

## Техничко решење

# Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара

### 1. Идентификациони подаци

Аутори решења	Др Далибор Добриловић, др Весна Јевтић, др Иван Бекер
Назив техничког решења	Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара
Врста техничког решења	Нова метода (уз доказ) М85
Наручилац решења	1. Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ, д.о.о. Зрењанин Техничко решење је развијено у оквиру пројекта ТР32044 „Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса“ које финансира Министарство за науку и образовање Републике Србије
Корисник решења	Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ д.о.о Зрењанин Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Година решења	2012
Решење прихваћено од	Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ д.о.о Зрењанин Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Решење примењује	Пословни инкубатор Зрењанин, БИЗ д.о.о Зрењанин Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин
Начин верификације решења	Преглед техничке документације решења и тестирање решења емпиријским подацима.
Начин коришћења решења	Решење се користи у свакодневном раду корисника за унапређење пословних процеса.

## **2. Опис техничког решења**

У складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“, бр. 38/2008) ово техничко решење спада у категорију „прототип, нове методе, софтвер, инструмент, нове генске пробе, микроорганизми и сл.“ као нова метода (нови алгоритам).

### **2.1. Област на коју се техничко решење односи**

Приказано техничко решење је мултидисциплинарно и обухвата области као што су анализа података, оптимизација унутрашњег транспорта, софтверско инжењерство, рачунарске мреже и теорија графова.

Техничко решење представља модел за одређивање оптималне путање кретања виљушкара у складишту. При томе је узето у обзир да складиште може бити произвољне величине, са једним или два виљушкара који се могу кретати хоризонтално и вертикално. Оптимизација је заснована на историјским информацијама о важности робе у складишту. Резултат анализе свих претходно наведених података представља улазне податке модела за чије представљање се користи 3Д граф. Претраживањем графа, са циљем налажења најкраћих путања између одабраних чворова, оптимизује се кретање виљушкара по питању времена/цене транспорта робе.

Решење проблема које захтева одређивање оптималне путање између две тачке је решавано у многим областима и добијано помоћу више различитих техника. Међу њима су веома популарни и широко коришћени алгоритми за одређивање најкраће путање, посебно у проблемима транспорта, као и компјутерских мрежа. У питању су алгоритми: Дијкстра, А\*, Флојд-Варшалов и Белман-Фордов. Такође, ту је и протокол за динамичко рутирање – Routing Information Protocol (RIP), заснован на Белман-Фордовом алгоритму удаљеног вектора [1, 2]. Open Shortest Path First (OSPF) и OSI протокол IS-IS су такође протоколи за динамичко рутирање који користе Дијкстра алгоритам [3, 4, 5, 6].

Оптимизација у моделу је реализована на основу модификованог Дијкстра алгоритма [6] за проналажење најкраће путање, док је његов прототип имплементиран у Matlab-у [7]. Овај алгоритам налази оптималну путању која укључује трошкове путање између виљушкара и најближе локације, као и трошкове подизања или спуштања робе. Такође, он садржи и трошкове окретања виљушкара чиме је допринето тачности модела.

Креирани модел доприноси побољшању пословних процеса и продуктивности, као и смањењу трошкова и аутоматизацији логистичких процеса.

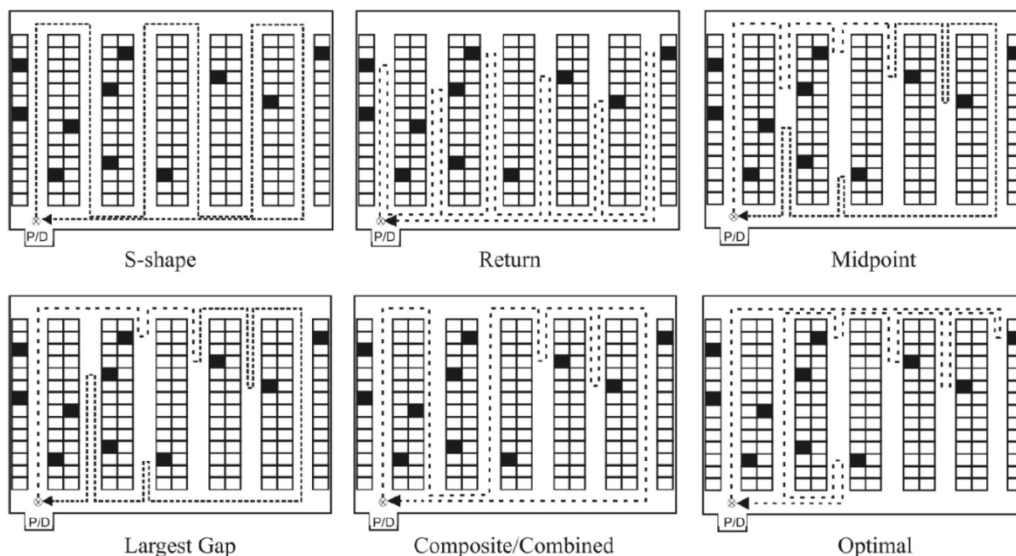
### **2.2. Проблем који се техничким решењем решава**

Унутрашњи транспорт је препознат као један од највећих извора губитака чијој елиминацији данашња економија поклања велику пажњу [7]. Чињеница да већина трошкова у типичном складишту потиче од одабира робе (чак 55% од укупних оперативних трошкова [8]), сврстава унутрашњи транспорт у примарне кандидате за оптимизацију.

Ако се посматра производња у некој фабрици, на пример, обично свако њено одељење има своја средства транспорта. Камioni или виљушкари се шаљу по материјал из других одељења, као и по готове производе које затим возе у продавнице. Обично су транспортни капацитети празни у једном смеру, што резултује искоришћењем од око 50%. Ово се дешава зато што одељења не познају међусобне захтеве за транспортом. Уколико би се контрола средстава транспорта централизовала то би, са једне стране, резултовало тиме да проток материјала буде тако одмерен (по правцу и квантитету) да се могу успоставити фиксне путање транспорта. Са друге стране, може се десити да се контролни центар суочи са озбиљним проблемом: свака тачка у фабрици може бити у исто време и извор и понор. У прилог томе, захтеви за транспортом се могу јавити нерегуларно и са различитим приоритетом, док се распоређивање не може обавити унапред већ у датој ситуацији. Такође, многе проблеме додељивања и распоређивања треба решити брзо и

симултано. Захваљујући модерном хардверу и софтверу, као и употребом комбинације модификованих традиционалних алгоритама Операционих истраживања и хеуристика, овај проблем се може решити. [9]

Оптимизацијом се могу остварити значајне уштеде. Према [10] употребом метода за одређивање путања могуће је смањити растојање транспорта између 17% и 34%. Ова вредност зависи од одабране методе. Иако алгоритам за одређивање оптималне путање постоји, у пракси се првенствено користе хеуристике за одређивање путање виљушкара. Према томе, постоје различити модели за избор путање (слика 1).



Слика 1. Различити модели избора путање [7]

Техничко решење решава проблем одређивања најкраће путање виљушкара за универзални модел складишта. Према томе, претпоставка је да складиште може бити произвољне величине, да се виљушкар при транспорту робе може кретати хоризонтално и вертикално, као и да се може наћи у једној или две позиције: на улазу и/или излазу складишта.

Техничко решење омогућава оптимизацију која се односи на трошкове транспорта при избору локације за јединицу залиха (SKU – stock keeping unit). Она јединица залиха која има већу фреквенцију трансакција се смешта на локацију са нижим трошковима транспорта. Рачун се изводи за случај потпуно празног складишта, као и током експлоатације складишног простора за одређивање локације на коју ће се поставити новопристигла SKU. За оптимизацију се користе историјске информације о важности робе у складишту, које се тичу броја постављања и одабира одређене SKU, односно њиховог приоритета. Примењује се ABC анализа како би се одредило која јединица робе има највећу фреквенцију постављања/одабира, а која најмању. Иста анализа се користи у случају локација у складишту и трошкова (или потребног времена) за постављање/одабир јединице робе. Након овог рачуна прати се једноставно правило: SKU са највећом фреквенцијом (област А у ABC дијаграму) ће бити смештена на локацију са најмањим трошковима (или најкраћим временом транспорта), док ће SKU са најмањом фреквенцијом (зона С у ABC дијаграму) бити смештена на локацију са највећим трошковима (или најдужим временом транспорта), док је једини проблем како одредити најмање могуће трошкове (времена) за сваку локацију.

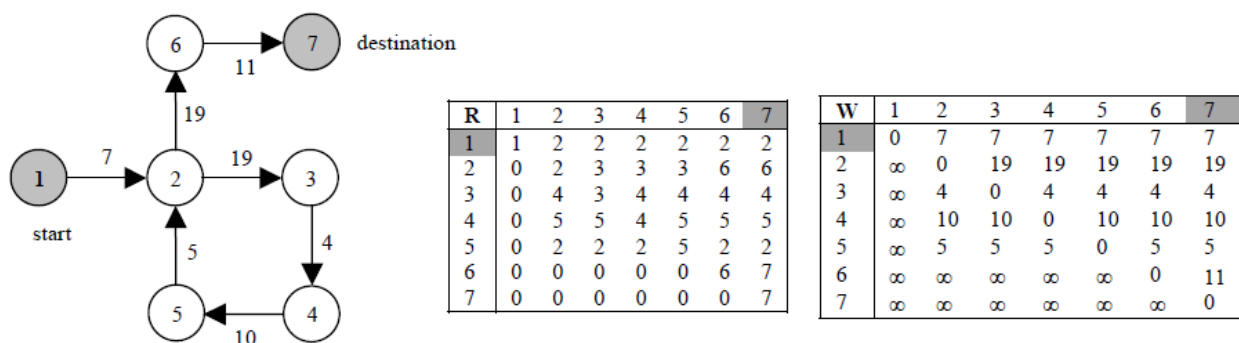
Као што је речено, универзалност модела се огледа у томе што је претходно наведени проблем решен за случајеве постојања једног виљушкара (са складиштем које има само један улаз/излаз) или два виљушкара (са складиштем које има по један улаз или излаз). Према томе, решење садржи трошкове (време) транспорта виљушкара од улаза до одређене локације у складишту и

постављања SKU на одабрану локацију и повратне путање и/или трошкове (време) транспорта виљушкара од излаза до одређене локације за одабир SKU и враћање на излаз складишта.

Проблем, који је такође био у фокусу техничког решења, јесте и испитивање могућности примене алгоритама за одређивање најкраће путање за оптимизацију путање виљушкара са циљем унапређења рада у складишту. Показало се да се примењени алгоритми могу користити и у случајевима других типова возила, као и за различите типове складишних простора. [11]

### 2.3. Преглед постојећих решења

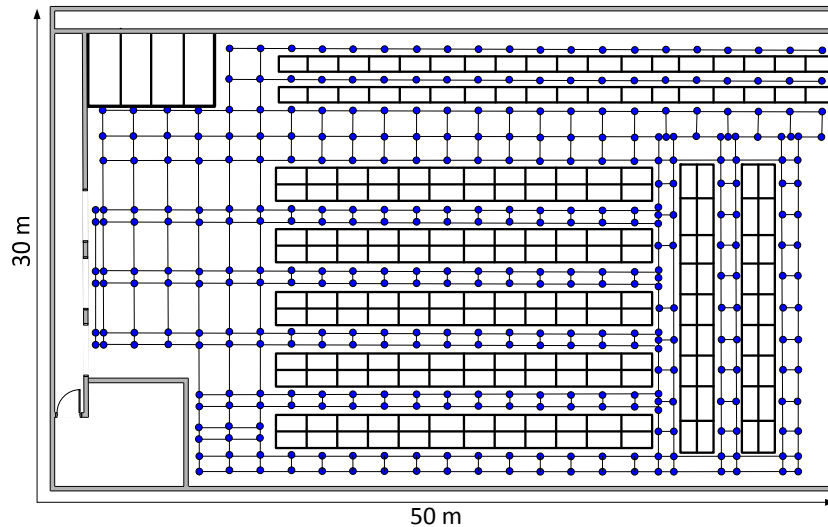
Поменути алгоритми: Дијкстра, A\*, Флојд-Варшалов и Белман-Фордов, су коришћени за планирање оптималне путање у више модела. На пример, Hentschel и остали [12] су креирали апликацију за генерисање путање аутономног RTS-STILL роботизованог виљушкара који може слободно да локализује и навигира у динамичком окружењу. Они су користили граф базирани алгоритам рутирања за комбиновање различитих путања и налажење најкраће путање између два чвора. Дефинисали су граф  $G = (V, E)$  којим је дефинисан скуп чворова  $V$  и скуп стрелица  $E$  где су чворови  $v_a \in V$  и  $v_b \in V$  повезани стрелицом  $e_{a,b} \in E$ . Према Флојду (1962) [13], матрица тежина  $W$  је искоришћена за одређивање путање са најмањим трошковима између два чвора. Елеменат  $w_{a,b} \in W$  садржи трошкове те одређене путање. Поред тога, уведена је и матрица путање  $R$  за чување најкраћих путања у  $G$ . Обе матрице се дефинишу уношењем усмерених стрелица  $e_{a,b}$  у матрицу  $R$  и одговарајућих трошкова тежина  $e_{a,b}$  у матрицу  $W$  (слика 2) [12].



Слика 2. R и W матрице за пример мрежног дијаграма лево [12]

Поред овога, Вивалдини и остали [14] су представили систем рутирања за интелигентна складишта који може да решава саобраћајне гужве и сукобе и генерише оптималне путање без конфликта пре слања финалне путање роботизованим виљушкарима. Поред осталог, њихов систем је базиран и на Дијкстра алгоритму.

Такође, Вивалдини и остали [15] су користили модел складишта које је састављено возног парка са шест виљушкара који се крећу у двосмерном колу састављеном од 360 чворова повезаних са 652 стрелице, као што је приказано на слици 3. Ту су и одређене станице: 6 депо станица за роботе виљушкарне, 4 производне станице (A, B, C и D), 11 полица са разним станицама и 6 станица платформи за напајање. Они су претпоставили да централна јединица контроле (Unit Control Central – UCC) рачуна путање употребом алгоритма рутирања и шаље их роботима виљушкарима.

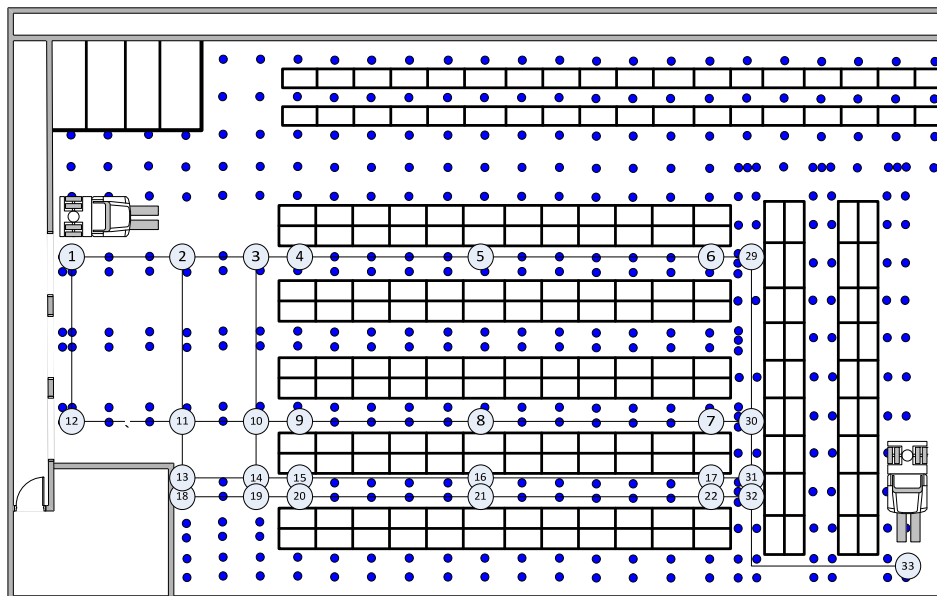


Слика 3. Финални граф матираног модела [15]

И у овом случају су користили Дијкстра алгоритам за израчунавање путања виљушкара у односу на трошкове.

#### 2.4. Опис техничког решења

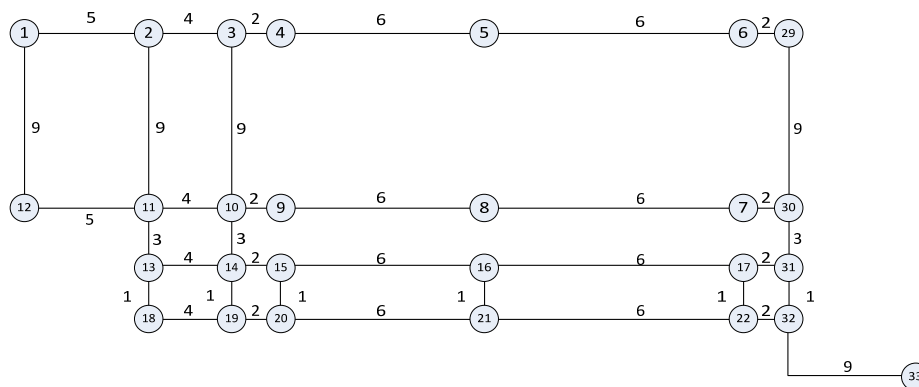
Техничким решењем су обједињене следеће компоненте: шема складишта са придруженим 2D графом, матрица тежина, 3D проширење складишта и матрица нивоа. На основу ових података могуће је оптимизовати путању виљушкара у општем случају: складиште произвољне величине са могућношћу складиштења јединица робе хоризонтално и/или вертикално, складиште има један улаз/излаз или један улаз и један излаз и складиште има једног или два виљушкара. Пример оваквог складишта је дат на слици 4. При томе се техничким решењем одређује оптимална путања за све претходно наведене случајеве.



Слика 4. Пример складишта за оптимизацију кретања виљушкара

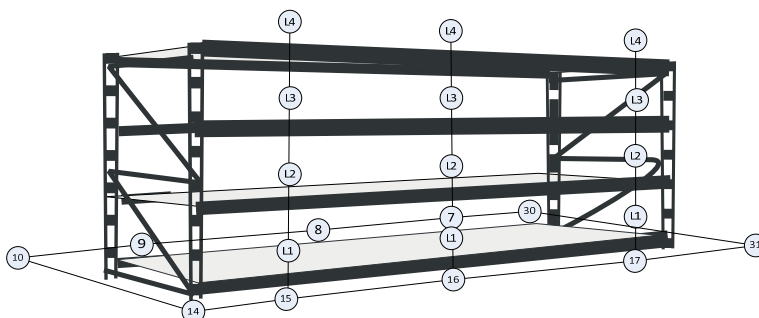
За потребе примене Дијкстра алгоритма дефинише се граф складишта са ценама пута (тежинама) између суседних локација. На слици 5 је приказан граф складишта са слике 4. На пример, уколико виљушкар треба да постави јединицу робе на позицију 9-2 (локација 9, ниво 2) креће се путањом

1-12-11-10-9 (ако складиште има један улаз), односно и путањом 33-32-31-7-8-9, уколико има и излаз. Дијкстра алгоритам налази најекономичнију путању, ону са најмањим трошковима.



Слика 5. 2D граф складишта са слике 4

Време потрошено за одлагање јединице робе на одабрану локацију не зависи само од растојања које виљушкар треба да пређе између две локације. Укупни трошкови укључују и време потребно да виљушкар одложи/подигне робу са полице одређеног нивоа. Ово је решено 3D проширењем графа складишта. Пример оваквог проширења за локације 15, 16 и 17 су приказане на слици 6.



Слика 6. 3D проширење графа које укључује трошкове подизања/спуштања робе

Ови подаци су довољни за примену ABC анализе јединица робе и даљу оптимизацију унутрашњег транспорта и распореда робе у складиштима. Категоризација локација складишта се завршава након израчунавања трошкова транспорта за сваку од њих. Ови резултати се смештају у базу података. Структура и инвентар јединица робе у складишту утичу на дужину периода ажурирања ове базе која може бити након 3, 6 или 12 месеци или након велике измене инвентара.

Имплементација техничког решења у Matlab-у користи претходно наведене податке и проверава сваки чвор графа како би утврдила да ли је у питању локација складишта или не. Уколико је чвор локација складишта, Дијкстра алгоритам рачуна најкраћу путању до тог чвора, док се трошкови путање одређују према (1, 2). Такође, ови подаци су улазни подаци за креирање матрица  $W$  и  $L$ .

Матрица  $W$ , представља матрицу тежина 2D приказа складишта и користи за прорачуне. Део ове матрице за граф са слике 5 је дат у табели 1. Елемент  $W(i,j)=\infty$  указује на то да не постоји веза између чворова  $i$  и  $j$ . Са друге стране, ненула елементи матрице су једнаки трошковима путање између чворова  $i$  и  $j$ . На пример,  $W(10,9)=2$  значи да су трошкови путање између чворова 10 и 9, 2 јединице.

Табела 1. Део матрице тежина (матрице веза)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	...	30	31	32	33
1	∞	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
2	5	∞	4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
3	∞	4	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
4	∞	∞	2	∞	6	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
5	∞	∞	∞	6	∞	6	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
6	∞	∞	∞	∞	6	∞	6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
7	∞	∞	∞	∞	∞	6	∞	6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	2	∞	∞	∞
8	∞	∞	∞	∞	1	∞	6	∞	6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
9	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	6	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
10	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	2	∞	4	∞	∞	3	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
11	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	∞	5	3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
12	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	∞	∞	∞
13	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	∞	∞	4	∞	∞	∞	1	∞	...	∞	∞	∞	∞
14	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	∞	∞	4	∞	2	∞	∞	∞	1	...	∞	∞	∞	∞
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
29	∞	∞	∞	∞	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	1	∞	∞	∞
30	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	3	∞	∞
31	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	∞	∞	...	∞	∞	1	∞
32	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	1	∞	9
33	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	...	∞	1	9	∞

Приказ 3D графа складишта је омогућен матрицом нивоа,  $L$ . Њени елементи представљају трошкове подизања/спуштања робе са полице, као и ниво полице. Део матрице нивоа је представљен у табели 2. Ова табела садржи трошкове подизања за три нивоа и локације 4, 5 и 6 и четири нивоа на локацијама 7, 8 и 9. Оваква презентација се може применити у различитим складиштима. У овом случају, локације 4, 5 и 6 су моделоване као полице на три нивоа, а локације 7, 8 и 9 као полице на 4 нивоа.

Табела 2. Део  $L$  матрице 3D графа складишта

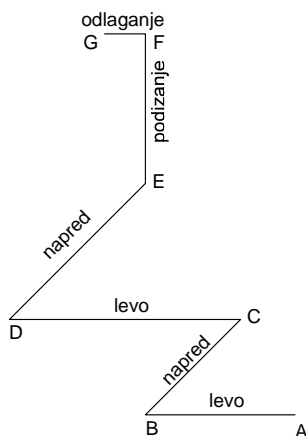
$P_j \backslash L_i$	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	1	1	1	1	1	0
2	0	1	1	1	1	1	1	0
3	0	1	1	1	1	1	1	0
4	0	0	0	0	1	1	1	0

Локације 3 и 10 су места која не служе за одлагање робе и користе се само за пролаз виљушкара. Израчунати трошкови за локацију 4 на нивоу 2 су 2 јединице (кумулативни трошкови за сваки ниво), док су за локацију 8 на нивоу 4 они 4 јединице.

Имплементација техничког решења у Matlab-у обухвата и време потребно за кретање и окретање виљушкара у одређеним тачкама складишта и на тај начин је допринето тачности решења. Према томе узет у разматрање општи случај који је описан у наставку.

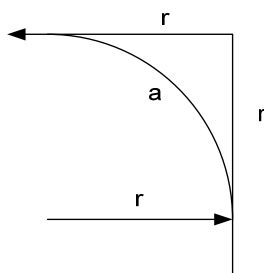
У општем случају, кретање виљушкара се може представити низом праволинијских деоница, које се настављају једна на другу најчешће под правим углом. На крају путање виљушкара, врши се подизање терета и његово позиционирање на место чувања, након чега следи спуштање виљушке и (најчешће) повратак на почетну позицију (понављење истог низа праволинијских деоницау супротном смеру). У случају да се не ради о одлагању него преузимању SKU-a (stock keeping unit), може се користити исто време које је дефинисано и за одлагање, пошто су разлике занемарљиве. На слици 7 је приказана једна могућа – општа путања виљушкара, све до одлагања SKU у тачки G.

Приликом одређивања времена кретања виљушкара, потребно је дефинисати брзину кретања на правцу ( $v_1$ ), као и време које се утроши на скретање (очигледно је да виљушкар приликом скретања мора да смањи брзину ( $v_2$ ) и том приликом се креће путањом која апроксимативно представља део, најчешће четвртину, кружнице одређеног полупречника –  $r$ ).



Слика 7. Путања виљушкара до одлагања SKU у тачки G

Да би се избегао сувише детаљан приказ, могуће је занемарити ово криволинијско кретање смањеном брзином, већ претпоставити да се виљушкар креће праволинијски до тачке промене правца и да у се у тој тачки тренутно окреће за 90 степени и наставља новим правцем без смањивања брзине. Очигледно је да овакво кретање у стварности није могуће, али у случају симулације и израчунавања времена потребног за скретање, оваквим одређивањем времена се чини изузетно мала грешка, а израчунавање се значајно поједностављује. На слици 8 су приказане разлике између поменути два начина одређивања времена.

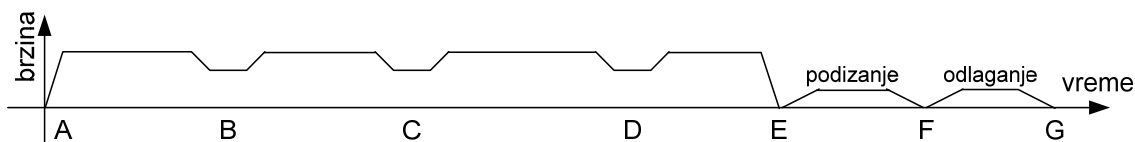


Слика 8. Разлика два начина одређивања времена

У случају да се виљушкар креће путањом а, пређени пут износи  $s = \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot r \cdot \pi = 1,57 \cdot r$

а ако се креће праволинијском путањом, тада је пређени пут  $s = 2 \cdot r > 1,57 \cdot r$

Уколико би смањење брзине при скретању износило приближно 20% (виљушкар би се кретао брзином која износи 80% праволинијске брзине), тада би време кретања у оба случаја било приближно једнако. Како је 80% од праволинијске брзине могуће остварити приликом скретања, могуће је и време кретања виљушкара одредити и помоћу апроксимације да се виљушкар креће искључиво праволинијским путањама. У општем случају, за слику 7, могуће је приказати дијаграм брзина:



Слика 9. Дијаграм брзина кретања виљушкара

Посматрајући овај дијаграм, може се закључити да је потребно одредити следеће величине (поред свих димензија у складишту – дужине свих деоница):



- $v_1$  – брзина праволинијског кретања виљушкара
- $l_1$  – средња или просечна дужина путање која је потребна да би виљушкар убрзао из мировања до брзине  $v_1$  или
- $t_1$  – време које је потребно да би виљушкар убрзао из мировања до брзине  $v_1$  (ове две величине су повезане изразом  $l_1 = v_1 \cdot t_1$ )
- $r$  – полупречник криволинијске путање – при скретању виљушкара
- $v_2$  – брзина кретања виљушкара приликом скретања
- $l_2$  – средња дужина путање која је потребна да би виљушкар убрзао од брзине  $v_2$  до брзине  $v_1$  или
- $t_2$  – време које је потребно да би виљушкар убрзао од брзине  $v_2$  до брзине  $v_1$  (и ове две величине су повезане изразом  $l_2 = (v_1 - v_2) \cdot t_2$ )
- $v_3$  – брзина подизања/спуштања виљушке, односно, терета
- $l_3$  – средња дужина путање која је потребна да би виљушка убрзала од стања мировања до брзине  $v_3$  или
- $t_3$  – време које је потребно да би виљушка убрзала од стања мировања до брзине  $v_3$  (и ове две величине су повезане изразом  $l_3 = v_3 \cdot t_3$ )
- $v_4$  – брзина уношења виљушке, односно, терета у регал
- $l_4$  – средња дужина путање која је потребна да би виљушка убрзала од стања мировања до брзине  $v_4$  или
- $t_4$  – време које је потребно да би виљушка убрзала од стања мировања до брзине  $v_4$  (и ове две величине су повезане изразом  $l_4 = v_4 \cdot t_4$ )
- $d$  – средња вредност дубине до које виљушка мора ући у регал да би било могуће одложити терет – на поменутој слици то је дужина FG

Пошто се увек јавља варијација ових величина, све поменуте вредности представљају уствари средње или неке просечне, па чак и очекиване вредности.

Овде је такође могуће предвидети времена чекања између праволинијског кретања и почетка дизања терета  $t_5$ , између завршетка дизања и почетка уношења терета у регал  $t_6$ , као и време трајања одлагања терета у регал  $t_7$ . И на крају је могуће направити једну апроксимацију да су повратни ходови идентични са њиховим паром – ходовима који се чине при уношењу терета у регал. Користећи раније приказане дијаграме кретања и брзина, могуће је одредити време за поменуто кретање и оно се одређује по следећем изразу:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{l_1}{v_1} + \frac{\overline{AB} - l_1 - l_2}{v_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + \frac{1,57 \cdot r}{v_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + \frac{\overline{BC} - 2 \cdot l_2}{v_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + \frac{1,57 \cdot r}{v_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + \frac{\overline{CD} - 2 \cdot l_2}{v_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + \frac{1,57 \cdot r}{v_2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + \frac{\overline{DE} - l_1 - l_2}{v_1} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_1}{v_1} + t_5 + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_3}{v_3} + \frac{\overline{EF} - 2 \cdot l_3}{v_3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_3}{v_3} + t_6 + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_4}{v_4} + \frac{d - 2 \cdot l_4}{v_4} + \frac{1}{2} \cdot \frac{l_4}{v_4} + t_7$$

Ово је могуће написати и у краћем облику

$$T = \frac{\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD} + \overline{DE}}{v_1} - \frac{l_1}{v_1} - 6 \cdot \frac{l_2}{v_1} + 6 \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + 3 \cdot \frac{1,57 \cdot r}{v_2} + t_5 + \frac{\overline{EF}}{v_3} - \frac{l_3}{v_3} + t_6 + \frac{d}{v_4} - \frac{l_4}{v_4} + t_7$$

или у општем облику

$$T = \sum_{i=1}^n L_i - \frac{l_1}{v_1} - 2 \cdot (n-1) \cdot \frac{l_2}{v_1} + 2 \cdot (n-1) \cdot \frac{l_2}{v_1 - v_2} + (n-1) \cdot \frac{1,57 \cdot r}{v_2} + t_5 + \frac{H_i}{v_3} - \frac{l_3}{v_3} + t_6 + \frac{d}{v_4} - \frac{l_4}{v_4} + t_7$$

где је

- $L_i$  – дужина једног праволинијског сегмента на путањи
- $n$  – број праволинијских сегмената на путањи
- $H_i$  – висина дизања за конкретну локацију у регалу

На овај начин је могуће одредити просечно време кретања виљушкарa у једном правцу, све до одлагања SKU на жељено место.

Уколико се виљушкар, након обављеног одлагања SKU, враћа на почетну позицију како би тамо сачекао нови задатак, тада је потребно израчунато време помножити са два (уколико важи претпоставка да су радна времена једнака повратним).

Напомена: уколико се не жели уносити поједине вредности или се сматра да оне у конкретном случају не постоје (нпр. времена и путање при убрзавању – успоравању), потребно је једноставно навести да су те вредности једнаке нули.

## 2.5. Реализација техничког решења

Псеудо код главне процедуре апликације за одређивање оптималне локације складишта је дат на слици 10. У њој се позива SPD процедура којом се рачуна најкраћи пут за сваку дату празну локацију почевши од чвора 1.

---

Listing - *Main procedure*

---

**procedure** *main()*

```
Initialize ConnectivityMatrix; {define connectivity matrix }
Initialize WeightMatrix; {define weight matrix}
Initialize LevelMatrix; {definelevel matrix}
Initialize MovementParameters; {define speed, time and length movement parameters }
Initialize LocationNodes; {define location node vector}
Initialize LocationLevels; {define location level vector}
Initialize StartPoints; {define forklift one or two startpoints}
for Node =1 to Length(LocationNodes) do
  begin
    [Cost,Path] :=SPD(ConnectivityMatrix, WeightMatrix,StartPoint,Node);
    Calculate Height; {using LevelMatrix and LocationLevel };
    Calculate OneWayTime; {using formula for T};
    Calculate TimeTotal; {using formula for T*2 for input and output };
    Create LocationCostMatrix; {Matrix contains
      LocationNode(Node),LocationLevel(Node),Cost(Node),OneWayTime, TotalTime };
  end
  Calculate ABCCategories;
  Sort LocaltionCostMatrix;
  Update LocaltioncostMatrix; {Add ABC categorization to each Location-Level };
  Create Report;
end {procedure}
```

---

Слика 10. Оптимизација локације складишта

SPD процедура је Дијкстра алгоритам који решава проблем одређивања најкраће путање у графу са ненегативним тежинама и једним почетним чвором. Од овог чвора Дијкстра алгоритам налази најкраћу путању до свих осталих чворова графа. Имплементација техничког решења је урађена у Matlab-у.

## 2.6. Могућности примене техничког решења

Техничко решење се може користити у апликацијама које се користе:

- у почетној фази креирања складишта за распоређивање робе у складишту;
- у току експлоатације складишта за распоређивање робе у складишту;
- за анализу ефикасности унутрашњег транспорта у складиштима;
- за пројектовање складишта.

## **2.7. Литература**

- [1] G. Malkin, RFC 2453, RIP version 2, The Internet Society, November 1998.
- [2] Richard Bellman: On a Routing Problem, in Quarterly of Applied Mathematics, 16(1), pp. 87–90, 1958.
- [3] J. Moy, RFC 2328, OSPF version 2, The Internet Society, April 1998.
- [4] R. Coltun, D. Ferguson, J. Moy, A. Lindem, RFC 5340, The Internet Society, July 2008.
- [5] D. Oran, RFC 1142, The Internet Society, February 1990.
- [6] E. W. Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik 1: 269–271, 1959.
- [7] D. Dobrilovic, V. Jevtic, I. Beker, Z. Stojanov, „Shortest-path based model for warehouse inner transportation optimization“, Proceedings of 7th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), pp 63-68, 24-26 May, Timisoara, Romania, 2012, DOI:Digital Object Identifier: 10.1109/SACI.2012.6249977.
- [8] U.S.S. Dharmapriya, A.K.Kulatunga, New Strategy for Warehouse Optimization – Lean warehousing, Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Kuala Lumpur, Malaysia, January 22 – 24, 2011
- [9] H.J. Zimmermann, Applications of intelligent systems in Transportation logistics, INTELLIGENT DECISION MAKING SYSTEMS, Proceedings of the 4th International ISKE Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering, Hasselt, Belgium, 27 - 28 November 2009
- [10] Goran Đukić, Vedran Česnik and Tihomir Opetuk, Order-picking Methods and Technologies for Greener Warehousing, Strojarstvo 52, pp 23-31, 2010
- [11] I. Beker, V. Jevtic, D. Dobrilovic, Z. Stojanov. Possible Extensions of Model for Forklift Inner Transportation Optimization, Scientific Bulletin of the “Politehnica”, University of Timisoara, Romania, in press
- [12] Matthias Hentschel, Daniel Lecking, Bernardo Wagner, Deterministic path planning and navigation for an autonomous forklift truck, Proceedings of IFAC 2007, 2007.
- [13] Floyd, R. W. (1962). Algorithm 97: Shortest path. Communications of the ACM, Volume 5 No 6.
- [14] K.T. Vivaldini, J. P. M. Galdames, T. B. Pasqual, R. C. Araújo, R. M. Sobral, M. Becker, and G. A. P. Caurin" Robotic Forklifts for Intelligent Warehouses: Routing, Path Planning, and Autolocalization", in IEEE – International Conference on Industrial Technology, Viña del Mar – Valparaíso, Chile, Mar. 2010.
- [15] K.T. Vivaldini, J. P. M. Galdames, T. B. Pasqual, M. Becker, and G. A. P. Caurin, “Intelligent Warehouses: focus on the automatic routing and path planning of robotic forklifts able to work autonomously,” Mechatronics Systems: Intelligent Transportation Vehicles, 2010.
- [16] Michal Pióro, Deepankar Medhi, Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks, Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier, 2004.

## Прилог 1

Приказ примене методе за прорачун трошкова транспорта до наведених локација из примера са слике 4 и у случају када се користи један виљушкар за транспорт.

Position	Level	Cost	Time	TotalTime	Category
4	1	11	15,71	62,84	1
4	2	11	16,71	66,84	1
4	3	11	17,71	70,84	1
9	1	12	18,78	75,12	1
9	2	12	19,78	79,12	1
9	3	12	20,78	83,12	1
5	1	17	21,28	85,12	1
9	4	12	21,78	87,12	1
5	2	17	22,28	89,12	1
15	1	15	22,85	91,40	1
5	3	17	23,28	93,12	1
15	2	15	23,85	95,40	1
8	1	18	24,35	97,40	2
15	3	15	24,85	99,40	2
8	2	18	25,35	101,40	2
15	4	15	25,85	103,40	2
20	1	16	25,92	103,68	2
8	3	18	26,35	105,40	2
6	1	23	26,85	107,40	2
20	2	16	26,92	107,68	2
8	4	18	27,35	109,40	2
16	1	21	27,42	109,68	3
6	2	23	27,85	111,40	3
20	3	16	27,92	111,68	3
16	2	21	28,42	113,68	3
6	3	23	28,85	115,40	3
16	3	21	29,42	117,68	3
7	1	24	29,92	119,68	3
16	4	21	30,42	121,68	3
7	2	24	30,92	123,68	3
21	1	22	31,49	125,96	3
7	3	24	31,92	127,68	3
21	2	22	32,49	129,96	3
7	4	24	32,92	131,68	3
21	3	22	33,49	133,96	3
17	1	27	33,99	135,96	3
17	2	27	34,99	139,96	3
17	3	27	35,99	143,96	3
17	4	27	36,99	147,96	3
22	1	28	37,06	148,24	3
22	2	28	38,06	152,24	3
22	3	28	39,06	156,24	3

Примљено: 11.02.2013.			
Стр. бр.	Број	Парел.	Предмет
01	340		

Мишљење о техничком решењу:

## Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара

Са циљем да се обезбеди смањење трошкова унутрашњег транспорта креирана је метода за оптимизацију робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара. Креирана метода се може применити у случају складишта произвољне величине, са једним или два виљушкара који се могу кретати хоризонтално и вертикално, чиме је обезбеђена и универзалност методе.

За оптимизацију се користе историјске информације о важности робе у складишту, док се сама оптимизација реализује на основу модификованог Дијкстра алгоритма, алгоритма за налажење најкраће путање у графу. Прототип алгоритма је имплементиран у Matlab-у и омогућава налажење оптималне путање која има: минималне трошкове транспорта између виљушкара и најближе локације, минималне трошкове подизања или спуштања робе, као и минималне трошкове окретања виљушкара.


Техничко решење се може применити у случајевима: почетне фазе креирања складишта за распоређивање робе у складишту, у току експлоатације складишта за распоређивање робе у складишту, за анализу ефикасности унутрашњег транспорта у складиштима и за пројектовање складишта.

Техничко решење је тестирано на скупу података које је припремио корисник. Ово решење омогућава приступ методи за минимизацију трошкова унутрашњег транспорта, као и оптимизацију распореда робе у складиштима, за корисника решења Пословном инкубатору Зрењанин, БИЗ д.о.о, као и за остале заинтересоване кориснике.

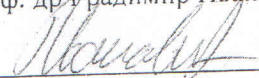
У складу са Правилником о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“, бр. 38/2008) ово техничко решење спада у категорију „прототип, нове методе, софтвер, инструмент, нове генске пробе, микроорганизми и сл.“, М85, као нова метода (нови алгоритам).

28.12.2012. године

Проф. др Бранислав Јеремић

  
Универзитет у Крагујевцу  
Факултет инжењерских наука

Проф. др Бранимир Ивановић

  
Универзитет у Београду  
Машински факултет



poslovni inkubator zrenjanin  
business incubator zrenjanin  
biz d.o.o

Kralja Aleksandra I Karadorđevića 2, Zrenjanin 23000  
Tel. +381(0)23 512 260 Fax. . +381(0)23 512 264  
Mob. tel. . +381(0)62 365 063  
E-mail : [inkubator@biz-zr.co.rs](mailto:inkubator@biz-zr.co.rs) [www.biz-zr.co.rs](http://www.biz-zr.co.rs)  
PIB 104431016, Matični br. 20127325  
**Broj poslovnog računa kod banke:**  
**Societe Generale Srbija 275-0010220484307-62**

**Предмет:**

**Оцена техничког решења**

**Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара**

која је реализована у оквиру пројекта "Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса" (бр. пројекта TP –32044).

У току 2011. и 2012. године чланови пројектног тима са Техничког факултета "Михајло Пупин" и Пословни инкубатор Зрењанин - БИЗ сарађивали су у процесу истраживања и креирања методе за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара.

Метода омогућава оптимизацију која се односи на трошкове унутрашњег транспорта при избору локације за јединицу залиха (СКУ – stock keeping unit). Прорачун се изводи за случај потпуно празног складишта, као и током експлоатације складишног простора за одређивање локације на коју ће се поставити новопристигла СКУ. Метода је употребљива и у процесу дизајнирања и пројектовања складишта.

Развијена метода је стављена на располагање Пословном инкубатору Зрењанин - БИЗ, а пословни Инкубатор ту методу нуди као подршку својим фирмама - станарима. Потенцијални корисници ове методе су фирме - станари који се баве развојем софтвера за оптимизацију рада складишта и оптимизацију унутрашњег транспорта или развојем софтвера за пројектовање складишта.

Пословни инкубатор Зрењанин - БИЗ је техничко решење оценио позитивно и задовољан је оствареном сарадњом.

У Зрењанину,  
15.01.2013. године





Република Србија – АП Војводина  
Универзитет у Новом Саду  
Технички факултет «Михајло Пупин»  
Зрењанин, Ђуре Ђаковића бб  
[www.tfzr.uns.ac.rs](http://www.tfzr.uns.ac.rs)  
Тел.023/550-515 факс: 023/550-520  
ПИБ: 101161200



Дел.бр: 04 – 431/6  
Датум: 21.02.2013.

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

са 65. седнице Наставно – научног већа Техничког факултета  
«Михајло Пупин» у Зрењанину, одржане 20.02.2013. године.

Непотребно изостављено!

6.

### ИЗВЕШТАЈИ КАТЕДРИ

6.1. Катедра за Информационе технологије, одржана 13.02.2013. године

#### 6.1.1.

Након уводне речи проф. др Милана Павловића, председника Већа, а на предлог Катедре за Информационе технологије, Наставно – научно веће Техничког факултета «Михајло Пупин», Зрењанин, гласањем, једногласно је донело

#### ОДЛУКУ

УСВАЈА СЕ Извештај на основу достављене рецензије проф. др Бранислава Јеремића (Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука) и проф. др Градимира Ивановића (Универзитет у Београду, Машински факултет), као и достављеног мишљења корисника решења – Пословни инкубатор Зрењанин – БИЗ, а према Правилнику о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научно-истраживачких резултата истраживача, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије 2008. године („Сл. гласник РС“, бр. 38/2008) за техничко решење под називом „Метода за оптимизацију распореда робе у складиштима и оптимизацију кретања виљушкара“ аутора:

- Доц. др Далибора Добриловића, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин,
- Доц. др Весне Јевтић, Технички факултет „Михајло Пупин“ Зрењанин,
- Проф. др Ивана Бекера, Факултет техничких наука, Нови Сад,

прихвати као техничко решење у категорији М85 нова метода (нови алгоритам; уз доказ).

Образложење – Техничко решење је развијено у оквиру пројекта “Развој софтверских алата за анализу и побољшање пословних процеса”, број пројекта ТР-32044, који је финансиран од стране Министарства просвете и науке Републике Србије. Техничко решење је верификовано у реалном радном окружењу корисника Пословни инкубатор Зрењанин – БИЗ. Према мишљењу рецензената техничко решење садржи све компоненте које чине научно истраживачки рад и, поред тога, представља конкретан допринос пракси.

За тачност извода оверио  
Ружица Ивковић

Доставити:

1. Ауторима
2. Рецензентима
3. Министарства просвете и науке Републике Србије, Београд
4. Архив

