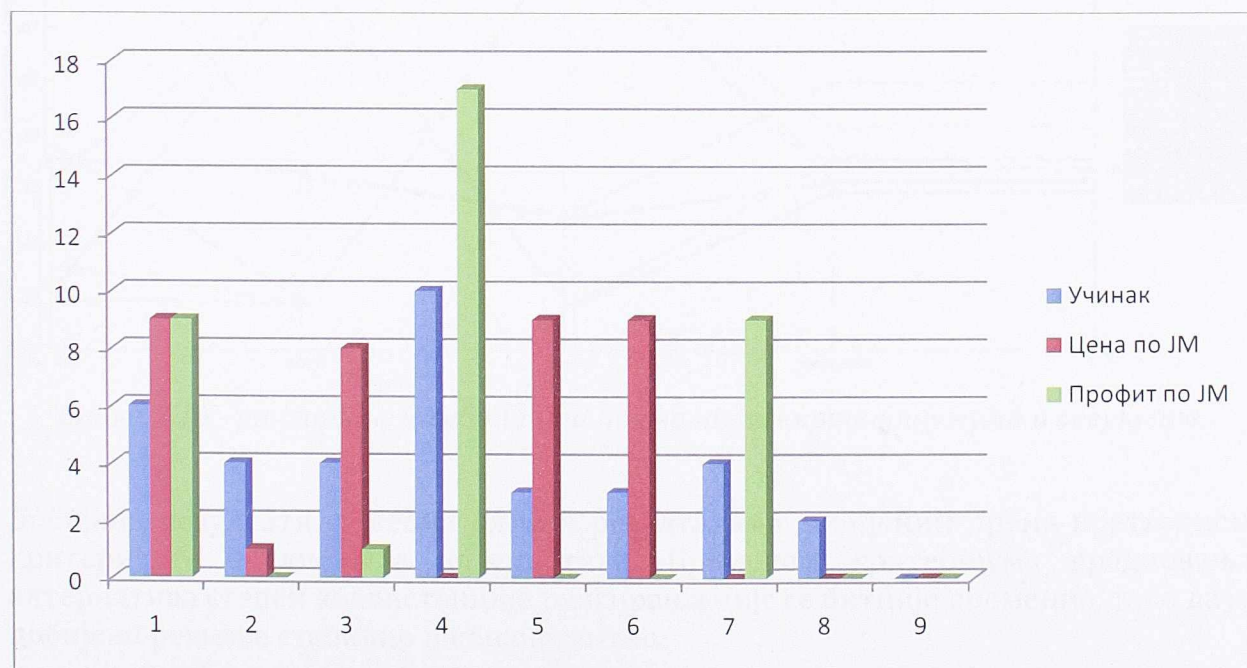
Табела 7.16 – нове мере вредности поређења алтернатива према Сатијевој скали

Применом оваквог критеријума вредновања парова алтернатива, добијају се резултати који су равномерније распоређени. Сумарни приказ вреднованих алтернатива приказан је у табели 7.17.

Оцена поређења	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Учинак	6	4	4	10	3	3	4	2	0
Цена по ЈМ	9	1	8	0	9	9	0	0	0
Профит по ЈМ	9	0	1	17	0	0	9	0	0

Табела 7.17 – сумарни приказ оцена поређења према новом критеријуму

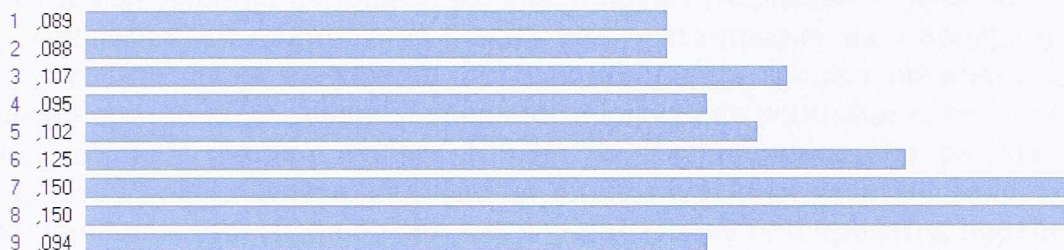
Према оваквом вредновању, код критеријума учинка, број варијанти које су међусобно у односу "веома јака доминантност - 7" сада износи 17%, док је број варијанти које су у односу "слаба доминантност - 3" и блажем, износи 28%. Код критеријума цена по једници мере, према новом вредновању алтернатива нема алтернатива које су у односу "веома јака доминантност - 7" и оштријем, док код критеријума профита по једници мере има 25% парова алтернатива које су у овом односу. Графички приказ резултата поређења приказан је на слици 7.10.



Слика 7.12 – графички приказ резултата поређења према новом критеријуму



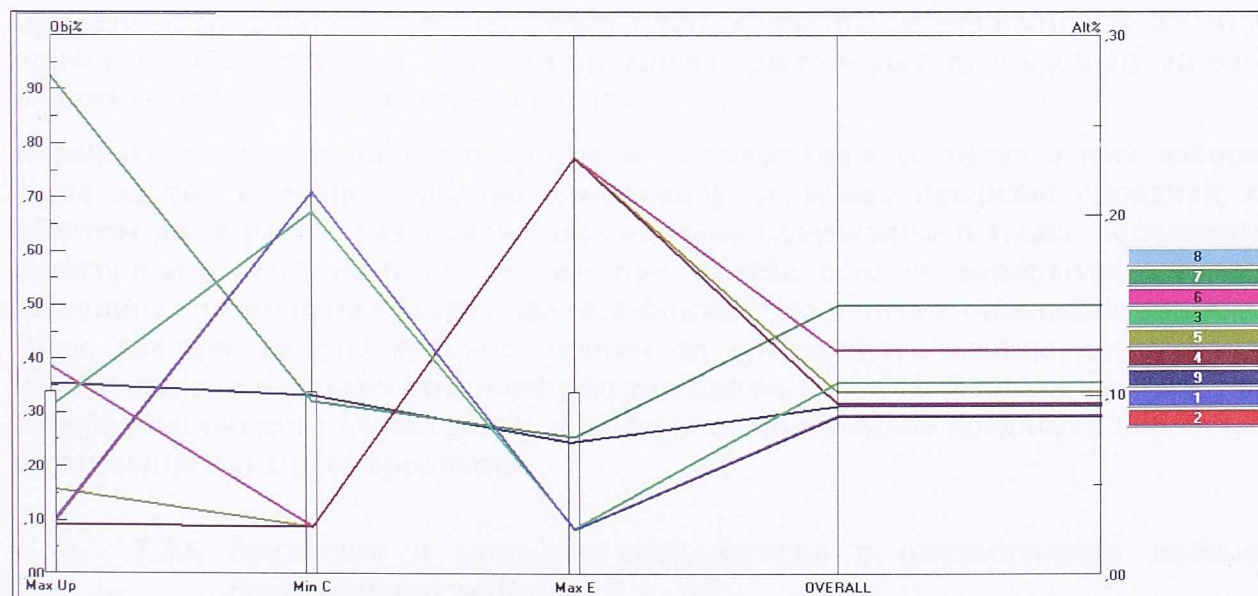
Када се рангирање алтернатива спроведе по АХП методи, у складу са новодефинисаним критеријумима, добија се рангирање приказано на слици 7.11:



Слика 7.13 – рангирање алтернатива према измењеном критеријуму

Тестиран је случај када сви критеријуми имају исти значај. Прорачуном се добија да су оптималне комбинација бр. 8 ( $w_8=0,150$ ), и комбинација бр. 7 ( $w_7=0,150$ ). Степен конзистенције износи 0,02 тако да, с обзиром да је мањи од толерантног лимита од 0,1, резултат може да се сматра конзистентним.

Упоредни приказ вредновања алтернатива, према појединачним критеријумима и свеукупни ранг, приказани су на слици 7.12:



Слика 7.14 - рангирање комбинација према новим критеријумима и свеукупно

Добијени резултати су веома блиски резултатима добијеним према претходном критеријуму вредновања алтернатива. Променом критеријума вредновања алтернатива степен конзистенције рангирања није се битније променио, тако да је добијено решење стабилно и конзистентно.

### 7.3.4 Резултати примене оптимизације

Приказани поступак оптимизације спроводи се кроз две фазе: у првој фази проналазе се најбоља решења по једном од критеријума (цена по јединици мере,



профит по јединици мере или учинак), док се у другој фази проналази оптимално решења из скупа решења најбољих по једном критеријуму. У садашњој пракси врши се избор машина по једном од критеријума (најчешће – цена по јединици мере). У конкретном примеру, на основу резултата прорачуна у програму CESAD може се уочити да је из укупно 2418 комбинација средња вредност цене по јединици мере  $7,68\text{€}/\text{m}^3$ , средња вредност профита по јединици мере  $1,77\text{€}/\text{m}^3$ , а средња вредност учинка износи  $105,3\text{m}^3/\text{h}$ . Укупна количина радова износи  $1.454.499\text{m}^3$ . Уколико претпоставимо да би се случајним узорком изабрала нека комбинација која има средње вредности учинка, цене или профита, поређењем са оптималним комбинацијама може се приказати какве се уштеде могу остварити избором оптималне комбинације. Резултати оптималних комбинација по појединим критеријумима приказани су у табели 7.4.

Оптимална комбинација по критеријуму цене по јединици мере је комбинација бр.1057 са вредношћу од  $6,77\text{€}/\text{m}^3$ . Примена ове комбинације машина доводи до мање укупне цене радова од  $1.326.196\text{€}$ .

Оптимална комбинација по критеријуму профита по јединици мере је комбинација бр.2016 са вредношћу од  $2,13\text{€}/\text{m}^3$ . Примена ове комбинације машина доводи до повећања профита од  $521.208\text{€}$ .

Примена оптималне комбинације по критеријуму учинка (комбинација бр. 2418) у односу на комбинацију са средњом вредношћу доноси уштеду у времену од 665 радника – дана (са 8 радних сати дневно).

Поређење резултата вишекритеријумске оптимизације са резултатима избора једне од три случајно изабране комбинације је тешко прецизно одредити, с обзиром да се ради о различитим димензијама одлучивања и тешко поредивим категоријама. Овај закључај се тим пре намеће што се варирањем тежина појединих критеријума као оптималне дефинишу различите комбинације машина. Ипак, уколико се даје предност једном од критеријума, постаје доминантна комбинација са најбољом вредношћу по том критеријуму, те се предности оваквог избора машина могу посматрати и кроз претходно наведене вредности поређења оптималних и средњих вредности.

### **7.3.5 Закључак о примени АХП методе у оптимизацији избора грађевинских машина**

Конкуренција на грађевинском тржишту намеће све оштрије услове конкурисања за добијање посла, као и много детаљнију анализу пословања. Код радова са доминантним механизованим радом, од кључне важности за успех пословања је прецизно сагледавање трошкова механизованог рада и избор оптималне комбинације машина на појединим позицијама, како би се постигао максимални профит, уз минималну понуђену цену и максимални могући радни учинак машина.

С обзиром да је потребно испунити више постављених критеријума, неопходно је усвојити неку од метода вишекритеријумске оптимизације. АХП спада у једну од најпознатијих метода научне анализе сценарија и доношења одлука



конзистентним вредновањем хијерархија чије елементе чине циљеви, критеријуми, подкритеријуми и алтернативе.

Улазни подаци у процесе оптимизације су унапред дефинисане комбинације машина са својим параметрима – ценом по јединици мере, остваривим практичним учинком и профитом по јединици мере. Методологија прорачуна ових карактеристика описана је у претходним поглављима. Сам прорачун карактеристика сваке комбинације и избор комбинација које ће ући у процес оптимизације може се извести помоћу програма CESAD.

Критеријуми за вредновање алтернатива базирани су на њиховом међусобном односу. С обзиром да су критеријумске функције различите природе, за поређење алтернатива потребно је усвојити јединствени критеријум базиран само на њиховом међусобном односу. Због тога је усвојено да је једна алтернатива "јако доминантна" у односу на другу, по одређеном критеријуму, уколико се вредности критеријумских функција разликују за више од стандардне девијације критеријумских функција свих алтернатива.

Редослед ранжираних алтернатива директно зависи од тежинских фактора који се задају критеријумима. Ова чињеница је очекивана. У случају да постоји велики број сличних алтернатива, задавање веће тежине одређеном критеријуму директно ће утицати на фаворизовање тог критеријума.

Уколико се критеријум међусобног вредновања алтернатива промени, тако да разлика две алтернативе по одређеном критеријуму у величини стандардне девијације буде оцењена као "слабо доминантна", уместо "јако доминантна", то неће имати великог утицаја на редослед рангирања алтернатива. Рангирање је конзистентно и стабилно на мање промене критеријума оцењивања. Међутим, даље ублажавање критеријума доводи до велике сличности између алтернатива и резултати не би били одговарајући.

На основу свих наведених претпоставки и добијених резултата оптимизације, може се закључити да се АХП метода, на начин предвиђен у овом раду, може у потпуности применити на оптимизацију избора грађевинских машина. При томе, критеријумске функције могу бити и другачије дефинисане: број машина, тип машина, потрошња енергената, трошкови одржавања машина, као и њихова комбинација, само су неки од критеријума који се такође могу применити у поступку оптимизације њиховог избора. Примена резултата оптимизације избора машина има конкретне и практичне резултате у планирању грађевинске производње.



---

## 8 Закључак и правци даљих истраживања

---

*На основу приказаног новог приступа избора машина и предложеног модела оптимизације, дат је закључак о претходном раду и постигнутим резултатима.*

*На крају, наведени су неки од могућих праваца истраживања и развоја приказаног модела избора машина и његове оптимизације.*



## 8.1 Закључна разматрања

Грађевинска механизација представља основни ресурс при реализацији инвестиционих пројеката. Планирање рада грађевинске механизације има кључни утицај на економску успешност сваког пројекта и пословања грађевинске фирме.

Једна од кључних процеса доношења одлука при реализацији инвестиционих пројеката у грађевинарству је избор грађевинских машина на појединим активностима и целом пројекту. Тип и модел изабраних машина одређују како ће радови бити изведени, колико ће дуго радови трајати, као и колико ће коштати. Према томе, за успешност пројекта, изузетно је битно да овај процес буде успешан и да се машине изаберу на оптималан начин.

Инжењери и менаџери у грађевинарству традиционално нису довољно пажње поклањали избору грађевинских машина и постројења. Услед недостатка научног приступа овом проблему, као и доступних метода избора и оптимизације у овој области, углавном су се ослањали на препоруке произвођача, као и интуицију у избору типа, модела и марке опреме која ће се користити. Избор машина је био базиран на људској перцепцији, која је неконзистентна и често под утицајем емоција или предрасуда.

Процес избора машина обухвата избор оптималне, између више алтернатива, што захтева како техничке тако и економске анализе. Међутим, у поређењу различитих алтернатива, увек постоје неки критеријуми који се тешко могу квантификовати а које, такође, треба да буду анализирани и подложни поређењу. Према томе, вишекритеријумска оптимизација је природни пут у процесу доношења одлука при избору грађевинских машина.

Избор машина базира се на поређењу техно-економских параметара више варијанти. Да би сагледали техно-економски параметри комбинација, потребно је утврдити какви су ти параметри код појединачних машина које сачињавају комбинацију која се пореди са другима. Проблем у сагледавању трошкова механизованог рада је да они нису тренутни, да се нагомилавају током времена, и да њихова вредност није очигледна. Са друге стране, неки од трошкова могу да се драстично промене током реализације пројекта. Неки од параметара, као трошкови амортизације, или трошкови енергије, имају велики утицај на коштање радног часа, али је метод њиховог прорачуна у пракси поједностављен до те мере да не одражава праве вредности. У дисертацији су сагледане основне врсте трошкова механизованог рада, дат је приказ досадашњег стања њиховог обрачуна, грешке које могу настати и дат је предлог њиховог обрачуна.

Као важан улазни податак за техно економске параметре који се користе у састављању комбинација машина и њиховом избору служе и базе историјских подата. Најважнија је она база коју има сама фирма власник машине. Међутим, формирање базе историјских података је захтеван посао који је данас потпуно запостављен у пракси. У недостатку сопствених база, могу се користити јавне базе са одговарајућим подацима. Једна од најбољих на свету је база *United States Army Corps of Engineers (USACE)*. Као саставни део ове базе је и приказ методологије којом се дошло до података у бази. Анализом ове базе долази се до закључка каква



база треба да буде и какву методологију прорачуна треба применити. У недостатку сопствене базе, могуће је применити и поменућу базу података USACE са одговарајућим прилагођавањима описаним у дисертацији.

Када се сагледају почетни техно економски параметри појединих машина, потребно је извршити њихово комбиновање ради извођења појединих позиција. Стање тржишна, нови начин обрачуна коштања радног часа машина, као и могућност изнајмљивања или лизинга машина, доводе то тога да класичан начин избора машина не задовољава. На основу анализа недостатака класичног начина прорачуна у новим условима, у дисертацији је дефинисан нови приступ избору машина. Формулисан је нови алгоритам прорачуна са поступком оптимизације избора.

С обзиром да власништво над грађевинском машином последњих година представља само једну од могућих опција права коришћења, у раду је приказан модел избора машина према начину финансирања. Како лизинг грађевинских машина није до сада анализиран у домаћој пракси, приказане су предности и недостаци овог начина финансирања и његов утицај на избор машина.

За формирање комбинација машина и њихов избор направљен је оригинални рачунарски програм CESAD (*Construction Equipment Selection ADviser*). Избор се врши на основу расположивог машинског парка, посматране позиције рада из пројекта, дефинисаних ограничења и услова оптималности: минималне цене, максималног профита и максималног учинка.

Појединачне комбинације су поређене и анализирани у односу на тражени критеријум. У раду су уведени нови параметри – индекс усклађености и коефицијент усклађености. Показана је зависност ових коефицијената у односу на критеријуме оптималности и начин побољшања појединачне комбинације машина на основу ових параметара. У дисертацији је дат и алгоритам оптимизације избора грађевинских машина на нивоу пројекта, базиран на предложеном моделу оптимизације на нивоу позиције.

Избор између могућих комбинација на једној позицији пројекта има изразиту вишекритеријумску природу. У складу са тиме, за оптимизацију избора између понуђених алтернатива, потребно је применити методе вишекритеријумске оптимизације. У дисертацији је детаљно описано због чега је, у поступку оптимизације, изабрана метода Аналитичког хијерархијског процесирања (АХП). Приказана је методологија вредновања алтернатива добијених из програма CESAD, модел њиховог међусобног вредновања и оцењивања добијених резултата.

Приказана метода је општа, са могућношћу промене критеријума према којима је извршено вредновање алтернатива. На основу приказаног модела вредновања алтернатива, може имати универзалну примену у оптимизацији избора машина.



## 8.2 Оригинални научни доприноси

У складу са предметом и циљевима истраживања, у дисертацији су извршена истраживања у иностраној и домаћој литератури, анализирани постојећи приступи и утврђени њихови недостаци. Дефинисан је нови модел избора машина, као и методологија оптимизације избора машина. У дисертацији су предложена побољшања постојећих приступа и потпуно нова решења и нови модели, који по свом приступу и садржају представљају оригиналне научне доприносе. У новом предложеном моделу, у оптимизацији процеса, примењена је научна метода АХП.

Главни научни доприноси дисертације састоје се у следећем:

- Извршена је критичка анализа досадашњег модела прорачуна коштања радног сата машина са предлогом новог начина прорачуна. Анализирани су трошкови са највећим утицајем на коштање радног сата и тестирани су различити модели њиховог прорачуна.
- Дефинисана је нова методологија избора грађевинских машина базирана на комбинацији технолошких ограничења и економских параметара. Овакав модел истиче значај повезаности техничких са економским параметрима избора кроз 10 универзалних ограничења која сужавају листу механизације коју је могуће ангажовати на појединачној позицији.
- Уведени су нови показатељи квалитета усклађености рада грађевинских машина у једној комбинацији (коэффициент усклађености и индекс усклађености). На основу ових параметара, могуће је брзо сагледавање усклађености машина у једној комбинацији и побољшање комбинације без поређења са осталим комбинацијама.
- Креиран је оригинални рачунарски програм CESAD заснован на новој предложеној методологији.
- Одређен је модел избора грађевинских машина на нивоу пројекта који се базира на сукцесивној оптимизацији машина на кључним позицијама радова. Овакав модел дефинише оптималну групу машина за реализацију целокупног пројекта, посебно за издвојене инфраструктурне пројекте.
- Дефинисани су нови критеријуми битни за оптимизацију избора грађевинских машина. Овакав приступ тежиште оптимизације избора машина са постизања минималне цене по јединице мере (стари приступ) пребацује на постизање максималног профита по јединици мере.
- Доказано је да оптимизација избора грађевинских машина има изразити вишекритеријумски карактер. Критеријуми могу да варирају у зависности од пројекта, али су најчешћи – цена по јединици мере, профит по јединици мере и остварени учинак.
- Формиран је модел за поређење алтернатива при вишекритеријумском вредновању комбинација машина. Предложени модел за поређење има изузетан значај за примењивост новопредложене методе с обзиром на различиту природу могућих критеријума.
- Нови модел за поређење алтернатива примењен је у АХП методи вишекритеријумске оптимизације.



### **8.3 Правци даљих истраживања**

Приказани модел избора машина и оптимизације избора развијен у оквиру овог истраживања пружа много могућности за даљи истраживачки рад. У овом поглављу биће поменуте само неке од њих.

Тренутно, у грађевинској пракси у Србији, веома мало пажње се поклања оптимизацији избора грађевинских машина. То показује да је или стручна оспособљеност оних који планирају рад грађевинских машина на ниском нивоу, или је маргина профита и даље веома висока. Како је документовано у поглављу 7.3.4 применом оптимизације могу се остварити значајне уштеде на пројектима.

Када се планира рад грађевинских машина, веома је значајно да се обрачун коштања радног сата и учинка машине везује за тачно одређену позицију. При томе је потребно знати са којим ће осталим машинама посматрана машина радити у групи те прорачун учинка ускладити са њима. Ово знатно компликује прорачун учинака и коштања радног сада, али би дало прецизније податке. Трошак депресијације, као један од доминантних трошкова, треба да буде посебно моделиран, у складу са тржиштем.

Трошкови механизованог рада у великој мери зависе од процењених вредности трошкова горива, мазива, одржавања и амортизације. Ове вредности се усвајају на основу препорука произвођача или искуствено. За успешност планирања рада машина, потребно је формирати квалитетну сопствену базу историјских података и планирање пројеката радити на основу сопствених историјских података. При томе, рад сваке машине, као и њене остварене техно – економске показатеље потребно је везати за исту позицију радова као што је позиција за коју се планира рад машине. Даља истраживања у овој области кретала би се у правцу дефинисања стандардних позиција (као што су позиције рада у високоградњи) и формирања неког вида норми утрошка рада и материјала за машински рад.

За прорачун учинака машинског рада, правци даљег развоја могу се кретати у истраживању губитака у времену. Код многих аутора, практични учинак се добија редукацијом теоријског учинка низом коефицијената. Код компликованијих операција, број коефицијената долази и до десет, чиме се учинак значајно смањује. Овакав приступ обухвата све утицаје на учинак, али даје ниже вредности учинка од реално остваривих учинака на градилишту. И у овој области је могуће повезивање планирања рада и прорачун учинка са базом историјских података. Такође, квалитет руковоаца машина, што је веома чест случај у пракси, ни једним коефицијентом није обухваћен, а може имати пресудан утицај на учинак машине.

Описани модел оптимизације избора користи три критеријума оптималности. Сличан модел може се поставити и за већи број критеријума. При томе је битно да се за све критеријуме усвоје мере међусобног вредновања критеријума. Метода АХП која је примењена у овом истраживању у потпуности је примењива и за већи број критеријумских функција.



Оптимизација избора машина на нивоу пројекта у овој дисертацији описана је начелно. Овакав метод је примењен у пракси и показао је добре резултате. Он је базиран на сукцесивној оптимизацији кључних позиција за које се прво додељују машине, а затим на прорачуну остатка пројекта. Ипак, проблем избора машина на нивоу пројекта је повезан са многим ограничењима – рок завршетка пројекта, могућност лизинга или изнајмљивања машина, услови пројекта, политика фирме, служба одржавања, расположива механизација, могућност набавке нових машина и слично. Овакав велики број ограничења, њихова интерактивност, велики број могућих комбинација, као и велики број променљивих чине да се метода оптимизације машина на нивоу пројекта разликује од оптимизације машина на нивоу једне позиције. За оптимизацију на нивоу пројекта, могуће је применити неку од метода вештачке интелигенције (генетске алгоритме или сличну методу).

Основна намена програма CESAD је да генерише све могуће комбинације, у складу са задатим ограничењима, и да од генерисаних комбинација изабере најбоље по одређеним критеријумима. Подаци о учинку машина уносе се појединачно за сваку машину. Правац развоја оваквог софтвера може ићи у више правца. Као прво, потребно је развити базу података са унапред дефинисаним позицијама рада и ангажовање машина повезивати са тим позицијама. Осим тога, прорачун учинака машина може бити посебан модул програма, или потпуно нов програм.



---

## 9 Литература

---



**Листа коришћене литературе по абecedном реду:**

- [1] Abbas R., Rajaie H., Hazrati A., *Optimized allocation of equipment for earthwork projects according to cost and time criteria*, 2nd International Conference on World of Construction Project Management WCPM2007
- [2] Ahmed M. Al-Ghassani, John M. Kamara, Chimay J. Anumba, Patricia M. Carrillo, *Prototype System for Knowledge Problem Definition*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132, No. 5, May 1, 2006. ©ASCE, ISSN 0733-9364/2006/5
- [3] Аризановић, Д., *Технологија грађевинских радова*, Универзитет у Београду, 1997.
- [4] Arslan M. Cagdas Et al. *A decision support system for machine tool selection* Journal of Manufacturin Technology Management Vol. 15 – No. 1 – 2004. Pp 101 – 109.
- [5] Cleland D. I., Ph. D., *Project management - Strategic Design and Implementation*, Sc. Edition, McGraw-Hill, 1994.
- [6] Chung-Wei Fenga, Tao-Ming Chengb, Hsien-Tang Wua, *Optimizing the schedule of dispatching RMC trucks through genetic algorithms*, Automation in Construction 13 (2004) 327– 340
- [7] Christina Burt, Lou Caccetta, Stephen Hill & Palitha Welgama, *Models for Mining Equipment Selection, International Congress on Modelling and Simulation*, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, pp. 170-176. ISBN: 0-9758400-2-9.
- [8] Douglas D. Gransberg, Calin M. Popescu, Richard C. Ryan, *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners*, Taylor & Francis, USA, 2006.
- [9] Day, A. David, Neal B. H. Benjamin, *Construction Equipment Guide*, John Wiley and Sons Inc. 1991.
- [10] Ђурановић П., *Управљање грађевинским пројектима*, Грађевински факултет Подгорица, 2004.
- [11] Edwards J. David Et al, *A Linear programming decision tool for selecting the optimum excavator Structural Survey*, Vol 19, No 2 – 2001 pp 113 - 120
- [12] Gates M. и Scarpa A., *Optimum size of hauling units*, Journal of Construction Division, ASCE, 1975, pp 853 – 860
- [13] Gunnar L. Christine M. Anderson, Michael Vorster, *Statistical Consideratios for Predicting Residual Value of Heavy Equipment*, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, July 2006 page 723 – 732
- [14] Gransberg D.D., *Optimizing Haul unit size and number based od loading facility characteristics*, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 1996. 248 – 253.



- 
- [15] Gates M., Scropa A., *Criteria for the Selection of Construction Equipment*, ASCE, Journal of the Construction Division, Vol. 106, No. 2, June 1980.
- [16] Haidar A., Naoum S., Howes R., and J. Tah *Genetic Algorithms Application And Testing For Equipment Selection Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 125, No. 1, January/ February, 1999. ©ASCE, ISSN 0733-9634/99/0001-0032-0038 Paper No. 15631.
- [17] Haupt Randy L., Haupt Sue Ellen, *Practical Genetic Algorithms*, 2nd Edition, 2004, John Wiley & Sons, Inc.
- [18] Ивковић Б., Поповић Ж., *Управљање пројектима у грађевинарству*, Грађевинска књига АД, Београд, 2005.
- [19] Jacobs W. Larry and Joachim Lauer, *DSS for Job Shop Machine Scheduling*, Industrial Management & Data Systems, Vol. 94 No. 4, 1994, pp. 15-23 © MCB University Press Limited, 0263-5577
- [20] Kamal M. Et al., *Application of the AHP in project management*, International Journal of Project Management 19 (2001) 19±27
- [21] Karsten Menzel Et al, *Resource Management for the Construction Industry*, Proceedings of the Xth International Conference on Computing in Construction and Building Engineering (ICCCBE), Weimar: S. : Bauhaus Universität Weimar 2004.
- [22] КОЛАРОВ Васиљка Et. al., *АХП вредновање самоходних машина за наводњавање применом различитих метода приоритизације*, Водопривреда, 0350-0519, 36 (2004) 209-210 п. 265-273
- [23] Линарић. З. – *Систави грађевинских стројева* (уџбеник) – Грађевински факултет у Загребу, 2000.
- [24] Levy, Sidney M., *Project Management in Construction*, Mc Grow Hill, 3rd ed. (401 pages), 2000.
- [25] Marzouk M., *Utility theory model for equipment selection*, Construction Innovation 2006; 6: 21-32
- [26] Marzouk M., Moselhi O., *Multiobjective Optimization of Earthmoving Operations*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130, No. 1, February 1, 2004.
- [27] Мехмедбашић С., *Механизација у грађевинарству*, Универзитет у Сарајеву, 2007. година.
- [28] Мирковић С. *Грађевинска механизација*, Грађевинска књига, 2005. година.
- [29] Murthly D.N.P Et al, *Strategic maintaince management*, Journal of Quality in Maintance Engineering, Vol. 8 No. 4 pp 287 - 305
- [30] Nunnaly, S., W., *Managing Construction Equipment*, Prentice Hall, USA, 2000.
- [31] Оприцовић Серафим, *Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству*, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1998.
- [32] Parsaye, K. Chignell, M. Khoshafian, S. Wong, H. *Inteligent Database - object Oriented, Deductive Hypermedia Technologies*, John Wiley & Sons, USA, 1989.
-



- 
- [33] Phelps R.E., **Equipment Cost**, Working Paper, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 1977.
- [34] Петронијевић Предраг, Ковачевић Милош, Бајат Бранислав, **Topic specific search engines in civil engineering**, The International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCB 2010). June 30-July 2, 2010, University of Nottingham.
- [35] Петронијевић П., Аризановић Д., Иванишевић Н., **Примена рачунарског програма CESAD при избору грађевинских машина** – 13. Међународни конгрес Друштва грађевинских конструктора Србије, Златибор – Чигота 22 – 24. септембар 2010. године
- [36] Петронијевић П., Аризановић Д., Иванишевић Н., **Методологија прорачуна коштања радног часа према USACE** – рад презентирани на интернационалном научно-стручном скупу: "Грађевинарство - наука и пракса" Жабљак 20-24. фебруар 2010. године (зборник радова ИСБН - 86-82707-13-6, стр.903-907)
- [37] Петронијевић П., Аризановић Д., Иванишевић Н., **Прорачун коштања радног часа према USACE** – Изградња број 1-2, јануар – фебруар 2011.
- [38] Peurifoy, Robert L., Ledbetter B. William, **Construction Planning, Equipment & Methods**, Fourth Edition, Mc Grow Hill, 3rd ed. (673 pages), 2000.
- [39] Поповић, Ж., **Модел управљања грађевинским пројектима у специфичним климатским и тржишним условима**, докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 2002.
- [40] Постников, А., **Задаци из грађевинских машина**, Грађевински факултет Универзитета у Београду, 1977.
- [41] Прашчевић Ж., **Операциона истраживања**, Грађевински факултет у Београду, 1992.
- [42] Протић Ђ., Клисински Т., **Просечне грађевинске машинске норме**, Грађевинска књига, 1979.
- [43] Rezaqallah H. Ramadhan Et al. **The use of an analytical hierarchy process in pavement maintenance priority ranking** Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 5 No. 1, 1999, pp. 25-39, © MCB University Press, 1355-2511
- [44] Sacks Rafael, Ronie Navon, Aviad Shapira and Brodetsky Irina, **Monitoring Construction Equipment for Automated Project Performance Control ISARC** - Nineteenth International Symposium on Automation and Robotics in Construction, NIST, Gaithersburg, MD, USA, September 2002
- [45] Saaty, TL. **The analitic hijerarchy process**, McGraw-Hill, New York, 1980.
- [46] Saaty, TL. **The Hierarchon: A Dictionary of Hierarchies**, RWS, 1992.
- [47] Schaufelberger, E., Johh, **Construction Equipment Management**, Prentice Hall, USA, 1999.
- [48] Snaebjorn Jonasson Et al, Phillip S. Dunston, Kamal Ahmed; and Jeff Hamilton, **Factors in Productivity and Unit Cost for Advanced Machine Guidance**, Journal
-



- 
- of Construction Engineering and Management, Vol. 128, No. 5, October 1, 2002. ©ASCE, ISSN 0733-9364/2002/5- 367-374
- [49] Стефановић А., *Истраживања у области грађевинске механизације*, Универзитет у Нишу, 1984. године
- [50] Tam C. M. et al, *Selection of Concrete Pump Using the Superiority and Inferiority Ranking Method*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 130, No. 6, December 1, 2004. ©ASCE, ISSN 0733-9364/2004/6-827-834.
- [51] Трбојевић Б., проф. Др Живојин Прашчевић, *Грађевинске машине*, Грађевинска књига, девето издање, Београд, 1991.
- [52] Трбојевић Б., *Трошкови рада грађевинске механизације*, Грађевински календар, Савез грађевинских инжењера и техничара Југославије, Београд, 1971.
- [53] Vischer J., *Post-Occupancy Evaluation: A Multifacaded Tool for Bulding Improvement*, National Academy Press, Washington, 2002.
- [54] Zane W. Mitchell Jr, *A Statistical Analysis Of Construction Equipment Repair Costs Using Field Data & The Cumulativ Cost Model*, Pd Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, 1998. Blackburg Virginia USA
- [55] *Assessment, Selection and Financing of Construction Equipment*, Construction Equipment, Vol. 10 – No 5, June 1999.
- [56] *Building Construction Machinery and Equipment - Classification*, BSi, DD237:1996 ISO/TR 12603:1996
- [57] Caterpillar Co. *Caterpilallar Performance Handbook Edition 26*, Peoria, Illinois, USA, 1995.
- [58] USACE, *Construction Equipment Ownership and Operating Expense Schedule*, 2007.
- [59] Савез грађевинских инжењера и техничара Југославије, *Грађевински календар*, 1971.















РД 21319



300166444

COBISS