

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

САОБРАЋАЈНИ ФАКУЛТЕТ

НИКОЛА Д. СТОЈАДИНОВИЋ

**МОДЕЛ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА
ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ
КОРИШЋЕЊЕМ ХИБРИДНИХ
АУКЦИЈА**

докторска дисертација

Београд, 2019.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TRANSPORT AND TRAFFIC
ENGINEERING

NIKOLA D. STOJADINOVIC

**MODEL FOR ALOCATION OF RAILWAY
INFRASTRUCTURE CAPACITY WITH
HYBRID AUCTIONS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2019

Ментор: **др Бранислав Бошковић**, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Чланови комисије: **др Бранислав Бошковић**, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

др Небојша Бојовић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

др Дејан Трифуновић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Економски факултет

Датум одбране:

ИЗЈАВА ЗАХВАЛНОСТИ

Роберт Луис Стивенсон је једном написао да не путује тек да би ишао било где, већ да би се кретао, да путује због самог путовања. Докторске студије су за мене биле животна путовања. Путовање са пуно успона и падова. На том путу, не само да сам имао прилике да доста тога научим, већ и да осетим задовољство у томе чиме се бавим. И да упознам и пронађем себе у томе што радим, као и своје могућности.

Докторска дисертација представља резултат истраживања преточених у радове саопштене на међународним конференцијама и радове објављене у престижним међународним часописима на *SCI* листе. Мотивацију за њену израду сам проналазио кроз своја интересовања, амбиције, жеље за сазнањем и пасији коју имам према железници још од малих ногу. Уз то, у мени је увек постојала жеља да својим истраживачким радом допринесем томе да железница суштински буде боља него што је сада.

Та мотивација ме је довела не само до ове теме, већ и до људи који су ми пуно помогли у изради дисертације. У првом реду највећу захвалност дугујем мом ментору, проф. Браниславу Бошковићу који не само да је сјајно водио цео процес истраживања, већ је и са својим ведрим духом и стрпљењем увек био доступан за сва моја питања, савете и охрабрења. Имао сам велико задовољство да радим са њим и да за то време пуно научим од њега. Такође, захваљујем се проф. Дејану Трифуновићу који је пуно помогао и допринео унапређењу квалитета докторске дисертације. Професору Небојши Бојовићу се захваљујем на издвојеном времену и помоћи коју ми је пружио у току израде докторске дисертације.

Посебну захвалност дугујем професорима Мирјани Бугариновић, Слађани Јанковић, Предрагу Јовановићу и мом колеги Марку Капетановићу.

Желим да се захвалим свим својим професорима, колегама и студентима који су се интересовали за мој рад. Велику захвалност дугујем свим мојим пријатељима који су имали стрпљења и разумевања без обзира на моје фазе асоцијалности. Захваљујем се мојој мајци и брату што су ми увек пружали безрезервну подршку, помоћ и мотивацију.

Никола Стојадиновић,

15. септембар 2019.

МОДЕЛ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ КОРИШЋЕЊЕМ ХИБРИДНИХ АУКЦИЈА

Сажетак: У дисертацији се решава проблем формулисања модела за аукциону продају траса возова који користи хибридне аукције на отвореном железничком тржишту као и место и тренутак његове употребе. Проблем се решава у циљу повећања ефикасности алокације капацитета на делу инфраструктуре на коме се јавља загушење и регулисања повећане потражње за капацитетом којег нема довољно.

Основни циљеви дисертације јесу формулисање новог модела за алокацију траса возова и испитивање колико би коришћење хибридне аукције допринеле повећању конкуренције железничких превозника и умањиле ефекат удруживања превозника у картел у односу на стандардне типове аукција.

Први циљ, формулисање алгоритма за алокацију траса возова који се заснива на тржишним основама, је остварен кроз анализу два супротстављена концепта – централизована и децентрализована алокација траса возова. На основу те анализе формулисани су одређени критеријуми према којим је дизајниран нови алгоритам за алокацију траса возова. У његовом средишту налази се аукциони механизам. Предложени критеријуми представљају резултат сублимације општих карактеристика децентрализованог концепта, специфичности трасе воза као ресурса за алокацију и закључака изнесених на основу прегледа релевантне литературе.

Други циљ дисертације који се односи на испитивање хибридних аукција се остварује коришћењем симулационог модела за тестирање и упоређивање перформанси две хибридне (енглеско-холандска и Амстердам аукција са премијом) и две стандардне аукције (енглеска и затворена аукција по највишој цени). Симулациони модел који је развијен у дисертацији узима у обзир специфичности и структуру железничког тржишта који се односе на релативно мали број конкурентних превозника, њихову асиметричност и могућност удруживања у картел. Поред тога, модел омогућује симулацију надметања превозника са различитим склоностима и потребама у погледу формулисања захтева за трасом.

Резултати симулације су показали да хибридна енглеско-холандска аукција представља најбоље решење за алокацију траса возова у највећем броју случајева. У условима када учествује релативно мали број асиметричних конкурената, перформансе које остварује енглеско-холандска аукција јој дају кључну предност у односу на остале аукције у овој фази развоја железничког тржишта.

Кључне речи: алокација траса возова; децентрализовани приступ; хибридне аукције, железничко тржиште; одређивање цене за загушење; развој алгоритма.

Научна област: Саобраћајно инжењерство

Ужа научна област: Планирање, моделирање, експлоатација, безбедност и еколошка заштита у железничком саобраћају и транспорту

УДК број: 656.2(043.3)

MODEL FOR ALOCATION OF RAILWAY INFRASTRUCTURE CAPACITY WITH USING HYBRID AUCTIONS

Abstract: The dissertation addresses the problem of how to formulate a train path auction model based on hybrid auctions in the open rail market, as well as the issue of when and where to use it. The problem is being solved in order to enhance the efficiency of capacity allocation on congested infrastructure sections and regulate increased demand for insufficient capacity.

The dissertation is primarily aimed at formulating a new train path allocation model and testing how much hybrid auctions are likely to help boost competition among railway undertakers (RUs) and mitigate the effect of their forming cartels compared to standard auction types.

The first goal, formulating a market-based train path allocation algorithm, has been achieved by analyzing two conflicting concepts, namely centralized versus decentralized train path allocation. Based on the analysis, specific criteria have been formulated to design a new train path allocation algorithm. It is centered around the auction mechanism. The suggested criteria are the result of sublimation of general features of the decentralized concept, the specific features of a train path as an allocation resource and the conclusions drawn from the relevant literature review.

The second goal of the dissertation, testing hybrid auctions, has been achieved by using a simulation model to test and compare the performance of two hybrid auctions (Anglo-Dutch and Amsterdam premium auction) and two standard auctions (English and first-price sealed-bid auction). The simulation model developed in the dissertation takes into account the rail market's structure and specific features including a relatively small number of competitive RUs, their

asymmetry and the possibility of cartel formation. Moreover, the model makes it possible to simulate the competition among RUs with different train path request tendencies and needs.

The simulation results have shown that a hybrid, Anglo-Dutch auction is the best solution for train path allocation in the majority of the cases. Whenever there is a relatively small number of asymmetric competitors, the performance of an Anglo-Dutch auction gives it a crucial advantage over other auctions at this stage of rail market development.

Key words: Train path allocation; Decentralized approach; Hybrid auctions; Railway market; Congestion pricing; Algorithm design.

Scientific field: Transport and Traffic Engineering

Scientific subfield: Planning, modelling, exploitation, safety and environmental care in railway transport and traffic engineering

UDC: 656.2(043.3)

САДРЖАЈ

Списак слика и графикана	xi
Списак табела	xii
1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1 Контекст проблема у примени аукција у продаји траса возова	1
1.2 Истраживачки циљеви и полазне хипотезе	9
1.3 Кратак опис садржаја дисертације по поглављима	10
2. ПОЈАМ, ОСОБИНЕ И СПЕЦИФИЧНОСТИ ТРАСЕ ВОЗА КАО РЕСУРСА ЗА АЛОКАЦИЈУ	13
2.1 Појам трасе на либерализованом железничком тржишту	13
2.2 Перформансе трасе као ресурса за алокацију	15
2.2.1 Ригидност капацитета инфраструктуре	15
2.2.2 Ефекат мрежног система	16
2.2.3 Хомогеност и хетерогеност јединица кретања	17
2.2.4 Ривалско право на коришћење капацитета инфраструктуре и међузависност између услуга	18
2.2.5 Друштвено пожељне услуге	19
2.3 Склоности путничких и теретних превозника код формирања захтева за трасом воза	20
3. ПРОБЛЕМ ЗАГУШЕЊА НА ЖЕЛЕЗНИЧКОЈ ИНФРАСТРУКТУРИ И ПРИСТУПИ У РЕШАВАЊУ	23
4. ТРАДИЦИОНАЛНИ НАЧИН АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ	26
4.1 Процедура планирања саобраћаја и конструисања реда вожње на српским железницама	27
4.2 Регулаторни оквир ЕУ за алокацију капацитета железничке инфраструктуре	32
4.2.1 Врсте захтева за трасама	33

4.2.2	Процедура алокације траса возова и у трајању од годину дана и начин решавања конфликтних захтева према директиви 2012/34/EУ	36
4.3	Коришћени критеријуми за одређивање приоритета при алокацији капацитета у земљама ЕУ	39
5.	ЦЕНТРАЛИЗОВАНИ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНИ КОНЦЕПТ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА.....	45
5.1	Централизовани концепт алокације капацитета у новом амбијенту	45
5.1.1	Накнаде за приступ и коришћење инфраструктуре	48
5.1.2	Импликације примене централизованог приступа алокацији капацитета на развој железничког тржишта.....	50
5.2	Децентрализовани концепт алокације капацитета.....	54
5.2.1	Основне поставке	54
5.2.2	Преглед досадашњих истраживања.....	56
5.2.3	Проблеми децентрализованог концепта алокације капацитета.....	64
5.2.4	Предлог новог алгоритма за алокацију траса возова који се базира на потпуно децентрализованом концепту.....	68
5.2.5	Циљеви алокације и критеријуми за избор погодне врсте аукције за доделу траса возова.....	78
6.	ДЕФИНИСАЊЕ АУКЦИОНОГ МЕХАНИЗМА, ПРИСТУПИ У ЊИХОВОМ ПРОУЧАВАЊУ И ЊИХОВА СИСТЕМАТИЗАЦИЈА.....	82
6.1	Појам аукција	83
6.2	Модел за проучавање аукција	83
6.2.1	Теорија игара.....	85
6.2.2	Нешова равнотежа	87
6.2.3	Статичке игре са несавршеним информацијама.....	89
6.3	Вредновање предмета или услуга на аукцији.....	91
6.4	Врсте стандардних типова аукција.....	92
6.4.1	Аукције за продају једног предмета	93

6.4.2	Аукције за продају већег броја предмета	95
6.5	Слабости стандардних аукција за продају једног предмета	97
6.5.1	Надметање асиметричних лицитаната	97
6.5.2	Стварање картела између лицитаната	99
6.6	Комбиновање стандардних типова аукција за продају једног предмета..	101
6.6.1	Хибридне аукције без премије.....	102
6.6.2	Хибридне аукције са премијом.....	105
6.7	Примена аукција у телекомуникацијама и у ваздушном саобраћају	109
6.7.1	Аукције за сектору телекомуникација.....	109
6.7.2	Аукције за слотове у ваздушном саобраћају	111
6.8	Примена математичких модела аукција за алокацију траса возова – преглед литературе	113
7.	МОДЕЛ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ХИБРИДНИХ АУКЦИЈА ЗА АЛОКАЦИЈУ ТРАСА ВОЗОВА КОРИШЋЕЊЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНОГ ПРИСТУПА	120
7.1	Оптималне понуде превозника	122
7.1.1	Симетрични учесници	122
7.1.2	Потпуно асиметрични учесници.....	125
7.1.3	Слабо асиметрични учесници.....	127
7.2	Методологија алокације траса возова.....	129
7.3	Алгоритам алокације траса возова за тестирање аукција.....	134
7.4	Основне поставке модела за тестирање аукција и разматране алтернативе 137	
7.4.1	Алтернативе у моделу.....	138
7.4.2	Егзогене променљиве коришћене у моделу.....	139
7.4.3	Организација експеримента.....	142
7.5	Резултати симулације и њихова анализа	145

7.5.1	Сценарио са симетричним превозницима када није укључен ефекат стварања картела.....	145
7.5.2	Сценарио са асиметричним превозницима када је укључен ефекат стварања картела.....	147
7.5.3	Сумирање добијених резултата	154
8.	ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРАВЦИ БУДУЋИХ ИСТРАЖИВАЊА ...	156
8.1	Закључна разматрања.....	156
8.2	Правци будућих истраживања	161
	ЛИТЕРАТУРА	163
	Речник појмова	173
	ПРИЛОЗИ.....	177
	Прилог 1 – Избор оптималних стратегија	177
	Прилог 2 – Прикази развијених софтверских алата у дисертацији.....	180
	Прилог 3 – Графички прикази осталих добијених резултата	181
	БИОГРАФИЈА АУТОРА.....	185
	Изјава о ауторству	186
	Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада	187
	Изјава о коришћењу	188

Списак слика и графикана

Слика 1 Систематизовани извори према којима се дефинише појам трасе воза у железничком саобраћају.....	14
Слика 2 Графикон реда вожње са примером конфликта између захтева за трасама возова.....	24
Слика 3 Улазни параметри и исходи процедуре алокације капацитета	24
Слика 4 Ред вожње као средство усклађивања потребе за превозом са реалним расположивим капацитетима	29
Слика 5 Алгоритам алокације капацитета за трасе у унутрашњем саобраћају за период коришћења од једног реда вожње према директиви 2012/34/EУ	36
Слика 6 Редослед активности у процедури алокације капацитета према Извештају о мрежи из 2018. године управљача инфраструктуре у Србији	37
Слика 7 Редослед корака и нивоа планирања саобраћаја у јавном железничком сектору	46
Слика 8 Транзиција у железничком сектору у погледу алокације капацитета железничке инфраструктуре	47
Слика 9 Алгоритам децентрализованог планирања саобраћаја, конструкције реда вожње и алокације капацитета	56
Слика 10 Функција корисности трасе за железничког превозника у односу на одступање од жељеног времена саобраћања воза.....	66
Слика 11 Фазе у новом алгоритму алокације траса возова и њихова међусобна повезаност	71
Слика 12 Предлог новог алгоритма за алокацију траса возова који се базира на потпуно децентрализованом концепту алокације	75
Слика 13 Упоредни приказ централизованог и децентрализованог концепта алокације траса воза према критеријуму слободног предлагања траса возова.....	77
Слика 14 Систематизација основних типова аукција	93
Слика 15 Систематизација типова хибридних аукција	102
Слика 16 Алгоритам децентрализоване алокације возова коришћен у моделу ..	135
Слика 17 Алтернативе које су тестиране у моделу	139
Слика 18 Организација експеримента и улазни параметри	144

Слика 19	Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања симетричних превозника и када није укључен ефекат стварања картела	146
Слика 20	Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања слабо асиметричних превозника (горе) и потпуно асиметричних превозника (доле) када је укључен ефекат стварања картела.....	149
Слика 21	Просечан остварени приход од продаје траса возова на аукцијама у првој итерацији са укљученим ефектом стварања картела	153
Слика 22	Просечно остварени приход по продатој траси воза за различити број железничких превозника када су они слабо асиметрични (горе) и када су потпуно асиметрични (доле) са укљученим ефектом стварања картела	154

Списак табела

Табела 1	Карактеристике потражње за услугом и опште преференције превозника за трасом са примером на мрежи Железница Србије	21
Табела 2	Редослед активности у процедури конструкције реда вожње и рокови за њихово испуњење у унутрашњем саобраћају према Правилнику о изради реда вожње Заједнице ЈЖ за 1990. годину	30
Табела 3	Ранг возова на према Саобраћајном правилнику Заједнице ЈЖ	31
Табела 4	Систематизација критеријума приоритета за алокацију траса на загушеној инфраструктури у државама чланицама ЕУ	41
Табела 5	Пример вредновања превозника за куповину траса возова.....	115
Табела 6	Егзогене променљиве и случајни бројеви коришћени у моделу	140
Табела 7	Остварени укупан приход управљача инфраструктуре од продаје траса возова када учествују пет железничких превозника	150
Табела 8	Коефицијент варијације за све алтернативе и за све сценарије када се надмећу пет железничких превозника	152

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1 Контекст проблема у примени аукција у продаји траса возова

Шири контекст проблема

Пре двадесет пет година, железнички сектор у Европи је ушао у дуготрајан процес свеобухватног реструктурирања. Разлози за покретање промена били су нарастајућа неефикасност националних железничких компанија и њихова све већа зависност од државних субвенција. Поред тога, неадекватно уређен однос између државе и националне железничке компаније чинио је још тежим прилагођавање железнице захтевима отвореног транспортног тржишта. То је имало за последицу да железница деценијама губи учешће на транспортном тржишту, чак и у оним сегментима који одговарају њеним природним карактеристикама као што су масован превоз робе на средњим и дужим релацијама. Са друге стране, главним конкурент у копненом транспорту – друмски транспорт, подстакнут значајним инвестицијама у друмску инфраструктуру постао је доминантан вид транспорта, иако је мање прихватљив у погледу заштите животне средине. Крајњи резултат је непрекидно опадање удела железнице на транспортном тржишту. Према подацима за ЕУ15 то опадање је било са 31,7% у 1970. години на само 12,5% у 2000. години (Crozet, 2014), док се пад у новим чланицама ЕУ догодио у периоду од 2001. до 2011. године¹.

¹ Пад учешћа транспорта робе железницом на транспортним тржиштима у новим чланицама ЕУ је био још драматичнији, с обзиром да се догодио у само једној деценији. У 2001. години за нове чланице ЕУ (12), учешће железнице у транспорту робе било је 38,2%, да би се десет година касније учешће смањило на 21,8% (Извор: European Commission, Fifth report on monitoring development of the rail market, December 2016.)

Један од главних постављених циљева реструктурирања железничког сектора био је прелазак са монополског на либерално тржиште, чиме би се омогућио улазак нових железничких превозника и стварање интрамодалне конкуренције. Први озбиљан корак у процесу стварања нове структуре железничког тржишта била је тзв. „вертикална сепарација“ код националних железничких компанија, односно раздвајање делатности управљања железничком инфраструктуром од обављања услуге превоза путника и робе. Увођење тржишта и раздвајање основних делатности железнице су биле кључне поставке тзв. базне директиве 91/440/ЕЕЗ, чије доношење представља историјску прекретницу у даљем развоју европских железница. Од тада па до данас, уложени су велики напори у отварање и развој јединственог европског железничког тржишта. Они се односе на реструктурирање монополски организованих железничких компанија, стварање нових институција у области регулације железничког тржишта, безбедности и интероперабилности железничког сектора, уклањању административних баријера за приступ националним железничким тржиштима унутар ЕУ, и др. Увођење тржишта и конкуренције на железници је директно утицало на увођење механизма за наплату накнада за коришћење железничке инфраструктуре (Kozan and Burdett, 2005) и механизма за разрешење конфликтних захтева за трасе.

Одлука да се омогући слободни приступ железничкој инфраструктури је донесена са циљем стварања притиска од стране конкуренције на историјског железничког превозника, који би довео до побољшања његових услуга и смањења трошкова (Mulder et al., 2005). Железничко тржиште се данас још увек налази у раној фази свог развоја, што значи да још увек постоји један доминантан историјски железнички превозник² и више

² Под „историјским“ железничким превозницима (*incumbent*) се овде мисли на наследнике историјског железничког предузећа, односно оне превознике који су кроз процес

мањих приватних железничких превозника који чине конкуренцију на тржишту. Ипак, у већини држава чланица Европске уније, историјски превозник се и даље налази у државном власништву и не суочава се са довољним притиском конкуренције (Driessen et al., 2006). Ова оцена се још увек може сматрати важећом због тога што према подацима из 2016. године³, учешће историјских железничких превозника на железничком тржишту превоза робе износи преко 85% у 12 држава чланица ЕУ. Са друге стране, учешће ових превозника на железничком тржишту превоза путника износи преко 80% у чак 22 земље чланице ЕУ. Ови подаци упућују на закључак да је од тренутка отварања тржишта па до данас развој конкурентности на железничкој мрежи ишао веома споро, а у појединим периодима је био и блокиран.

Ужи контекст посматраног проблема

Поред других, један од разлога за успорени развој железничког тржишта у Европи јесте начин планирања и доделе капацитета инфраструктуре или технолошким речником речено конструисање или израда реда вожње⁴. Да би пружили услугу превоза путника или робе, железнички превозници морају претходно предати захтев за жељену трасу воза управљачу инфраструктуре. Траса воза представља право железничког превозника да користи одређени капацитет железничке инфраструктуре између две станице на мрежи у одређено време (Directive 2012/34/EU, 2012). Због специфичне технологије железничког саобраћаја и израде реда вожње, железнички превозници морају да упуте захтев управљачу

реструктурирања настали од некадашњег монополисте. Велика већина ових превозника је и даље у већинском власништву државе.

³ Према оствареним путничким и тонским километрима, извор: Statistical Pocketbook 2018, Eurostat.

⁴ Појам израде реда вожње у контексту овог рада подразумева првенствено алокацију траса возова, односно утврђивања времена и места поласка и доласка возова, као и успутна задржавања.

инфраструктуре за доделу трасе воза доста раније (око 7-10 месеци у редовној процедури) пре покретања воза.

Највећи број траса возова се додељује једном годишње приликом израде реда вожње, који важи годину дана. Управљач инфраструктуре који прима захтеве од железничких превозника, додељује трасе према одређеним критеријумима приоритета железничке услуге (Borndörfer et al., 2006). Генерално гледано, критеријуми приоритета се данас још увек заснивају на традиционалном давању предности услузи превоза путника у односу на услугу транспорта робе, коришћењем строго дефинисаног ранга возова (Caprara et al., 2007). Овај критеријум се заснива на историјској претпоставци да је флексибилност услуге превоза робе много већа од услуге превоза путника. То значи да приликом израде реда вожње (алокација траса возова), путнички возови добијају повољније трасе возова у односу на теретне возове, без обзира на тржишну вредност услуге превоза и захтеве корисника.

У тренутку увођења овог критеријума приоритета, железница је имала монополски положај на транспортном тржишту. Временом су други видови транспорта преузимали примат у превозу путника на транспортном тржишту (пре свега ваздушни и друмски транспорт), док су вертикално интегрисане железничке компаније у државном власништву и даље фаворизовале услугу превоза путника, како у процесу израде реда вожња тако и у његовом извршењу, често на штету превоза робе. Евентуални конфликти између захтева за трасама возова су се решавали унутар вертикално интегрисаног железничког предузећа, најчешће именовањем интерне комисије која је доносила одлуку на бази интуиције и искуства. Због тога се у литератури овакав начин алокације се најчешће препознаје под именом „административни механизам“ (Gibson, 2003).

Упркос либерализацији железничког тржишта и увођењу конкуренције, традиционални начин алокације траса возова се и даље примењује без већих измена. До сада објављени радови на ову тему закључују да традиционални начин доделе траса возова има значајан утицај на успоравање развоја конкуренције и то из више разлога, почевши од неадекватних критеријума приоритета у тржишним условима (Bassanini et al., 2002; Nilsson, 2015) преко спорог прилагођавања механизма алокације траса на захтеве тржишта (Brewer and Plott, 1996) па све до дуготрајног процеса израде реда вожње (Burdett and Kozan, 2010; Nilsson, 2015). Сви ови разлози су довели до тога да неефикасни историјски превозници задрже доминантну позицију на железничком тржишту (Beria et al., 2012). Штавише, задржавањем традиционалног начина доделе траса возова дозвољава историјским превозницима да задрже најатрактивније трасе у реду вожње (Bergantino et al., 2015). Тиме се железнички превозници, сада на либерализованом тржишту, који превозе робу постављају у подређен положај и поред тога што услуге превоза робе често имају вишеструко већу тржишну вредност од појединих услуга превоза путника. Иако је директива 91/440/ЕЕЗ од земаља чланица ЕУ захтева да омогуће свим железничким превозницима равноправан приступ железничкој инфраструктури без дискриминације, примењени критеријум приоритета транспортне услуге ствара амбијент који пружа неједнак третман за различите железничке превознике. Опредељењем за отворено тржиште, коришћење традиционалног начина доделе траса возова више није оправдано, јер не третира равноправно све железничке превознике (Luan et al., 2017). Другим речима, иако је железничко тржиште званично отворено за конкуренцију превозника, још увек није успостављено тржиште траса (Perennes, 2017).

За разлику од времена када су се вертикално интегрисане железничке компаније бавиле израдом реда вожње, сада на отвореном железничком тржишту постоји некоординисана потражња за трасама, која долази од

више нових железничких превозника на тржишту (Klabes, 2010). Како се потражња за њиховим услугама на тржишту све више повећава, истовремено се повећава број конфликта између захтева за трасама возова. Конфликт између захтева за трасама се јавља на оним местима где долази до потпуног или делимичног преклапања два или више захтева за коришћење железничке инфраструктуре. Тада испуњавање једног захтева за трасом условљава измену другог захтева за трасом или његово потпуно искључење из реда вожње (Nash, 2005). Због тога управљач инфраструктуре све чешће треба да доноси одлуку којем захтеву за трасом ће дати приоритет.

Проблем са алокацијом капацитета железничке инфраструктуре коришћењем административног механизма посебно долази до изражаја на појединим деоницама железничке инфраструктуре на којима постоји недостатак капацитета (уска грла). На овим местима у појединим временским периодима се јавља већа потражња од расположивог капацитета. Са повећањем потражње за коришћењем капацитета инфраструктуре на овим деоницама повећава се и број конфликтних захтева за трасама. Иако у Европи генерално постоји вишак капацитета железничке инфраструктуре, на појединим деоницама на мрежи постоји конфликтна потражња за трасама од стране више конкурентних железничких превозника за једну врсту услуге, али исто тако и између превозника различитих врста услуга. Највише проблема ове врсте јавља се на међународним коридорима и у оквиру железничких чворова где се често преплићу захтеви за трасама различитих врста услуга.

Према претходно наведеном, процес доделе траса возова би морао боље да одражава захтеве превозника за трасама (на које утичу потребе крајњих корисника железничког превоза), што није могуће постићи коришћењем претходно дефинисаних критеријума приоритета. Због тога је неопходно

извршити прелазак са централизованог концепта израде реда вожње (који се базира на административном механизму) на нови децентрализовани концепт израде реда вожње, чија је основа тржишни механизам доделе траса возова. Ова промена би утицала на јачање конкуренције на железничком тржишту.

Контекст проблема у којем се примењује аукција

Са економског аспекта, у ситуацији када је потребно расподелити капацитет за којим постоји конфликтна потражња, логичан начин за решавање проблема јесте коришћењем аукција (Perennes, 2014), који припада тржишном механизму алокације ресурса. Разматрање могућности примене аукције као механизма за алокацију капацитета јавне инфраструктуре се као идеја појавила пре четрдесет година. Аукције су у широј јавности постале познате након успешне аукционе продаје права на коришћење фреквенција у САД 1994. године. Те године, Федерална комисија за фреквенције (FCC) је продала 2.500 права за коришћење фреквенција. Од тада, па до данас организоване су 87 таквих аукција у САД, од којих је држава остварила приход од преко 60 милијарди долара (Trifunović, 2012).

Након ове аукцијске продаје, постоји растући интерес за формулисање нових форми аукција за специфична тржишта. У појединим секторима привреде које карактерише јавна услуга и мрежна инфраструктура (слично железничком) разматра се могућност примене тржишног механизма (McDaniel, 2003; Newbery, 2003). У пракси, најпознатије примене аукције су у телекомуникацијама за продају лиценци (Bichler & Goeree, 2017; Cramton, 2013; Klemperer, 2002a) за приступ тржишту (*license auctions*), као и у продаји електричне енергије (Helm, 2003; Trifunović & Ristić, 2013; Yarrow, 2003). У транспорту, примена аукција разматра се у поморском (Strandenes and Wolfstetter, 2005) и ваздушном (Ball et al., 2018; Basso & Zhang, 2010;

Brueckner, 2008; Herranz et al., 2015; Maldoom, 2003; Pertuiset & Santos, 2014; Rassenti et al., 1982; Sentance, 2003) транспорту за алокацију лучких и аеродромских слотова (*slot auctions*). У друмском саобраћају су разматране аукције за регулисање загушења у централним градским зонама (Teodorović et al., 2008). Са друге стране у железничком сектору, аукције се примењују за одабир железничког превозника за извршење обавезе јавног превоза у путничком саобраћају (Alexandersson, 2009; Lalive et al., 2015; Link, 2016), као и у случају продаје франшиза превозницима у путничком саобраћају у Великој Британији (Preston, 2016). У врло ретким случајевима, и то као изнуђено решење а не као определење, аукција се користи у процедури доделе трасе возова, када ни после неколико кругова договора између превозника није пронађено компромисно решење које би задовољило све стране. Међутим, шира примена аукција за продају траса возова до сада није заживела у пракси.

Алокација капацитета железничке инфраструктуре представља веома сложен проблем у условима отвореног тржишта. Имајући то у виду, примена аукција за доделу траса возова у железничком сектору отвара бројна питања: Да ли је аукцију за трасе уопште могуће применити? Где и у којим условима је рационално применити коју врсту аукције за алокацију капацитета железничке инфраструктуре? Ако је могуће применити аукцију, каква форма тог процеса би најбоље одражавала преференције железничких превозника, циљеве управљача инфраструктуре, захтеве регулативе ЕУ у овој области, као и да истовремено обезбеди праведну и ефикасну алокацију траса?

С обзиром да у будућности можемо очекивати даљи раст броја конфликтних захтева за трасама, сва ова питања све више добијају на значају. Међутим, иако аукција представља рационалан избор као механизам алокације, између теоријских предности аукције и њене

практичне примене на железници постоји значајан раскорак. Специфичност технологије железничког саобраћаја, организације железничког сектора и тржишта издваја железницу од других сектора. Пре свега, специфичности се односе на ресурс који се додељује – траса воза, као и различите преференције железничких превозника за коришћењем капацитета железничке инфраструктуре за мешовити саобраћај. Ове специфичности спречавају преузимање готових решења алокације примењених у другим секторима привреде и захтевају посебна решења који одговарају наведеним захтевима.

1.2 Истраживачки циљеви и полазне хипотезе

Задатак ове дисертације јесте да одреди погодну врсту аукције за алокацију трасе возова с обзиром на специфичности железнице и задате околности. Одређивање врсте аукције којом ће се обавити алокација траса возова може се посматрати као одређење управљача инфраструктуре за стратегију која би му требало да донесе највише користи. Та корист ће се огледати не само у висини прихода од продаје траса возова на аукцији, него и у привлачењу што већег броја железничких превозника на тржишту да учествују и надмећу се на таквим аукцијама. Одређивање стратегије управљача инфраструктуре, односно врсте аукције заузима централно место у дефинисању новог алгоритма за алокацију капацитета железничке инфраструктуре, који се базира на тржишним основама. Што је алгоритам боље планиран, у смислу узимања у обзир окружења у коме се процес одвија и предвиђања понашања лицитаната (железничких превозника), то ће управљач инфраструктуре обезбедити већи приход на аукцији и продати већи број траса.

Основни научни циљ истраживања представља развој модела примене аукције који ће управљачу инфраструктуре помоћи да одреди стратегију

продаје траса, тј. избор оне врсте аукције која ће максимизирати задате циљеве алокације у одређеним околностима. Такође, као други циљ, је дефинисање нове процедуре за алокацију капацитета на делу инфраструктуре под загушењем који ће омогућити примену аукција.

Полазне хипотезе у изради докторске дисертације су следеће:

1. Садашњи механизам алокације капацитета железничке инфраструктуре при изради реда вожње не пружа задовољавајуће резултате у погледу ефикасности алокације, транспарентности и равноправности железничких превозника. Коришћени критеријуми приоритета при алокацији траса возова не уважавају тржишну вредност услуга за чије извршење се захтевају одговарајуће трасе возова.
2. У овој фази развоја железничког тржишта у Европи, у проблему алокације капацитета железничке инфраструктуре, аукциони механизам је најрационалније користити за доделу траса на загушеном делу инфраструктуре.
3. Употребна вредност теоријских модела аукција у пракси је често постизала незадовољавајуће резултате због занемаривања утицаја окружења у којима се аукција одвијала. Могуће је укључити ефекте утицаја окружења приликом конструисања алгорита алокације траса возова који се базира на коришћењу одговарајуће аукције у циљу повећања робусности нове процедуре за алокацију капацитета.

1.3 Кратак опис садржаја дисертације по поглављима

Структура дисертације је обликована тако да одражава постављене циљеве истраживања. Дисертација је подељена у осам поглавља. Након увода, у поглављу 2 је описана траса воза у смислу ресурса који се додељује

железничким превозницима као конкурентима на либерализованом тржишту. Објашњене су особине и специфичности овог ресурса за алокацију. У том погледу, посебна пажња је дата оним перформансама трасе воза од којих зависи избор приступа алокацији капацитета железничке инфраструктуре. На крају овог поглавља је дискутовано о захтевима и преференцијама траса воза које могу да имају железнички превозници различитих услуга.

У поглављу 3 су дате основне поставке проблема загушења на железничкој инфраструктури, како до њега долази и на који начин се он може решавати. Након овог поглавља, у поглављу 4 је разматран садашњи начин алокације капацитета, како у земљама ЕУ тако и у Србији. Такође је дат правни оквир ЕУ који регулише ово питање заједно са улогама, правима и обавезама учесника у процедури доделе траса возова. Искуства појединих европских земаља у решавању проблема загушења су представљена на крају поглавља, са посебним нагласком на коришћене критеријуме за давање приоритета појединим услугама превоза.

У поглављу 5 су разматране особине и улоге учесника у два могућа концепта у алокацији траса возова: централизованог и децентрализованог концепта. Анализирано је функционисање централизованог концепта алокације траса возова у новом амбијенту, након либерализације железничког сектора и појављивања конкуренције, као и до којих импликација доводи даља примена овог концепта. Са друге стране, децентрализовани концепт је представљен кроз начин функционисања, прегледом релевантне литературе која се бави питањем примене овог концепта на железници, као и основним проблемима са којим се суочава овај концепт. На основу свега тога, формулисан је предлог новог алгоритма за алокацију траса возова који се базира на потпуно децентрализованом концепту. Због тога што аукциони механизам представља средиште

децентрализованог концепта, на крају овог поглавља су дати критеријуми којима би управљач инфраструктуре требао да се руководи приликом избора погодне врсте аукције као стратегије.

Појам, врсте аукција и модели за њихово проучавање су дати у поглављу 6. Посебан нагласак је дат мање познатим, хибридним аукционим механизмима са циљем ублажавања неких негативних ефеката које поједини типови аукција носе са собом. Затим, наведена су искуства примене или разматрања коришћења аукција у сектору транспорта и телекомуникација. На крају поглавља је дат преглед досадашњих истраживања на тему развоја и примене математичких модела аукција за алокацију траса возова на железници.

Ослањајући се на формулисани алгоритам за алокацију траса возова према децентрализованом концепту, у поглављу 7 је развијен модел за тестирање аукција за алокацију траса возова. На основу погодности које поседују, одабране су две хибридне аукције чије су перформансе одређене и упоређене са две стандардне аукције које су се разматрале у досадашњим радовима. У овом поглављу је објашњена методологија, формулисане су алтернативе и ограничења, као и организација експеримента за симулацију исхода аукција. Користећи оптималне стратегије железничких превозника наведене у дисертацији, аукције су тестиране у условима различитих односа конкурената, њиховог броја, као и изгледа за њихово лакше или теже стварања картелског споразума. На крају поглавља дати су и коментарисани резултати симулације.

Последње, 8. поглавље обухвата сажетак истраживања, дати су кључни резултати, као и најважнији закључци. Такође дати су правци будућих истраживања на тему примене аукција за алокацију траса возова.

2. ПОЈАМ, ОСОБИНЕ И СПЕЦИФИЧНОСТИ ТРАСЕ ВОЗА КАО РЕСУРСА ЗА АЛОКАЦИЈУ

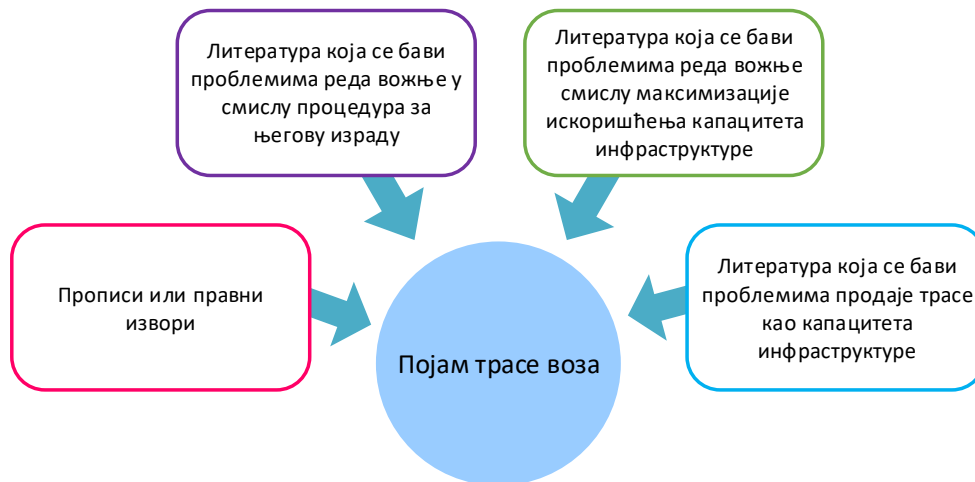
2.1 Појам трасе на либерализованом железничком тржишту

До почетка реструктурирања железничког система, коришћење капацитета железничке инфраструктуре било је условљено монополистичким положајем вертикално интегрисане железничке компаније⁵ чија је позиција била заштићена законом. Положај монополисте огледао се у томе што је једина вертикално интегрисана компанија на националном тржишту била надлежна за управљање инфраструктуром и превозне услуге. Реструктурирањем железничког сектора извршено је раздвајање делатности управљања инфраструктуром од пружања услуге превоза, које обављају различити актери на тржишту. То је довело до тога да ови учесници на железничком тржишту, укључујући ту и нове институције у железничком сектору, другачије сагледавају појам трасе. Разноликост у приступу и дефинисању појма трасе може се систематизовати према изворима приказаним на слици 1.

У погледу правних аката који регулишу област алокације капацитета железничке инфраструктуре, кључна дефиниција појма трасе воза је дата у директиви 2012/34/ЕУ. Према овој директиви траса је дефинисана као

⁵ Вертикална интеграција (*vertical integration*) представља повезивање делатности које се налазе на различитим стадијумима у процесу производње производа или услуге. Вертикална интеграција може бити узводна, када предузеће освоји производњу сировина или полупроизвода, или низводна када предузеће освоји дистрибуцију или продају готових производа (Економски речник, 2010). У железничком транспорту, вертикално интегрисана компанија се бави обављањем транспорта путника и робе, као и управљањем, одржавањем и модернизацијом железничке инфраструктуре, али и бројним другим делатностима које не спадају у транспорт, све у оквиру централизоване организационе структуре предузећа.

„капацитет инфраструктуре који је неопходан за покретање воза између две тачке у датом периоду“ (члан 3, став 27). Литература која се бави проблемима реда вожње у смислу односа ред вожње – пропусна моћ пруге, дефинише трасу воза у смислу њеног одређивања параметара коришћења инфраструктуре за кретање воза у простору и времену (Pachl, 2009). Литература која обрађује продају траса возова третира трасу воза као право на коришћење железничке инфраструктуре (Perennes, 2014). Слично томе, траса представља право на коришћење дела железничке пруге које је одређено временом и позицијом воза на мрежи. Железнички превозник трасу воза захтева од управљача инфраструктуре, за чије коришћење плаћа одређену новчану накнаду.



Слика 1 Систематизовани извори према којима се дефинише појам трасе воза у железничком саобраћају

Без обзира на врсту саобраћаја (теретни или путнички) или врсту захтева за трасом (нпр. у трајању од годину дана или *ad-hoc* захтеви), постоје неке заједничке карактеристике код свих траса возова. То значи да у сваком захтеву за трасом постоје јединствени параметри чије вредности одређује превозник. Приликом наручивања трасе, превозник ће дефинисати параметре како би одговорио захтевима тржишта. У директиви 2012/34/ЕУ захтев за трасом није стриктно дефинисан, већ је државама чланицама остављено да одреде садржај захтева за трасом. Поред тога, удружење

управљача инфраструктуре Европе (*RailNetEurope* – RNE) је издало документ о стандардизованој структури Извештаја о мрежи⁶, али у њему није дат садржај захтева за трасом (*booking forms*). Због тога управљачи инфраструктуре имају различите форме и садржаје захтева за трасом, који железнички превозник упућује управљачу инфраструктуре. Према управљачу инфраструктуре Немачке захтев за трасом садржи податке као што су: врста саобраћаја (путнички или теретни), врста услуге (нпр. даљински путнички воз, експресни теретни воз, итд.), полазна и циљна станица са успутним задржавањима, посебни захтеви за инфраструктуром (нпр. систем даљинског управљања, кабинске сигнализације и др.), датум почетка и завршетка коришћења трасе, подаци о возу, подаци о подносиоцу захтева и други подаци⁷.

2.2 Перформансе трасе као ресурса за алокацију

У односу на капацитет инфраструктуре других видова транспорта, за капацитет железничке инфраструктуре везују се поједине специфичности. Оне умногоме утичу на начин планирања и коришћења железничке инфраструктуре. У досадашњој литератури, овим особинама су се бавили Gibson (2003) и Pellegrini & Rodriguez (2013), који су представили шест перформанси трасе као капацитета инфраструктуре у железничком саобраћају. Те перформансе су: ригидност, ефекат мреже, нехомогеност, ривалско право, међузависност и друштвено пожељне услуге.

2.2.1 Ригидност капацитета инфраструктуре

За капацитет железничке инфраструктуре може се рећи да је ригидан (или барем ригиднији у односу на друге видове транспорта) из више разлога.

⁶ Објављено у документу RNE Common Network Statements 2015.

⁷ Према Извештају о мрежи управљача инфраструктуре у Немачкој, ови подаци прописани су у формулару 402.0202B01 (*Train path booking form from infrastructure manager in Germany – DB Netz*).

Први разлог је тај што је на једноколосечним пругама сустизање, претицање и мимоилажење возова могуће извршити само у службеним местима са најмање два колосека одређене дужине. Да би ове операције биле могуће на отвореној прузи, потребна је изградња додатног колосека. Инфраструктура изграђена само за ове потребе створила би трошкове који би вишеструко надмашили користи за исти обим саобраћаја. Сустизање, претицање и мимоилажење јединица саобраћаја у другим видовима саобраћаја не представља толико велики проблем у организацији саобраћаја, као што је то случај на железници. Други разлог јесте што за разлику од других видова транспорта, планирање извршења транспортне услуге у железничком саобраћају захтева велику прецизност и дужи временски рок. Узрок лежи у томе што транспортна услуга за крајњег корисника на железници умногоме зависи од претходних операција (Klabes, 2010). У супротном, неконтролисана или лоше планирана операције би водиле ка застоју саобраћаја. Због стриктних безбедносних захтева, за било које кретање на железничкој инфраструктури, потребно је одобрење са централног места управљања за тај део мреже. На тај начин веома је тешко, или готово немогуће, спонтано организовати железнички саобраћај. Уместо да користе капацитет инфраструктуре без посебне најаве, као што је то у друмском саобраћају, железнички превозници морају да затраже трасу доста раније пре поласка воза.

2.2.2 Ефекат мрежног система

Чак и на железничким мрежама велике густине где постоји више алтернативних путева, прекид на једном делу мреже утиче на дешавања на другим деловима мреже. Утицај прекида саобраћаја може се одразити веома далеко од места где се прекид догодио, јер се претицања, мимоилажења или сустизања возова могу извршити само на тачно одређеним местима на мрежи. Ови утицаји се у литератури означавају као ефекат мреже (*network effect*) (Landex & Nielsen, 2012). Утицај ефекта мреже

зависи од расположивог капацитета инфраструктуре и дефинисаног реда вожње. Огледа се у дужим временима путовања возова кроз примарна и секундарна кашњења (*primary and secondary delays*)⁸. На тај начин, чак и минимална измена времена поласка, доласка или проласка воза може проузроковати многа усклађивања зависних возова на мрежи пруга. Из претходног се може закључити да ефекат мреже настаје због немогућности спонтаног претицања или мимоилажења на местима инфраструктуре где не постоји довољно расположивог капацитета да би се ове операције извршиле без већег застоја. Код железничког саобраћаја капацитет инфраструктуре доминантно зависи од физичких ограничења, као и од дужине зауставног пута, примењеног сигналног система за формирање пута вожње и сл.

2.2.3 Хомогеност и хетерогеност јединица кретања

Иако постоји посебна инфраструктура намењена за возове великих брзина, као и пруге намењене само за саобраћај теретних возова, у Европи се највећи обим превоза остварује на мрежи пруга за мешовити саобраћај. Инфраструктура идентичних техничких карактеристика користи се за пружање услуга превоза путника и превоза робе. У железничком саобраћају могу се разликовати: брзи, регионални и локални путнички возови и теретни возови за превоз појединачних колских пошилијака, маршрутни и интермодални теретни возови. Наведене врсте возова формирају се коришћењем возних средстава различитих техничких карактеристика, тако да се њихова времена убрзања, зауставни пут и максимална брзина разликују у односу на састав воза. Различите карактеристике појединих

⁸ У железничком саобраћају постоји примарно и секундарно кашњење возова. У случају да воз закасни због техничког квара на њему, заустављања од стране аутостоп уређења и других разлога насталих на посматраном возу, она се заједнички називају примарним кашњењем. Секундарна кашњења настају због примарног кашњења која се преносе ефектом мреже на остале возове. Она се могу ублажити или спречити увођењем додатних времена вожње (*buffer time*).

врста возова утичу на дужину интервала слеђења узастопних возова, као и код укрштавања возова у службеним местима на истој прузи. Што је већа разноврсност возова на делу инфраструктуре у једном временском интервалу, то су капацитет пруге и његово искоришћење мањи. Последица тога јесте да уцртану трасу воза не може да користи воз било којих техничких карактеристика. То значи да трасу споријег воза или трасу воза који има честа заустављања по међустаницама не може да користи брзи воз за превоз путника и обрнуто (Gibson, 2003).

2.2.4 Ривалско право на коришћење капацитета инфраструктуре и међузависност између услуга

Због присуства конкуренције на тржишту, траса воза се може сматрати ривалским правом (*rivalry property*), која често има особину високе међузависности. Управо због особине да два воза не могу користити исту трасу, поседовање трасе воза од стране једног превозника онемогућава другом превознику да пружи услугу превоза на истом растојању у истом временском периоду (Perennes, 2014). Ривалско право долази до изражаја посебно код железничких превозника који пружају услугу превоза за исти сегмент тржишта. Због тога се приликом алокације капацитета железнички превозници стратешки опредељују које трасе ће захтевати, истовремено предвиђајући и потребе конкуренције (Amaral & Thiebaud, 2014).

Што се тиче међузависности, вредност трасе воза за превозника често зависи од других комплементарних траса, али и траса-супститута које поседују други превозници. Особина траса-супститута у реду вожње огледа се у томе да вредност трасе опада што је време поласка претходног или наредног воза краће у односу на посматрану трасу за исту потражњу. То значи да вредност поједине трасе може доста да зависи од тога да ли је траса комплементарна или супститут у односу на другу сличну трасу. Због тога што се за трасе надмећу превозници који су мотивисани профитом,

конкуренција може да донесе неке нежељене ефекте као што је опадање вредности трасе која се налази врло близу друге трасе коју користи конкурентни превозник. Поред тога, појава конкуренције на тржишту може довести до неефикасног броја полазака у току дана (*overbooking*), што се огледа у неусаглашености између фреквенције возова и броја путника (*overproducing*). Резултат овакве алокације капацитета доводи до неефикасног коришћења капацитета железничке инфраструктуре (Nilsson, 2002).

2.2.5 Друштвено пожељне услуге

За разлику од већине других видова транспорта, у којима превозници углавном послују на комерцијалним основама, у железничком саобраћају добар део капацитета инфраструктуре се користи за друштвено пожељне услуге. Њих наручује министарство надлежно за транспорт⁹, где се захтева од железничких превозника да пружају одређене услуге превоза кроз обавезу јавног превоза, код којих је тржишна вредност обично много нижа од друштвене вредности (Gibson, 2003). Најчешће је пружање услуге превоза путника у регионалном и локалном железничком саобраћају обично испод границе рентабилности. Због тога, наручиоци обавезе јавног превоза (Министарство надлежно за транспорт или покрајинске власти) бирају превозника на тендеру или кроз директно уговарање (према Уредби 1370/2007 Европске комисије¹⁰). Уговором о обавези јавног превоза се дефинише потребан број полазака, карактеристике превоза и други услови. Превозник који је склопио уговор о обавези јавног превоза са наручиоцем, упућује управљачу инфраструктуре захтев за додељивање траса за потребе извршења обавезе јавног превоза (ОЈП). Како услуге превоза путника имају

⁹ У појединим земљама у Европи, обавезу јавног превоза наручују и локална тела надлежна за јавни превоз путника. Међутим, у Републици Србији, ова тела нису препозната у Закону о железници.

¹⁰ Regulation (EC) No 1370/2007 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on public passenger transport services by rail and by road

приоритет при алокацији капацитета (у највећем броју случајева), трасе возова за ОЈП се уврштавају у ред вожње пре теретних возова. У земљама Западне Европе које карактерише доминантан путнички саобраћај, значајан део капацитета железничке инфраструктуре се користи за обављање оваквих услуга. То практично значи да су теретни превозници често принуђени да прихвате трасу која се не поклапа са њиховим потребама, иако су у већини случајева спремни више да плате за њу од путничких превозника.

2.3 Склоности путничких и теретних превозника код формирања захтева за трасом воза

Капацитет деонице пруге намењене за мешовити саобраћај може се у једном временском периоду искористити на један од четири начина: (1) проласком возова за превоз путника, (2) проласком возова за превоз робе, (3) резервисањем капацитета за одржавање инфраструктуре и (4) увођењем додатних времена за обезбеђивање робусности реда вожње у случају поремећаја у саобраћају. Како управљач инфраструктуре утиче на политику одржавања мреже и степен стабилности реда вожње, у дисертацији се посматра само начин коришћења инфраструктуре од стране путничких и теретних превозника.

Овај проблем може се посматрати са техничког и тржишног аспекта. Технички аспект односи се на проблем оптимизације искоришћења пропусне моћи пруге за различите варијанте учешћа појединих категорија возова. Тржишни аспект коришћења железничке инфраструктуре бави се односом понуде и потражње на железничком тржишту, вредновањем траса од стране превозника, подстицајима који утичу на стратегије превозника и сл. Сви ови критеријуми постављени су у циљу максимизације ефикасности искоришћења капацитета железничке инфраструктуре. Отварањем

железничког тржишта у Европи, тржишни аспект коришћења железничке инфраструктуре и алокације капацитета све више добија на значају. Стратегија железничких превозника приликом аплицирања за трасе мења се од тренутка када је траса постала ресурс за чије се коришћење плаћа накнада.

На либерализованом железничком тржишту захтеви крајњих корисника највише утичу на преференције путничких и теретних превозника приликом наручивања трасе. Поред наведеног, склоности превозника зависе од утврђеног реда вожње, шеме услуге (*service pattern*), тренутка упућивања захтева, флексибилности и вредновања трасе. Наведене карактеристике потражње железничких превозника, који пружају различите врсте услуга превоза, систематизоване су у табели 1. Подаци у табели односе се на железничко тржиште у Србији (Stojadinovic et al., 2016).

Табела 1 Карактеристике потражње за услугом и опште преференције превозника за трасом са примером на мрежи Железница Србије

Преференције превозника и вредновање	Услуге превоза путника			Услуге превоза робе		
	Даљински и међународни превоз	Регионални превоз	Локални превоз	Појединачне колске пошиљке	Маршрутни возови	Комбиновани превоз
Потражња корисника	осредња	ниска – врло ниска	врло висока* - осредња	ниска	висока	врло висока
Шема услуге	ниска учесталост, најкраће заузеће одсека, мали број заустављања	средња учесталост, већи број заустављања, зависан од других услуга	висока учесталост и кратке релације, велики број заустављања	зависна од расположивог капацитета инфраструктуре	између индустријског колосека без заустављања због прераде	транзитни превоз – од луке до терминала и између терминала
Време планирања	дугорочни	дугорочни	дугорочни	једна година	кратак или <i>ad-hoc</i>	дугорочни
Осетљивост на одступање од захтева за трасом воза	врло осетљив	осетљив	осетљив	флексибилан	осетљив	врло осетљив
Вредновање (профит)	висока - осредња - ниска	без профита	врло висока* - осредња	без профита	осредња - висока	врло висока

* У градским и приградским срединама

У табели може се приметити висока разноликост потражње за инфраструктуром. Ова разноликост потиче од тога што превозници на

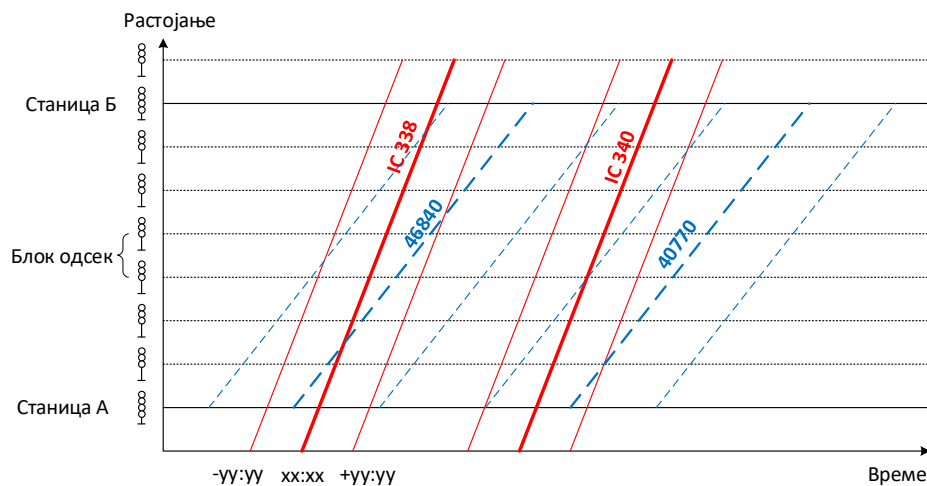
истој мрежи пружају услуге за различите сегменте тржишта који имају различите кориснике па тиме имају и различити захтев за квалитетом услуге. Проблем планирања реда вожње је олакшан на мрежама на којима саобраћају једна до две врсте возова. Међутим, на међународним коридорима и на тачкама приступа већим железничким чворовима могу се срести, ако не све, онда барем већина врста услуга наведених у табели 1.

3. ПРОБЛЕМ ЗАГУШЕЊА НА ЖЕЛЕЗНИЧКОЈ ИНФРАСТРУКТУРИ И ПРИСТУПИ У РЕШАВАЊУ

Појам загушења (дела) железничке инфраструктуре се може посматрати са економског и техничког аспекта. Са економског аспекта, загушење дела железничке инфраструктуре се може дефинисати као повећана потражња за трасама на појединим деоницама мреже, када тражња у одређеним временским периодима надмашује расположиви капацитет посматране деонице (Bassanini et al., 2002). Са техничког аспекта, до загушења долази када постоје два или више захтева за трасама возова који би користили исти блок-одсек дела инфраструктуре у истом временском периоду (Schlechte, 2012). Тада испуњавање једног захтева за трасом условљава искључење другог захтева за трасом, или његову измену (Nash, 2005). Конфликтни захтеви често долазе од стране превозника који пружају различите услуге превоза (нпр. путника и робе) на инфраструктури за мешовити саобраћај. Због тога управљач инфраструктуре треба да донесе одлуку којем возу ће дати приоритет у испуњењу захтева.

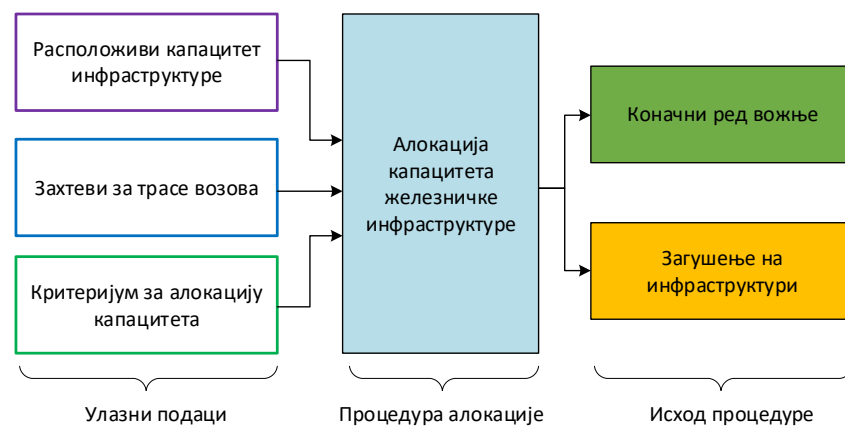
На слици 2 је дат хипотетички пример графикана реда вожње између две станице једноколосечне пруге (станице А и Б између којих постоји неколико блок одсека) и ситуација у којој долази до конфликта између захтева за трасом. Узмимо да железнички превозник 1 захтева две трасе теретних возова, које су означене плавим испрекиданим линијама, док железнички превозник 2 захтева две трасе даљинских путничких (*Intercity – IC*) возова, које су означене пуним црвеним линијама. Превозници формулишу своје захтеве за трасом тако да они садрже идеално време поласка из станице А (у ознаци $xx:xx$) и време толеранције максималног одступања од идеалног времена поласка ($-yy:yy$ и $+yy:yy$). С обзиром да једна

траса воза физички и временски може да заузме најмање један блок одсек на прузи, захтеви за трасама првог *IC* воза и првог теретног воза долазе у конфликт због што би истовремено извршење оба захтева неминовно довело до колизије. Поред тога, дате толеранције нису довољне да би управљач инфраструктуре извршио кориговање траса како би то истовремено било прихватљиво железничким превозницима 1 и 2.



Слика 2 Графикон реда вожње са примером конфликта између захтева за трасама возова

Дакле, проблем се састоји у томе на који начин и по којим критеријумима ће управљач инфраструктуре извести алокацију капацитета у таквим ситуацијама. На слици 3 су приказане улазне величине и могући исходи примене процедуре за алокацију капацитета.



Слика 3 Улазни параметри и исходи процедуре алокације капацитета

Реализација процедура алокације капацитета може резултовати израдом коначног реда вожње без конфликта међу трасама возова или проглашењем загушења на делу инфраструктуре.

4. ТРАДИЦИОНАЛНИ НАЧИН АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ

У ери апсолутног монопола железнице, планирање саобраћаја је представљао комплексан проблем због специфичне технологије и стриктних правила функционисања железничког саобраћаја. Ова комплексност је увећана појавом нових превозника и њихових различитих захтева и циљева на јавној железничкој инфраструктури (Schlechte, 2012). Проблем је посебно изражен у процедури алокације траса возова. У железничком сектору данас, конструисање реда вожње представља инструмент усклађивања техничких ограничења расположивог капацитета инфраструктуре и возног парка више превозника са захтевима за превозом на једној мрежи, који су иницијално неусаглашени.

Готово читав век пре реструктурирања па све до данас, у вертикално интегрисаним железничким компанијама конструисање реда вожње заснивало се на унапред уређеној хијерархији која је одређивала значај сваке врсте возова (ранг возова) и према томе им додељивала предност у односу на друге (Nilsson, 2002). У процедури конструисања редова вожње то практично значи да се прве трасе додељују врстама возова са највишим приоритетом, док се трасе осталих возова са нижим приоритетом морају прилагођавати већ уцртаним трасама у графикон реда вожње. Иако су у последњих неколико деценија софтверски пакети и модели за оптимизацију коришћења железничке инфраструктуре доста напредовали, процес планирања реда вожње у прве две деценије 21. века на железници у великом броју европских држава и даље је оријентисан на ручно цртање траса и интуитивног планирања реда вожње. Ред вожње конструисан на овакав начин заснива се на расподели капацитета који не

доводи до максимизације профита управљача инфраструктуре, или било које друге функције друштвене корисности. У циљу илустровања процедуре конструисања реда вожње коришћењем традиционалног приступа, овде ће бити приказана процедура каква је била коришћена на српским железницама, која се све до почетка 2000-те године није разликовала од осталих земаља у Европи.

4.1 Процедура планирања саобраћаја и конструисања реда вожње на српским железницама

Процес конструисања реда вожње на Железницама Србије је регулисан Правилником о изради реда вожње и Упутством о изради реда вожње, док је спровођење реда вожње у реалном времену регулисано Саобраћајним правилником. Сва правила за конструисање реда вожње су наслеђена из периода Заједнице југословенских железница¹¹. То значи да се више од 25 година након распада Заједнице ЈЖ на простору СФРЈ готово ништа није променило у погледу конструисања реда вожње. Уместо тога дошло је до упрошћавања целог процеса не само због смањења броја категорија возова, него и драстичним смањењем обима саобраћаја.

Према Правилнику о изради реда вожње, појам реда вожње се дефинише као "конкретни план саобраћаја возова за превоз путника и ствари, као и за железничке потребе и представља основу технолошког процеса производње и реализације превозних услуга железнице"¹². У следећем параграфу истог члана се наводи да ред вожње треба да усклади потребе у

¹¹ Заједница југословенских железница је била пословно удружење железничких транспортних организација (ЖТО) на територији СФРЈ, којој је држава делегирала неке своје надлежности као што је представљање на међународним конференцијама, израда прописа у области железничког саобраћаја, ислеђење ванредних догађања и др.

¹² Правилник о изради реда вожње Заједнице југословенских железница, члан 3 параграф 1, Београд, 1988.

превозу са реалним расположивим капацитетима, и заснива се на усвојеним плановима развоја и пословној политици ЈЖ.

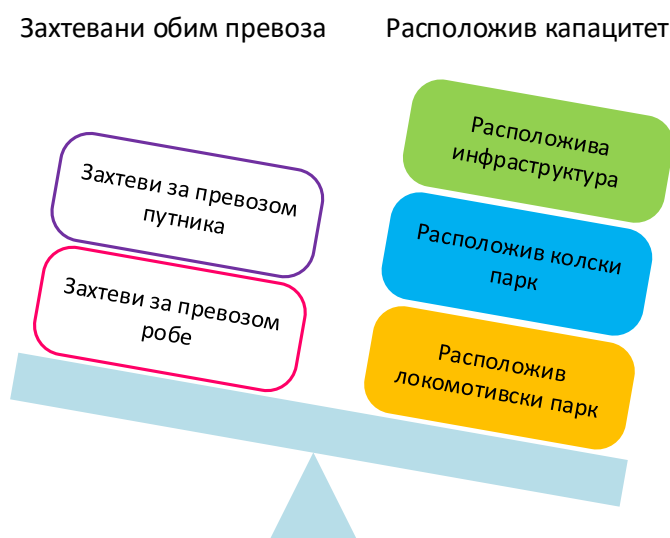
Израда реда вожње започиње доношењем пословне политике и основа за израду реда вожње Заједнице ЈЖ. На основу опште пословне политике ЈЖ, Скупштина Заједнице ЈЖ је дужна да усвоји пословну политику за нови ред вожње. Та пословна политика треба да садржи "основне правце развоја железничког саобраћаја у зависности од материјално-техничких и кадровских капацитета који се могу предвидети за наредни ред вожње, уз сагледавање обима превоза, економских и финансијских ефеката и евентуалних приоритета"¹³.

Основе за ред вожње чине заправо подаци о обиму и динамици превоза путника и робе за претходну, текућу и наредну годину. Поред тога, основе чине и расположиви материјално-технички капацитети који поред стања инфраструктуре укључују број и стање како колског тако и локомотивског парка. То значи да расположиво стање колског и локомотивског парка јединог железничког предузећа условљава конструкцију реда вожње и понуду на транспортном тржишту (слика 4). У свакој железничкој транспортној организацији (ЖТО) је постојала по једна служба задужена за припрему основа за ред вожње која је ове податке прикупљала и анализирала, док је за целу мрежу ЈЖ била задужена Заједница ЈЖ.

У складу са донетом пословном политиком и основама за израду новог реда вожње израђују се смернице за израду реда вожње. Између осталог оне обухватају истраживање тржишта транспортних услуга, процену обима превоза, мере да се важећи ред вожње унапреди у новом реду вожње,

¹³ Правилник о изради реда вожње Заједнице југословенских железница, члан 9 параграф 3, Београд, 1988.

процена економских ефеката тарифске политике и сл. Дакле смернице одражавају предвиђања кретања различитих ефеката у периоду важења новог реда вожње. На основу ових података одређује се обим превоза по структури, врстама возова и релацијама, као и оквирно време саобраћања возова. Организација превоза се ради одвојено за путнички и теретни саобраћај, прво за међународни затим за заједнички унутрашњи (саобраћај између више ЖТО) и на крају за локални саобраћај унутар једног ЖТО.



Слика 4 Ред вожње као средство усклађивања потребе за превозом са реалним расположивим капацитетима

На основу ових података служба надлежна за ред вожње ЖТО израђује претпројекат реда вожње, што укључује послове израде и конструкције графика саобраћаја возова. Са предлозима за међународни саобраћај из претпројекта реда вожње представници Заједнице ЈЖ учествују на Европским конференцијама путничког и теретног реда вожње где се усклађују предлози између националних железничких предузећа. Након тога служба надлежна за ред вожње ЖТО приступа изради пројекта реда вожње, што подразумева уношење измена и корекције претпројекта реда вожње, после чега се обавља завршно усклађивање реда вожње. Потом Заједница ЈЖ на заједничком састанку са представницима ЖТО израђује прелазне мере за прелазак са важећег на нови ред вожње и усваја нови ред вожње најкасније 30 дана пре његовог ступања на снагу. Заједница ЈЖ и

ЖТО приступају издавању и објављивању материјала реда вожње¹⁴. У табели 2 је наведен редослед активности припреме, израде и доношење реда вожње у унутрашњем саобраћају и рокови за њихово комплетирање на примеру реда вожње за 1990. годину. Из табеле се може видети да је цео процес конструкције реда вожње линеаран. Један од могућих разлога за то јесте да су се конфликтни захтеви решавали унутар железничких предузећа.

Табела 2 Редослед активности у процедури конструкције реда вожње и рокови за њихово испуњење у унутрашњем саобраћају према Правилнику о изради реда вожње Заједнице ЈЖ за 1990. годину

Активност	Рок
Обрада и достава података за доношење основе и смернице	31.12.1988.
Доношење пословне политике развоја жел. саобраћаја за нови ред вожње	31.01.1989.
Доношење смерница за организацију превоза и саобраћаја	15.03.1989.
Припрема и утврђивање организације превоза и саобраћаја	31.10.1989.
Израда претпројекта реда вожње	31.10.1989.
Израда пројекта реда вожње	31.12.1989.
Завршно усклађивање реда вожње	01.03.1990.
Израда прелазних мера са важећег на нови ред вожње	15.04.1990.
Скупштина Заједнице ЈЖ усваја нови ред вожње	27.04.1990.
Објављивање и издавање материјала реда вожње	07.05.1990.
Ред вожње ступа на снагу	27.05.1990.

Ближе одредбе за израду графикона саобраћаја возова наведене су у Упутству о изради реда вожње. Самој конструкцији графикона саобраћаја возова претходи израчунавање станичних интервала за ту пругу и осталих елемената према Упутству о утврђивању и евидентирању капацитета и организацији теретног саобраћаја. Чланом 41 овог упутства наведено је да се у графикон уцртавају трасе реда вожње према одређеном редоследу. У параграфу 1 овог члана наводи се следеће: "У графикону саобраћаја возова трасе возова конструишу се по важности, почев од возова највеће важности, па редом до возова најмање важности. На овај начин се прилагођавају трасе

¹⁴ Под материјалом за ред вожње подразумевају се графикони и књижице реда вожње, саобраћајно-транспортна упутства, прелазне мере за службену и извод путничког реда вожње за јавну употребу.

мање важних возова трасама возова веће важности". Овде се наводи да трасе које се накнадно уцртавају у графикон реда вожње не смеју реметити трасе возова које су већ уцртане у графикон¹⁵. Према роковима израде претпројекта реда вожње који су одређени Правилником о изради реда вожње може се закључити да се прво уцртавају трасе путничких возова у међународном саобраћају, затим трасе путничких возова у унутрашњем саобраћају, трасе теретних возова у међународном саобраћају и на крају трасе теретних возова у унутрашњем саобраћају. Међутим, интересантно је да се у Правилнику и Упутству за израду реда вожње експлицитно не наводи тачан редослед уцртавања траса у графикон реда вожње по рангу возова.

Са друге стране у Саобраћајном правилнику рангови возова су јасно наведени према њиховој важности приликом регулисања саобраћаја. У табели 3 је дат ранг возова у погледу давања првенства при регулисању саобраћаја возова на мрежи Железница Србије код поремећаја реда вожње¹⁶:

Табела 3 Ранг возова на према Саобраћајном правилнику Заједнице ЈЖ

Рб.	Ранг воза	Рб.	Ранг воза
1.	Специјални возови	11.	Брзи теретни возови
2.	ЕС (<i>Eurocity</i>) возови*	12.	Војни возови
3.	ИС (<i>Intercity</i>) возови	13.	Брзи манипулативни возови
4.	Пословни возови	14.	Директни теретни возови
5.	Експресни возови	15.	Деонички теретни возови
6.	Брзи возови	16.	Сабирно-манипулативни возови
7.	Убрзани возови	17.	Сабирни возови
8.	Путнички возови	18.	Помоћни возови
9.	Локални путнички возови	19.	Службени возови
10.	Експресни теретни возови		

*Означени стриктно возови за превоз путника

¹⁵ Упутство о изради реда вожње Заједнице југословенских железница, члан 41 параграф 1 став 2, Београд, 1988.

¹⁶ Саобраћајни правилник Заједнице југословенских железница, члан 7 параграф 11, Београд, 1994.

Као што се може видети из табеле, диверсификација ранга возова је веома широка. Уз то, у истом ставу наводи се да возови из међународног саобраћаја имају предност при регулисању саобраћаја над возовима истог ранга из унутрашњег саобраћаја, као и да се појединим путничким и теретним возовима од "комерцијално-пословног значаја" може дати и већи ранг¹⁷.

У случају постојања конфликтних захтева између ЖТО, њихово решавање је регулисано чланом 7 Правилника о изради реда вожње. Он наводи да "у случајевима када се код договарања и утврђивања реда вожње ЖТО не могу споразумети око усклађивања и конструкције претпројекта реда вожње ... Пословодни одбор Заједнице ЈЖ сходно одредбама Самоуправног споразума о удруживању у Заједницу југословенских железница ће донети одговарајућу одлуку, о чему председник Пословодног одбора Заједнице ЈЖ обавештава Скупштину Заједнице ЈЖ на првој седници"¹⁸. Другим речима, спорна питања решава именована комисија која доноси крајњу одлуку. Чак и након обједињавања функција Заједнице ЈЖ и ЖТП Београд 2006. године, у пословима израде реда вожње, спорна питања се решавају на исти начин.

4.2 Регулаторни оквир ЕУ за алокацију капацитета железничке инфраструктуре

Европска комисија дефинисала је регулаторни оквир за алокацију капацитета железничке инфраструктуре у државама чланицама ЕУ доношењем директиве 2001/14/ЕЗ¹⁹. Она дефинише субјекте који су надлежни за алокацију капацитета и субјекте који могу да аплицирају за

¹⁷ У пракси се дешава да поједини возови добију већи приоритет у односу на свој ранг у циљу минимизирања укупног кашњења свих возова на мрежи.

¹⁸ Правилник о изради реда вожње Заједнице југословенских железница, члан 7 параграф 2, Београд, 1988.

¹⁹ Директиву 2001/14/ЕЗ је проширила и заменила директива 2012/34/ЕУ.

трасе и под којим условима. У члану 39 параграф 1 директива налаже да државе чланице могу да донесу сопствени оквир за алокацију капацитета и за то дефинишу специфична правила, под условом да ће осигурати додељивање капацитета на равноправној и недискриминаторној основи у складу са регулативом Европске заједнице. Управљач инфраструктуре је одговоран за алокацију капацитета, под условом да је он независан у одлучивању од било ког железничког превозника. Уз то, управљач инфраструктуре мора поштовати комерцијалну поверљивост података који су им достављени од стране железничких превозника, што је дефинисано чланом 39 параграф 2 директиве 2012/34/EУ.

4.2.1 Врсте захтева за трасама

Временски период између тренутка постављања захтева за трасом од стране железничког превозника до тренутка када је захтев усвојен и траса неповратно уврштена у важећи ред вожње назива се временски хоризонт планирања (*planning time horizon*) захтева за трасом. У зависности од дужине трајања временског хоризонта и у зависности да ли се захтев за трасом тиче више од једног управљача инфраструктуре, директива 2012/34/EУ препознаје четири различита типа захтева за трасом (Klabes, 2010):

- **Захтев за трасом за дужи период важења** (уведени директивом 2007/58/EЗ), који се остварује оквирним споразумима²⁰ (*framework agreements*). Временски хоризонт планирања трасе за дужи период важења траје између 5 и 15 година. Ова врста трасе омогућава поузданост у дугорочном планирању коришћења капацитета

²⁰ Оквирни споразуми се склапају између управљача инфраструктуре и превозника који имају дугорочна улагања у возни парк (European Commission, 2016). На основу оквирног споразума управљач инфраструктуре се обавезује да ће доделити превознику одређени број траса на једном делу мреже, које ће моћи да користи дуже од једног реда вожње.

управљача инфраструктуре и планирања транспортне понуде железничких превозника;

- **Захтев за трасом у међународном саобраћају**, за разлику од траса у унутрашњем саобраћају, подразумева капацитет железничке инфраструктуре чијим деловима управљају најмање два управљача инфраструктуре;
- **Захтев за трасом у трајању од годину дана** поставља се период важења трасе за један ред вожње. Захтеви се могу поставити највише 12 месеци пре ступања на снагу важећег реда вожње, а најмање до рока који дефинише управљач инфраструктуре. Највећи број управљача инфраструктуре у Европи дефинише овај рок на минимално 8 месеци пре ступања на снагу важећег реда вожње²¹;
- **"Ad-hoc" захтеви за трасом** се постављају у кратком временском периоду. Оваква врста захтева је често јавља у теретном саобраћају, када се од железничког превозника захтева доста већа флексибилност превозне услуге. *Ad-hoc* захтеви за трасом се испостављају најчешће од једне до две недеље, а понекад и до 24 часа пре покретања воза.

Најдужи временски хоризонт имају захтеви за трасама који су проистекли из оквирних споразума. Ова врста захтева је веома битна за железничке превознике јер им осигурава повраћај трошкова инвестиција у возни парк. Овом врстом траса су доминантно обухваћене услуге превоза путника, које су синхронизоване са другим поласцима, посебно што дугорочне трасе осигуравају преседања на друге линије на неколико година што чину услугу поузданом. Такође, оваква врста трасе захтева се код обављања обавезе јавног превоза путника. У случају да се ове трасе захтевају на

²¹ Према извештајима о мрежи управљача инфраструктуре у Немачкој, Швајцарској и Холандији.

годишњем нивоу, време поласка може у великој мери да осцилира сваке године, што чини услугу нестабилнијом. Оквирним споразумом између управљача инфраструктуре и железничког превозника усаглашава се толеранција у оквиру које су померања могућа за сваки нови ред вожње ако је то потребно.

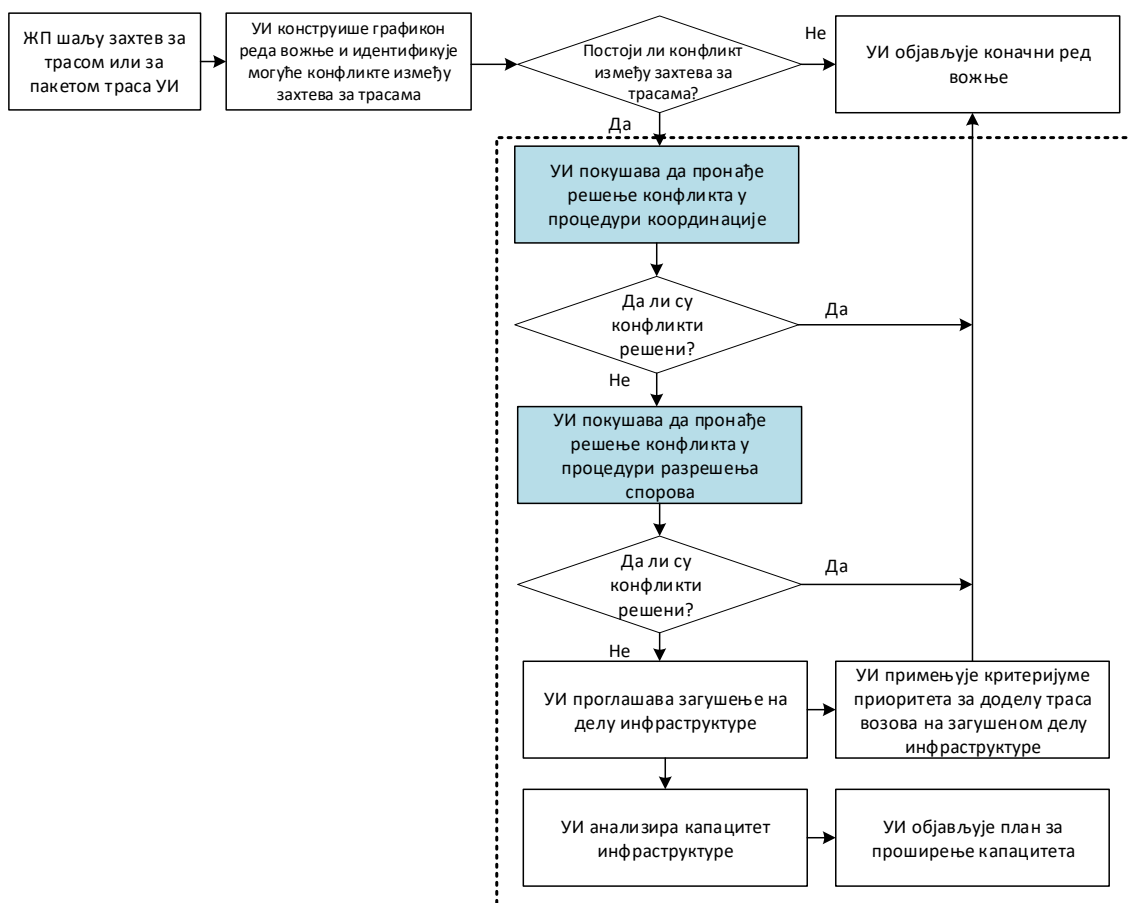
Међу државама чланицама ЕУ и самој Европској комисији води се полемика на тему колико од укупног капацитета треба наменити оквирним споразумима са железничким превозницима. Како наводи Klables (2010), уколико се капацитет инфраструктуре у великој мери користи по основу оквирних уговора са железничким превозницима, управљач инфраструктуре оставља мање капацитета на располагању за трасе на годишњем нивоу.

Овај проблем истовремено се односи и на *ad-hoc* захтеве за трасом. Према члану 28 Директиве 2001/14/ЕЗ, након алокације капацитета за трасе у трајању од годину дана, управљач инфраструктуре треба да осигура довољан капацитет за *ad-hoc* захтеве за трасом и одржавање инфраструктуре. *Ad-hoc* трасе се углавном користе за повремени саобраћај што је погодно за превоз робе. Као и у случају траса по оквирном споразуму, регулаторни оквир није дефинисао колико треба оставити капацитета за *ad-hoc* трасе и одржавање, и управљачи инфраструктуре ову одлуку доносе интуитивно (Klables, 2010).

Према анексу VII директиве 2012/34/ЕУ, ред вожње траје у периоду од годину дана и нови ред вожње ступа на снагу у поноћ друге суботе у децембру сваке године. Захтеви за трасама које се додељују у трајању од годину дана данас су најбројнији захтеви. Због тога, докторска дисертација ће се бавити алокацијом управо ових врста траса возова.

4.2.2 Процедура алокације траса возова и у трајању од годину дана и начин решавања конфликтних захтева према директиви 2012/34/EУ

Алгоритам доделе капацитета према важећем регулаторном оквиру је приказан на слици 5, где су предвиђене нове процедуре (уоквирене испрекиданом линијом) усвајањем директиве 2001/14/EЗ, коју је касније заменила и допунила директива 2012/34/EУ.



Слика 5 Алгоритам алокације капацитета за трасе у унутрашњем саобраћају за период коришћења од једног реда вожње према директиви 2012/34/EУ

Процес алокације траса возова започиње захтевом за трасу железничког превозника према управљачу инфраструктуре. Директива 2012/34/EУ захтева од управљача инфраструктуре да одреди крајњи рок за пријем захтева од превозника који ће бити највише 12 месеци пре ступања на снагу

новог реда вожње. Овај, као и све остале рокове у процедури алокације капацитета, управљач инфраструктуре је дужан да објави у Извештају о мрежи²². У циљу боље илустрације на слици 6 је дат редослед активности управљача инфраструктуре у Србији (Инфраструктура Железница Србије - ИЖС) за процедуру алокације капацитета железничке инфраструктуре²³.

АКТИВНОСТИ	Јануар	Фебруар	Март	Април	Мај	Јуни	Јули	Август	Септембар	Октобар	Новембар	Децембар
1. Достава захтева за трасе међународног путничког саобраћаја	█	█										
2. Достава података за израчунавање возних времена, достава организације БГ Воза		█										
3. Достава података за нацрт реда вожње међународних возова за превоз пут.			█									
4. Конференција - Нацрт реда вожње међународних возова за превоз пут.			█									
5. FTE B (путнички и теретни)			█									
6. Крајњи рок за достављање захтева за доделу траса				█								
7. Достава података за израчунавање возних времена				█	█							
8. Достава података за конструкцију траса свих возова					█							
9. Конференција - Предлог реда вожње 2017/2018					█	█	█	█				
10. Корекција траса међународног теретног саобраћаја и конструкција траса из							█					
11. Достављање Предлога реда вожње 2017/2018 превозницима на увид							█					
12. Додела капацитета и потписивање уговора за ОЛП								█				
13. WMPS-2 (путнички), RNE L								█				
14. Конференција Балканска модул група (теретни)									█			
15. Разматрање преосталих захтева за трасама (искључиво за преостале капацитете)										█		
16. Израда материјала реда вожње и усвајање новог реда вожње											█	
17. Нови ред вожње ступа на снагу												█

Слика 6 Редослед активности у процедури алокације капацитета према Извештају о мрежи из 2018. године управљача инфраструктуре у Србији

²² Извештај о мрежи (*network statement*) представља документ који садржи општа правила, рокове, процедуре и критеријуме за алокацију капацитета као и све остале информације неопходне железничким превозницима за формулисање захтева за коришћење капацитета железничке инфраструктуре. Поред тога, Извештај о мрежи садржи начин рачунања накнаде за коришћење инфраструктуре и детаљан опис инфраструктуре који је превозници могу да користе (Directive 2012/34/EU, 2012).

²³ FTE B, WMPS-2, и RNE L скраћенице означавају конференције редова вожњи.

Управљач инфраструктуре треба да настоји да испуни све захтеве превозника колико год је то могуће. Конфликтне захтеве за трасама треба да „помири“ користећи временске резерве или толеранције које је превозник навео у захтеву за трасом. Након објаве нацрта реда вожње, управљач инфраструктуре га представља свим железничким превозницима који су поднели захтеве. Превозници имају рок од месец дана да уложе примедбе управљачу инфраструктуре на нацрт реда вожње.

У случају да није могуће пронаћи решење без активног укључивања превозника, управљач инфраструктуре започиње процедуру координације кроз процес консултација (означен на слици 5). Ако се током процедуре координације, која је ограничена на месец дана, не пронађе решење, превозници имају још један покушај да уложе жалбу на предлог реда вожње. У процедури разрешења спорова треба да се пронађе решење у року од највише 10 радних дана²⁴ (означено на слици 5).

Тамо где није могуће разрешити конфликтне захтеве у процесу консултација са превозницима, тј. када њихове захтеве није могуће испунити на адекватан начин, управљач инфраструктуре ће одмах након процедуре координације прогласити загушење на одређеном делу инфраструктуре. На том делу, управљач инфраструктуре ће спровести анализу капацитета и припремити план проширења капацитета²⁵ (осим ако је овај план већ у процедури спровођења). У случају да накнаде за загушење нису уведене или да не дају задовољавајуће резултате, управљач инфраструктуре може дати приоритет одређеним услугама у процесу конструкције реда вожње који ће важити само на делу инфраструктуре на којем је проглашено загушење. Критеријум по коме се одређује приоритет

²⁴ Директива 2012/34/ЕУ, члан 46 параграф 6.

²⁵ Директива 2012/34/ЕУ, члан 47 параграф 2.

ће узети у обзир значај услуге за друштво у односу на било коју другу услугу, која ће тиме бити искључена²⁶. Такође, државе чланице могу дати приоритет услугама по уговору обавезе јавног превоза или услугама за национални или међународни превоз робе чији развој државе чланице желе да промовишу под недискриминаторним условима²⁷. Приоритети и критеријуми који ће бити коришћени у случају проглашења загушења на делу инфраструктуре су дати у Извештају о мрежи, који објављује управљач инфраструктуре.

4.3 Коришћени критеријуми за одређивање приоритета при алокацији капацитета у земљама ЕУ

Директива 2001/14/ЕЗ је дозволила државама чланицама ЕУ да независно и без ограничења предложи своје критеријуме приоритета за алокацију траса возова. Ова одлука је оставила отворен простор за диверсификацију критеријума у давању приоритета у случају загушења. У том циљу направљен је преглед коришћених критеријума приоритета објављених у Извештајима о мрежи земаља чланица ЕУ укључујући и Норвешку и Швајцарску (укупно 24 земље), који је дат у табели 4 (Stojadinović et al., 2019a). Критеријуми приоритета су дати према редоследу коришћења објављеним у Извештајима о мрежи (колона 1), док су у колони 2 дате земље које користе дати критеријум. Треба имати у виду да у појединим земљама не постоје све категорије возова, што утиче на учесталост појављивања одређеног критеријума. Анализирани су критеријуми приоритета који се примењују само на пругама за мешовити саобраћај где су потенцијално највеће могућности за појаву конфликтних траса.

²⁶ Директива 2012/34/ЕУ, члан 47 параграф 1.

²⁷ Директива 2012/34/ЕУ, члан 47 параграф 4 став 2.

Објављени критеријуми за одређивање приоритета код свих земаља ЕУ се могу систематизовати у две групе: основни и допунски критеријуми (Stojadinović et al., 2019a). Основни критеријуми се користе за решавање конфликта између захтева за трасом две различите врсте услуге (нпр. међународног путничког воза и високо фреквентног путничког воза у локалном саобраћају). Прегледом коришћених критеријума према врсти услуге (табела 4), установљено је да све земље дају предност услугама путничког саобраћаја, који је у већем броју земаља ЕУ врло диверсификован. Половина управљача инфраструктуре (12 од 24 земље) даје апсолутну предност услугама превоза путника од јавног интереса (сви возови у режиму обавезе јавног превоза). У других 8 од 24 земаља чланица апсолутни приоритет у односу на остале врсте саобраћаја даје се путничким возовима високе фреквенције или возовима са тактним редом вожње. Код ове групе земаља, путнички возови високе фреквенције такође спадају у режим обавезе јавног превоза (CER, 2017), тако да овај критеријум уопштено доминира над осталим. Одмах након ових услуга, већина управљача инфраструктуре даје приоритет брзим путничким возовима у међународном и унутрашњем саобраћају (15 од 24 земље). У групи основних критеријума се може сврстати критеријум давања приоритета превозној услузи према оквирном споразуму. У случају конфликта поједини управљачи инфраструктуре (10 до 24) дају предност услузи коју пружају превозници са оквирним уговорима²⁸. У појединим земљама чланицама ЕУ се даје предност теретним возовима у комбинованом транспорту, међународним и брзим теретним возовима у односу на неке врсте путничких возова.

²⁸ Поједине земље наводе ограничење у процентуалном учешћу од укупног броја траса на посматраној прузи за које један превозник са оквирним споразумом има приоритет.

Табела 4 Систематизација критеријума приоритета за алокацију траса на
загушеној инфраструктури у државама чланицама ЕУ²⁹

Основни критеријуми	Земље у којима је примењен
Возови из режима обавезе јавног превоза	Грчка, Данска, Луксембург, Мађарска, Пољска, Португалија, Румунија, Словачка, Словенија, Хрватска, Чешка, Шпанија (12 земаља)
Високо фреквентни или возови тактног реда вожње	Аустрија, Белгија, Италија, Немачка, Финска, Француска, Холандија, Швајцарска (8)
Међународни и брзи даљински возови у унутрашњем саобраћају ³⁰	Аустрија, Белгија, Бугарска, Естонија, Италија, Луксембург, Мађарска, Немачка, Норвешка, Пољска, Словачка, Словенија, Финска, Холандија, Чешка (15)
Остали путнички возови (мање фреквентни, регионални и спорији путнички возови)	Белгија, Бугарска, Грчка, Мађарска, Норвешка, Румунија, Финска, Шпанија (8)
Услуге превоза према оквирном споразуму	Аустрија, Италија, Мађарска, Немачка, Норвешка, Словенија, Француска, Чешка, Швајцарска, Шпанија (10)
Возови комбинованог теретног превоза	Хрватска, Чешка (2)
Међународни и брзи теретни возови	Бугарска, Мађарска, Немачка, Норвешка, Финска, Холандија, Чешка (6)
Допунски критеријуми	Земље у којима је примењен (две или више)
<i>Допунски стандардни критеријуми</i>	
Возови који саобраћају на дужем превозном путу или остварују више возних километара	Бугарска, Италија, Мађарска, Португалија Финска, Француска, Хрватска, Чешка, (8)

²⁹ Редослед критеријума приоритета објављених у Извештају о мрежи појединих земаља се може разликовати од редоследа приказаног у табели.

³⁰ Међународни и брзи даљински возови за превоз путника имају апсолутни приоритет у Белгији, Бугарској, Естонији, Италији и Пољској.

Возови који саобраћају у већем периоду у току године	Бугарска, Италија, Мађарска, Француска, Хрватска, Чешка (основни критеријум), Шпанија (7)
Возови веће фреквенције у току дана или недеље	Аустрија, Италија, Мађарска, Финска, Чешка, Швајцарска (6)
<u>Додатни специфични критеријуми</u>	
Захтев за трасом који доноси већи приход управљачу инфраструктуре	Белгија, Немачка, Швајцарска (основни критеријум) (3)
Раније предат захтев за трасу воза	Бугарска, Мађарска, Словенија (3)
Воз који има већи степен искоришћења капацитета инфраструктуре	Словенија, Шпанија (2)
Социо-економска анализа	Норвешка, Шведска (примарни начин за одређивање приоритета) (2)
Превозник који је имао већи степен искоришћења траса возова у претходном реду вожње	Немачка, Пољска, Хрватска (3)
Возови са дужим временом путовања	Мађарска, Хрватска(2)
Процедура јавног надметања (затворена аукција по највишој цени)	Немачка, Пољска, Словенија, Швајцарска (4)

* Извор: Извештаји о мрежи двадесетчетири национална управљача инфраструктуре за 2019. годину, *RailNetEurope*.

У случају да постоји конфликт између захтева за трасама унутар исте врсте услуге (нпр. путнички-путнички, теретни-теретни) или између захтева превозника са оквирним уговорима, управљач инфраструктуре примењује допунске критеријуме. Уочљиво је да се управљачи инфраструктуре

руководе широким спектром критеријума за одређивање приоритета. Према учесталости појављивања, допунски критеријуми се даље могу разврстати на стандардне и специфичне (Stojadinović et al., 2019a).

Стандардни критеријуми се могу пронаћи код већег броја управљача инфраструктуре као што су трасе возова који саобраћају на дужој релацији, затим давање приоритета услузи која се пружа у већем делу године, као и давање приоритета услузи која има већу фреквенцију у току дана или недеље. Управљачи инфраструктуре често дају предност услузи превоза која се обавља на дужем превозном путу од оне која се пружа на краћем (8 од 24). Поред овог критеријума, одређени број управљача инфраструктуре даје предност услугама које се пружају у дужем периоду трајања реда вожње у односу на оне које се пружају у мањем броју дана током важења реда вожње (7 од 24). Сличан критеријум овом је давање предности услугама са већом фреквенцијом у току дана или недеље (6 од 24). Поједине земље комбинују критеријум дужине превозног пута и фреквенције саобраћања тако што дају предност услузи која ће остварити већи број возних километара током године (овај критеријум се користи за давање приоритета захтевима на међународним теретним коридорима).

У извештајима о мрежи постоје и критеријуми које можемо означити као „специфични“, јер су то по својим карактеристикама и по томе што важе само за једну или две земље. Са трошковног аспекта, један од интересантнијих јесте давање предности захтеву за трасом који доноси већи приход управљачу инфраструктуре (Белгија, Немачка и Швајцарска). Са друге стране, у појединим случајевима користе се допунски критеријуми који нису у директној вези са конкретним захтевом за трасом већ зависи од карактеристика превозника који захтева трасу и његовог учинка. Један од примера јесте критеријум где управљач инфраструктуре више вреднује захтев превозника који је имао већи степен искоришћења железничке

инфраструктуре претходне године (Хрватска, Немачка и Пољска). У ретким случајевима се користи *cost-benefit* анализа, у којој је укључено више фактора, помоћу које се одређује захтев којем се даје приоритет (Норвешка и Шведска). У случају да се претходно не пронађе решење за настали конфликт између захтева за трасама, у малом броју земаља је прописана процедура јавног надметања. У Немачкој, Пољској, Словенији и Швајцарској користи се затворена аукција по највишој цени у којој железнички превозници достављају запечаћену понуду коју су спремни да плате за трасу коју захтевају. Победник аукције је превозник са већом понудом коју плаћа управљачу инфраструктуре.

На основу прегледа и систематизације коришћених критеријума, евидентно је да се највећи број критеријума заснива на врсти услуга. Штавише, критеријуми према врсти услуге имају одлучујућу улогу у давању приоритета захтевима за трасе у готово свим земљама чланицама ЕУ. Бројност и разрада критеријума упућују на закључак да они заправо постоје првенствено у сврху „избегавања“ тржишних критеријума (Stojadinović et al., 2019a). Њиховим коришћењем се и даље тежи задржавању стања предтржишних односа и вредновању услуга са аспекта друштва, а не тржишта. Са друге стране, примена аукције остаје више као изнуђено решење којим се решава проблем у случају да су исцрпљене све претходне могућности али не и као одређење за механизам помоћу кога се трасе додељују.

5. ЦЕНТРАЛИЗОВАНИ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНИ КОНЦЕПТ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА

5.1 Централни концепт алокације капацитета у новом амбијенту

Иако је тржиште услуга превоза законски отворено, у основи је и даље задржана основа традиционалног начина израде реда вожње. Управљач инфраструктуре припрема нацрт реда вожње на готово исти начин као и пре појављивања конкуренције коришћењем критеријумима приоритета из претходног периода монопола. То значи да постоји један (централни) субјект који предлаже ред вожње железничким превозницима, који у највећем броју случајева имају избор да га прихвате, одбију или коригују у ограниченој мери. Према томе, овај начин представља централни концепт израде реда вожње због тога што на алокацију капацитета највише утиче управљач инфраструктуре.

Ипак, појављивањем конкуренције на тржишту траса на јавној железничкој инфраструктури, улоге учесника у алокацији капацитета железничке инфраструктуре су се измениле. Док је раније једна интегрисана железничка компанија обављала све операције почев од прикупљања података, алокације капацитета, конструкције реда вожње и обављања превоза, па до изградње железничке мреже и управљања саобраћајем, данас су у дефрагментисаном железничком систему одговорности управљача инфраструктуре фокусиране на планирање и одржавање мреже, алокацију капацитета и регулисање саобраћаја. Железнички превозници су сада задужени за прикупљање и анализу података о потражњи услуге превоза. На бази тих података, железнички превозници планирају линије и формирају захтеве за трасама возова као и вредновања од којих зависи њихова спремност да плате накнаду за приступ и коришћење железничке

инфраструктуре. Улоге управљача инфраструктуре и железничких превозника у планирању и реализовању железничког саобраћаја су приказане на слици 7.



*Илустрација преузета из Klables (2010).

Слика 7 Редослед корака и нивоа планирања саобраћаја у јавном железничком сектору

Хоризонтално разврставање означава да је за одређену операцију одговоран управљач инфраструктуре или железнички превозник. Стрелице означавају јаку интеракцију између појединих корака планирања саобраћаја у јавним железничким системима. Због јаке повезаност између конструкције реда вожње, планирања рада возног парка и особља тешко је одредити стриктан редослед корака планирања код железничког превозника. Због тога се у садашњим условима алокације капацитета ови кораци у планирању комбинују и решавају симултано у сарадњи са управљачем инфраструктуре. Разлог за овакво стање јесте чињеница да је национална регулатива, која ближе уређује процедуру доделе капацитета железничке инфраструктуре, остала на сличном нивоу као и пре доношења директива које су суштински измениле железнички сектор у Европи. Да би се процедура алокације капацитета учинила транспарентнијом (и поред веће комплексности овог проблема које је донела либерализација

железничког тржишта у ЕУ), потребно је да се национални правилници ускладе са начелима и циљевима који су донети у директивама ЕУ.

Ако се разматрају циљеви алокације капацитета железничке инфраструктуре они су били различити пре вертикалне сепарације и након њеног извршења. Све док је интегрисано железничко предузеће управљало националним железничким системом у државама ЕУ, постојао је универзалан циљ: да се железничка инфраструктура користи што ефикасније. Због чињенице да су све информације о управљању железничким саобраћајем биле доступне вертикално интегрисаном монополисти, операције планирања и управљања могле су да буду оптимизоване за цео железнички сектор (слика 8 лево). Процес либерализације железничког сектора у Европи на којем су сада управљач инфраструктуре и железнички превозници оперативно раздвојени, утицао је на процес алокације капацитета у смислу да глобална оптимизација није више могућа, јер сада сваки учесник на железничком тржишту тежи ка остваривању сопственог (или парцијалног) оптималног пословања. Због тога, сваки железнички превозник захтева приоритет за своје услуге у процедури алокације капацитета (слика 8 десно).



Слика 8 Транзиција у железничком сектору у погледу алокације капацитета железничке инфраструктуре

Тамо где је извршено вертикално раздвајање/сепарација делатности управљања инфраструктуром од послова пружања превозне услуге³¹, управљачу инфраструктуре сада недостају информације о потенцијалној и стварној вредности услуге превоза, које сада поседују железнички превозници. Са друге стране, превозници немају интерес да откривају своја стварна вредновања траса због тога што за трасе желе да плате што нижу цену (Perennes, 2014). Оваква ситуација представља класичан принципал-агент проблем³².

5.1.1 Накнаде за приступ и коришћење инфраструктуре

Централизован начин алокације капацитета који се сада примењује је употпуњен накнадама за приступ и коришћење железничке инфраструктуре. Да би се омогућило постојање конкуренције, отварање и развијање железничког тржишта уведен је систем накнада које железнички превозници плаћају управљачу инфраструктуре за приступ и коришћење инфраструктурних постројења.

Најважнији разлози увођења накнаде леже у отварању железничког тржишта и отварању железничке мреже пруга на коришћење и другим превозницима, успостављање механизма за наплату коришћења железничке инфраструктуре, као и остваривање бољег квалитет услуга и мање трошкове за крајњег корисника услуге железничког транспорта (Bugariновић, 2014). Поред тога, како се управљачи инфраструктуре суочавају са бројним трошковима, накнада би требало да повећа приходе и

³¹ Суштинска сепарација између управљача инфраструктуре и железничког превозника, која између осталог подразумева да они између себе не деле информације о потенцијалним и стварним вредностима услуга превоза, извршена је, ипак, само у неколико европских држава (Велика Британија је била међу првима).

³² Принципал агент проблем (*principal-agent problem*) настаје када је агент мотивисан да ради у свом најбољем интересу који се разликује од интереса његовог надређеног. Узрок проблема је што принципал не може да утврди ниво агентовог напора јер на резултат агентовог рада поред напора, утичу и случајни фактори (Економски речник, 2010).

смањи зависност управљача инфраструктуре од државног буџета. Такође, накнада би требало да одражава трошкове са којима се управљач инфраструктуре суочава и које су изазвали железнички превозници. Регулаторни оквир за увођење накнада за коришћење железничке инфраструктуре је прописан истом директивом као и процедура алокације капацитета железничке инфраструктуре (2001/14/ЕЗ, коју је касније заменила директива 2012/34/ЕУ). Систем накнада за коришћење инфраструктуре одређује управљач инфраструктуре, који одобрава национално регулаторно тело, након чега се објављује у Извештају о мрежи.

Накнаде за коришћење инфраструктуре припадају групи трошковних механизма које дају подстицај превозницима у циљу ефикасније алокације капацитета који недостаје (Nash, 2005). У случају повећане потражње, управљачи инфраструктуре могу да уведу и додатне накнаде (Directive 2012/34/EU, 2012). Увођење додатних накнада је мотивисано потребом за покривање тзв. трошкова недостатка капацитета (*scarcity cost*). Ови трошкови настају на деоницама где пролазак једног воза спречава пролазак другог воза. Недостатак капацитета доводи до тога да један од два превозника одустане од трасе или да се задовољи узимањем инфериорне трасе воза (Nash, 2005). Трошкови недостатка капацитета се рефлектују током израде реда вожње (Quinet, 2003). Сврха увођења додатних накнада на загушеном делу инфраструктуре јесте да се вишом ценом регулише (дестимулише) већа потражња железничких превозника за трасама у одређеном периоду дана на одређеном делу инфраструктуре. То значи да ће вишу накнаду бити спремни да плате само они превозници који највише вреднују трасу у том периоду.

Немачка и Француска су представници два различита приступа у одређивању накнада за недостатак капацитета (Stojadinovic and Boskovic, 2016a). У структури накнада немачког управљача инфраструктуре, виша

накнада уводи се на деоницама са високим степеном искоришћења расположивог капацитета (*high utility lines*). Са друге стране, додатне накнаде у Француској уводе се у вршним периодима дана (*peak hour train-paths*).

5.1.2 Импликације примене централизованог приступа алокацији капацитета на развој железничког тржишта

Сумирајући анализу коришћених критеријума приоритета у додели траса возова могу се издвојити три основна проблема (Stojadinović et al., 2019a):

- Неефикасност алокације давањем апсолутног приоритета услугама превоза путника, чак и онда када постоји загушење;
- Садашњи начин алокације капацитета је пререгулисан, и као такав неосетљив на тржишне захтеве;
- Недостатак транспарентности код израде нацрта реда вожње;
- Начин одређивања висине накнада за загушење железничке инфраструктуре.

Очигледно је да се критеријуми заснивају на историјској претпоставци да је флексибилност услуге превоза робе много већа од услуге превоза путника. Приликом израде реда вожње, тј. алокације траса возова, услуге превоза путника имају предност над услугама превоза робе, без обзира на вредновање захтева корисника превоза. То значи да критеријуми приоритета дају предност оним врстама услуге које би требало да имају већу друштвену вредност, али често на штету оних услуга које имају већу тржишну вредност, што доводи до неефикасне алокације. Услуге које пружају теретни превозници се базирају на комерцијалној основи и често су спремни да плате више за трасу³³ посебно када се ради о профитабилним

³³ Теретни превозници који користе најважнији европски теретни Рајнско-Алпски коридор (Ротердам – Бенова) су крајем 2011. године захтевали од управљача инфраструктуре овог коридора давање приоритета теретним возовима и конструисање траса возова према

транспортним услугама превоза контејнера, аутомобила, угља и сл. (Matthews et al., 2009; Thompson, 2005).

Претходно речено се посебно односи на случајеве загушене инфраструктуре. У условима увођења тржишних вредности услуга на железничкој инфраструктури оправдано се може поставити питање зашто онда давање приоритета према нетржишним критеријумима. Конкретно ради се о услугама превоза од друштвеног значаја на загушеним деловима инфраструктуре где је вредност коришћења капацитета висока. Штавише, највећи удео услуга превоза путника, који се данас првенствено реализује кроз обавезу јавног превоза, обављају историјски превозници (*incumbents*). Такође, они добијају право да обављају услугу јавног превоза најчешће директним уговарањем са наручиоцем услуге јавног превоза (European Commission, 2014). На овај начин је омогућено историјским превозницима да очувају наслеђено право на велики број траса. Истовремено, теретни превозници се доводе у подређен положај због врсте услуге коју пружају, јер се не третира равноправно са услугом превоза путника (Luan et al., 2017).

Други проблем је везан за неосетљивост административног приступа на промене на железничком тржишту. Превоз робе железницом је већ деценијама изложен врло јакој конкуренцији друмских транспортних компанија, па је потребно да се теретни превозници брже прилагођавају променама на тржишту и новим трендовима. Међутим, железнички систем је остао спор/тром и више окренут решавању техничких проблема него прилагођавању транспортне услуге тржишту. Са друге стране, због свог монополског положаја, управљач инфраструктуре није превише заинтересован за честу промену приоритета према захтевима тржишта,

потребама тржишта (<https://www.corridor-rhine-alpine.eu/news-detail/rail-freight-companies-present-their-requirements-for-the-corridor-rotterdam-genoa.html>)

што шаље поруку о нефлексибилности система да брже одговори на захтеве тржишта.

Трећи проблем се односи на сам процес израде реда вожње. Након вертикалног раздвајања историјског железничког предузећа по делатностима, управљач инфраструктуре и даље припрема нацрт реда вожње на исти традиционални начин коришћењем критеријума приоритета из периода монопола. Nilsson (2015) наводи да је садашњи процес израде реда вожње врло спор, где између тренутка упућивања захтева за трасом и објављивања нацрта реда вожње протекне три месеца. Штавише, аутор примећује да се све измене нацрта реда вожње одвијају у највише једној итерацији пре објављивања коначног реда вожње, као и то да принципи којим се управљач инфраструктуре руководи приликом израде нацрта реда вожње нису транспарентни³⁴. Може се закључити да на тај начин управљачи инфраструктуре обезбеђују себи извештан степен флексибилности приликом конструкције нацрта реда вожње, што јесте у складу са Директивом 2012/34/EУ, али уноси извесну дозу нетранспарентности у цео процес. Ово је важно због тога што након објављивања нацрта реда вожње не треба очекивати корекције траса већег обима. Другим речима, и даље постоји један централни субјект који предлаже ред вожње железничким превозницима, који у највећем броју случајева имају избор да га прихвате, одбију или у најбољем случају коригују у врло ограниченој мери. Може се рећи да садашња процедура конструкције нацрта реда вожње у великој мери предодређује исход алокације капацитета на загушеној инфраструктури.

³⁴ У Извештају о мрежи, управљачи инфраструктуре најчешће не објављују конкретне приоритете којима се руководе при одређивања редоследа уцртавања траса у ред вожње.

И коначно, када су у питању накнаде за недостатак капацитета, њихов ефекат је доста ограничен. Виша накнада дестимулише увођење неефикасних услуга у периоду загушења или на загушеном делу инфраструктуре и тиме решава проблем алокације трасе. Међутим, приход од ових накнада често није довољан за проширење капацитета и често представља само један мањи део тих трошкова (Quinet, 2003). Са друге стране, управљачи инфраструктуре не располажу методологијом којом би одредили трошкове недостатка капацитета и алоцирали их на превознике кроз додатне накнаде на недискриминаторни начин. Због тога што не познаје криву потражње, управљач инфраструктуре тешко може да унапред прецизно одреди цену по којој може да прода коришћење целог расположивог капацитета. Ако одреди сувише високу цену, капацитет инфраструктуре неће бити довољно искоришћен, док у супротном, ако одреди сувише ниску цену, неки захтеви за трасама ће остати неиспуњени због превелике потражње јер управљач инфраструктуре ће морати да уведе додатне критеријуме за регулисање повећане потражње (Stern & Turvey, 2003). Поред тога, одређивањем виших цена, управљачи инфраструктуре потенцијално могу да наметну трошак своје неефикасности железничким превозницима и корисницима транспорта, што умањује конкурентност железничке услуге.

На основу реченог, може се закључити да садашњи начин алокације капацитета на загушеној инфраструктури успорава развој конкурентности на железничкој мрежи или генерално на развој отвореног железничког тржишта. На деловима инфраструктуре где не постоји довољан капацитет за све превознике, садашњи начин алокације траса не доноси задовољавајуће решење за све већи број нових превозника, поготово за услуге веће тржишне вредности. Овај проблем је изражен у међународном теретном превозу (посебно изван железничких теретних коридора) и код приступа великим железничким чворовима где долази до

преплитања/сукобљавања потражње за трасама различитих врста транспортних услуга.

5.2 Децентрализовани концепт алокације капацитета

5.2.1 Основне поставке

Потпуно децентрализовани приступ алокацији траса возова на железници захтева да железнички превозници предлажу своје редове вожње управљачу инфраструктуре (Perennes, 2014). Предлози се састоје из захтева за једном или више траса возова које су им неопходне како би испунили захтеве крајњих корисника. Трасе возова у оквиру једног пакета могу бити независне или међузависне, тј. комплементарне³⁵ (посебно у путничком саобраћају) што значи да би додела једне трасе из захтеваног пакета донела мању или готово никакву вредност железничком превознику.

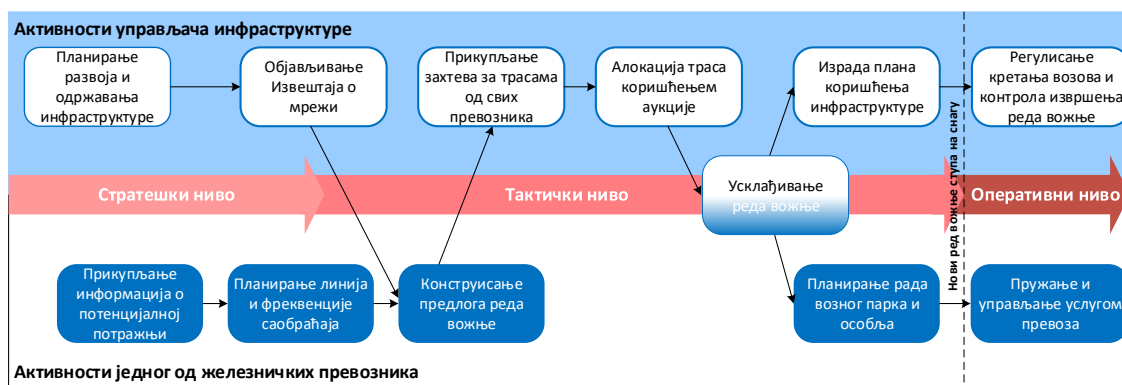
Захтев за трасом се формира тако да железнички превозник свакој захтеваној траси додељује жељено време поласка из почетне и време доласка у крајњу станицу, уз могућа успутна задржавања. На тај начин сваки превозник конструише свој сопствени захтев реда вожње који се базира на специфичној шеми услуге (*service pattern*) коју превозник треба да пружи својим корисницима. За сваку предложену трасу, пакет траса или ред вожње, железнички превозник треба да формира приватно вредновање³⁶. Након тога превозници упућују захтеве управљачу инфраструктуре који упоређује ове захтеве. У таквој алокацији траса возова, улога управљача инфраструктуре јесте да утврди да ли постоји конфликтна потражња за капацитетом. Ако не постоји конфликт између

³⁵ Уколико су предмети комплементарни, лицидант вреднује скуп предмета више него што износи збир вредновања које лицидант има за појединачне предмете.

³⁶ Железнички превозници могу да имају приватне вредности (*private values*), што значи да вредност коју један превозник додељује траси не зависи од вредности коју други превозник додељује тој траси (Trifunović, 2012).

захтева за трасама, управљач инфраструктуре уцртава захтеване трасе у ред вожње и објављује коначну верзију реда вожње, што је завршетак процедуре алокације траса возова. Међутим, ако конфликти постоје, управљач инфраструктуре треба да одреди број конфликта између захтеваних траса и степен преклапања захтева за трасама (од делимичног до потпуног преклапања) на посматраном делу инфраструктуре и да на основу величине потражње у односу на расположиви капацитет одреди на који начин ће решавати проблем алокације.

За разлику од централизованог приступа алокације капацитета, где најважнији критеријум за доделу трасе воза представља приоритет транспортне услуге, у децентрализованом приступу захтеви за трасе различитих врста услуга се третирају равноправно. У одсуству критеријума приоритета потребно је одредити други критеријум по коме ће се трасе доделити на недискриминаторни начин. С обзиром на стварање јединственог европског железничког тржишта које равноправно третира све железничке превознике, без обзира на то да ли су то историјски или нови превозници на тржишту, или на врсту услуге коју они пружају, најважнији критеријум за доделу траса који би стимулисао конкуренцију између превозника јесте цена трасе. Након раздвајања од превозника, управљачу инфраструктуре недостају поуздане информације о вредности услуге превоза, које сада поседују железнички превозници. Због тога, цену трасе воза би требало да одреде сами превозници тако што се ценом надмећу за трасе. Узимајући у обзир претходно речено, аукциони механизам би требало да заузима централно место у децентрализованом приступу алокацији капацитета, што је приказано на слици 9.



Слика 9 Алгоритам децентрализованог планирања саобраћаја, конструкције реда вожње и алокације капацитета

Сама алокација капацитета би се организовала кроз прикупљање понуда јавним надметањем, тј. примена аукционог механизма. Након одржавања аукције, управљач инфраструктуре би размотрио захтеве сваког железничког превозника који није био победник на аукцији и покушао да њихове захтеве усклади са преосталим доступним капацитетом. Управљач инфраструктуре би том приликом превозницима предложио корекцију њихових захтева увођењем укрштавања, одлагањем поласка и сл. у циљу да се и овим захтевима изађе у сусрет. Редослед преговарања би могао бити према критеријуму њихове највеће понуде на одржаној аукцији за алокацију капацитета.

5.2.2 Преглед досадашњих истраживања

Мотивисани све широм употребом аукција у другим јавним секторима и надлазећом либерализацијом железничког тржишта у Европи, примена децентрализованог приступа алокације капацитета се могао очекивати и на железници. Први покушај преласка са централизованог на неку врсту децентрализованог концепта доделе капацитета се десио 1992. године када је Шведска влада одлучила да централна железничка администрација *Banverket* изведе транзицију са централизованог концепта алокације капацитета ка тржишно одређеном концепту (Drew & Ludewig, 2011). Услед политичких промена које су наступиле годину дана касније,

инициране промене су заустављене. Иако се од децентрализованог концепта алокације капацитета тада одустало, ово питање је покренуло јако много контроверзи око начина доделе капацитета међу заговорницима традиционалног или централизованог начина доделе капацитета са једне, и тржишно или децентрализованог начина алокације капацитета са друге стране (Brewer & Plott, 1996).

Прве реакције на идеју примене аукција за алокацију капацитета железничке инфраструктуре биле су врло скептичне. У својој студији за Европску комисију Coopers & Lybrand (1993) су навели да је немогуће алоцирати трасе и конструисати ред вожње применом децентрализованог концепта планирања због веома специфичне технологије рада железничког сектора. Они су навели да се "трасе возова у графикону реда вожње не могу третирати као међусобно независне због тога што оне нису заменљиве као прости супститути, и да оне зависе од осталих траса у реду вожње. Због тога не постоји јединствена јединица или вредност капацитета железничке инфраструктуре за мешовити саобраћај који може бити додељен и продат различитим железничким превозницима по истој цени". У вези са употребом аукција за алокацију капацитета Coopers & Lybrand (1993) су у истом извештају изнели следећи став: "Међутим једноставна отворена аукција се не може користити због тога што не постоје потпуно независне трасе (као јединице капацитета) које се продају. Смисао сваког надметања и понуде за коришћење инфраструктуре зависи од спецификације осталих траса". Због тога су се прва истраживања бавила основним питањем да ли је употреба децентрализованог приступа алокацији траса возова и аукција на железници уопште могућа.

Први значајан рад који се бавио овим питањем био је рад Brewer & Plott (1996). Један од битних доприноса овог рада био је управо испитивање аргумента заступника тезе да је немогућа било каква примена

децентрализованог концепта алокације траса возова услед техничких специфичности железничког саобраћаја. Аутори су дискутовали о контроверзама не само децентрализованог већ и централизованог приступа алокацији траса возова, са циљем да испитају предности и недостаци ова два супротстављена концепта. Након испитивања контроверзи, аутори су тестирали алокацију траса возова применом аукције по највишој цени. Закључак овог рада јесте да у ограниченом експерименталном окружењу, децентрализован концепт алокације траса може да реши одређене проблеме техничке и економске природе који су уграђени у проблем алокације капацитета железничке инфраструктуре. Штавише, Brewer & Plott (1996) наводе да је примена аукција не само могућа него и да остварује боље резултате према критеријуму ефикасности алокације траса возова.

Након овог рада, уследио је низ радова који се бавио различитим аспектима примене децентрализованог концепта алокације траса возова са аспекта транспортне политике³⁷. Nilsson (2002) наводи да је коришћењем аукционог механизма могуће решити конфликтну потражњу у случају када не постоји довољан капацитет инфраструктуре. Аутор закључује да уграђивањем аукције у процес израде реда вожње доводи до два исхода: алокације траса возова и одређивање накнада за загушење. Nilsson (2002) се бавио и проблемом стимулисања железничких превозника да открију право вредновање за пакет траса коју захтевају (*incentive problem*), кроз примену аукције. У том циљу, аутор је моделовао зависност вредности трасе од додељеног времена отпреме и времена приспећа воза за превозника

³⁷ Изван Европе, железнички сектор је другачије организован и децентрализован концепт алокације траса возова се не може применити. Међутим, и на железничком тржишту у САД постоји већи број железничких превозника, при чему теретни железнички превозници поседују сопствену железничку инфраструктуру. Они пружају слободан приступ путничком превознику *Amtrak* и осталим конкурентима на тржишту транспорта робе железницом за одређену накнаду. Због тога, приступ проблему алокације траса возова у САД је другачији него у Европи и овим проблемом су се између осталих бавили (Levy et al., 2015; Peña Alcaraz, 2015; Talebian et al., 2018).

коришћењем функције корисности (*value-of-access function*)³⁸ за превозника, које је касније у свом моделу искористио Bablinski (2016). Са друге стране, поред ефикасности алокације и максимизирања прихода од продаје траса управљача инфраструктуре, Nilsson (2002) разматра проблем достизања вишег нивоа друштвеног благостања³⁹. Он наводи да је тешко предвидети све финансијске ефекте након увођења аукције и да ли ће увођење аукције угрозити садашњу политику очувања друштвеног благостања (*welfare-enhancing policy*). У циљу решавања овог проблема, аутор предлаже давање повлашћеног статуса појединим некомерцијалним услугама превоза (*positive discrimination*) по угледу на аукције за радио фреквенције за локалне радио станице у САД. Овим питањем су се касније бавили и Jansson & Lang (2013) који су навели да би примена аукције довела у питање садашњи ниво благостања који постоји у Шведској. Према њима, могућа употреба аукције је веома ограничена у случају јавног превоза путника у Шведској, због тога што се одлуке наручиоца услуге обавезе јавног превоза базирају на социоекономској анализи.

Поједини радови су се бавили питањем да ли је боље користити аукције за конкуренцију на тржишту (*competition in the market*) или за конкуренцију за тржиште (*competition on the market*). Affuso (2003) је у свом раду испитивала одрживост тезе који су поставили Binmore & Klemperer (2002) да је "аукција најпожељнији механизам за алокацију ресурса оним субјектима који га могу користити на најефикаснији начин" у процедури израде реда вожње железничког саобраћаја. Аутор овог рада је представио два концепта

³⁸ Функција корисности (*value-of-access function*) представља зависност између захтеваног (од стране превозника) или додељеног (од стране управљача инфраструктуре) времена за полазак или долазак воза по реду вожње и вредновања трасе воза од стране железничког превозника.

³⁹ Друштвено благостање као појам се економској теорији схвата као збир потрошачког вишка и профита свих економских актера. Анализа благостања се користи у разматрању степена конкуренције на тржишту и њеног утицаја на потрошачки вишак или друштвено благостање као два критеријума у заштити конкуренције (Економски геџник, 2010; Bugarinović, 2014).

примене аукције. Први концепт се користи приликом надметања за лиценце за обављање путничког саобраћаја у Великој Британији (конкуренција за тржиште), док се други концепт заснива на алокацији појединачних траса возова железничким превозницима, који се тада разматрао у Италији (конкуренција на тржишту). Affuso (2003) је на основу искуства из сектора телекомуникација у САД са једне, и специфичности железничког сектора са друге стране предложила употребу симултане вишефазне аукције и комбинаторне аукције. Affuso (2003) се у истом раду бавила одређеним недостацима примене аукције за доделу траса возова као што су могући високи трансакциони трошкови⁴⁰, али без дубљег разматрања њиховог ефекта на превознике. Нешто касније, Perennes (2014) је испитивала изводљивост примене комбинаторне аукције за доделу траса возова на целој железничкој мрежи. Реални услови подразумевају примену аукције на мрежама без релаксације проблема, где управљачи инфраструктуре годишње добијају до 60.000 захтева за трасом возова од железничких превозника⁴¹. Као и Affuso (2003), Perennes (2014) посебно наглашава опасност од превисоких трансакционих трошкова са којим би се железнички превозници суочили у самој припреми вредновања за трасе возова за учествовање на комбинаторним аукцијама. Она наводи алтернативно решење у коме управљач инфраструктуре треба да одлучи коју врсту аукционог механизма ће користити, као и комбинације понуда за траса које ће бити дозвољене превозницима. На овај начин, управљач

⁴⁰ Трансакциони трошкови (*transaction cost*) настају када предузеће учествује на тржишту, купујући ресурсе и продавајући добра и услуге. Учешће на тржишту, било у улози купца или продавца, није бесплатно и јављају се трошкови тржишних трансакција или трансакциони трошкови. Трансакциони трошкови су трошкови прикупљања информација о предмету размене (цена, квалитет и услови набавке), трошкови преговарања купца и продавца и трошкови да би се постигнути договор испунио. Трансакциони трошкови се минимизирају интернизацијом трансакција. Интернизовање трансакција значи да се оне обављају у предузећу, а не преко тржишта (Економски реџник, 2010).

⁴¹ Perennes (2014) наводи да француски управљач инфраструктуре сваке године додељује око 36.000 траса, док немачки управљач инфраструктуре у истом периоду прими близу 60.000 захтева за додељивање траса возова (Borndörfer et al., 2006).

инфраструктуре би нудио на продају специјално дизајниране пакете траса железничким превозницима за посебне врсте услуга превоза и различите сегменте тржишта. Иако би се на овај начин смањили трансакциони трошкови за превознике (а повећали за управљача инфраструктуре јер мора да истражи тржиште), овде се дискретно прелази са концепта надметања на тржишту на концепт надметања за тржиште, што би потенцијално довело до аукција за франшизе и локалних монопола (Affuso, 2003).

Gibson (2003) и Talebian et al. (2018) класификују три различита механизма за алокацију капацитета железничке инфраструктуре: административни (*administrative mechanism*), механизам који је базиран на трошковима управљача инфраструктуре или трошковни (*cost-based mechanism*) и тржишни механизам (*market-based mechanism*). Они закључују да за разлику од административног механизма, трошковни и тржишни механизми подстичу железничке превознике да ефикасније користе железничку инфраструктуру. Quinet (2003) у свом раду разматра особине трошковог механизма и ефекте увођења накнада за коришћење железничке инфраструктуре. Аутор наводи да накнаде за коришћење инфраструктуре у пракси остварују само циљ покривања једног дела трошкова управљача инфраструктуре, док је регулисање повећане потражње за трасама возова услед недостатка капацитета стављено у други план. Заправо, управљачи инфраструктуре не поседују методологију којом би одредили трошкове недостатка капацитета и на недискриминаторни начин алоцирали га на превознике који користе тај део инфраструктуре. Један од разлога који спречава управљача инфраструктуре да одреди трошак недостатка капацитета јесте тај што се након либерализације железничког тржишта, појављује асиметрична информисаност између управљача инфраструктуре и железничких превозника јер је вредновање трасе приватна информација превозника (Klabes, 2010). Ове информације

превозници држе у тајности због постизања, за њих, што повољније цене трасе воза. Због чињенице да управљач инфраструктуре не познаје криву потражње за капацитетом инфраструктуре, он не може прецизно да одреди цену за коју би продао цео расположиви капацитет железничке инфраструктуре. Одређивање више или ниже цене накнаде за коришћење инфраструктуре може водити ка недовољној искоришћености железничке инфраструктуре или ка увођењу нетржишних критеријума који би редуковали повећану потражњу за капацитетом (Stern and Turvey, 2003).

Тржишни механизми се могу користити само у железничким секторима где је извршено вертикално раздвајање управљача инфраструктуре од железничког превозника, са циљем одређивања цена приступа инфраструктури које су превозници спремни да плате за жељене трасе возова, посебно на деловима мреже које карактерише недостатак капацитета (Talebian et al., 2018). Најзаступљенија форма тржишног механизма јесте аукција⁴². Сумирајући ефекте могућег увођења аукција за доделу траса возова Nilsson (2002) закључује да овај механизам симултано решава два проблема која се тренутно решавају одвојено, тј. проблем

⁴² Према економској литератури, постоје три начина за алокацију ресурса за којим постоји већа потражња од расположивости: административно, лутријом или аукцијом (Milgrom, 2004). Административним механизмом се не може постићи ефикасна алокација и у неким случајевима подстиче корупцију. Лутрија пружа равноправан третман свим учесницима због тога што додељује ресурс на случајан начин али као и у случају административног механизма не доводи до ефикасне алокације. Штавише, лутрија ствара простор за препродају ресурса на секундарном тржишту због тога што победник на лутрији има подстицај да прода ресурс по вишој цени субјекту који је спреман да плати више, што привлачи већи број учесника у надметању и потенцијално одлаже коришћење добијеног ресурса или права, што је већ био случај на лутрији за доделу права на коришћење радио фреквенција у САД (Osborne, 2003). Због тога, чак и ако се путем преговарања са непотпуним информацијама постигне *ex-post* ефикасна алокација (што не мора да буде случај), лутрија не пружа равноправнији третман учесницима од аукције. Са друге стране лутрија би смањила потенцијални приход управљача инфраструктуре на рачун победника лутрије. Даље, организовање лутрије би привукло учеснике чија намера није да употребне право или ресурс за који се надмећу, него да остваре што профит кроз њихову препродају. Аукције могу остварити ефикасну алокацију и донети висок приход за продавца. У поређењу са административним механизмом, аукције обезбеђују *ex-ante* равноправан третман свим учесницима.

алокације траса возова и проблем одређивања накнада за загушење, са том разликом што железнички превозници имају главну улогу у одређивању висине цена трасе. У својим радовима, Gibson (2003) и Quinet (2003) закључују да комплексност железничког сектора отежава али и истовремено не спречава примену аукција за алокацију траса возова на железници. Један од највећих проблема за примену аукције представља отпор историјских железничких превозника, који би применом аукције изгубили наслеђена права на трасе из времена монопола на железничком тржишту. Perennes (2014) је испитивала разлоге великог јаза између теоријских предности аукције и њене практичне примене у железничком сектору. Она је упоредила централизован приступ доделе траса возова са децентрализованим приступом у циљу одређивања који је ефикаснији и то у погледу ефикасности алокације и генерисања трансакционих трошкова. Један од важних закључака који је наведен у раду Perennes (2014) јесте да је на железничкој мрежи врло тешко доделити капацитет само једном аукцијом, поготово када су у питању велике мреже. Обим транспорта на целој железничкој мрежи било ког управљача инфраструктуре не само да није равномерно распоређен, већ је на многим деловима мреже капацитет слабо искоришћен. Због тога није рационално користити аукцију као механизам за алокацију капацитета истовремено на целој мрежи. Други разлог за немогућност примене једне аукције на целој мрежи јесте што на различитим деловима мреже доминирају различите врсте услуга превоза. На основу тога Perennes (2014) предлаже изоловану употребу аукције на појединим деловима мреже са високом потражњом. Поред тога, аутор наводи могућност да управљач инфраструктуре ограничи број комбинација траса возова тако што превозницима понуди посебно дизајниране пакете траса одређене врсте услуге (нпр. само за интермодалне теретне возове или за ноћне путничке возове).

Сумирајући наводе из ових радова може се извући неколико закључака:

- Коришћење децентрализованог концепта и аукције за алокацију траса возова је не само могуће, већ у одређеним условима достиже већу ефикасност алокације од традиционалног приступа;
- Једном аукцијом се не може конструисати цео ред вожње на целој мрежи, али се она може користити изоловано на појединим пругама или деловима мреже;
- Аукције могу истовремено решити проблем алокације капацитета (који превозник добија које трасе) и одређивања накнада за загушење (колико превозник плаћа сваку трасу), који се сада решава одвојено;
- Примена децентрализованог концепта алокације капацитета угрожава услуге које нису комерцијалне али које имају велики друштвени значај (нпр. услуге из система обавезе јавног превоза). Другим речима, механизам алокације који се базира на тржишним основама дефинише друштвено корисне услуге као неефикасне и оне немају велике шансе да добију трасу.

5.2.3 Проблеми децентрализованог концепта алокације капацитета

Сумирајући закључке из наведених радова, поред одређених теоријских предности децентрализованог приступа и аукција, ипак може се рећи да постоје препреке које отежавају примену децентрализованог приступа у алокацији капацитета. Уз наведене перформансе трасе као ресурса за алокацију, могу се издвојити три основна проблема примене децентрализованог приступа код алокације железничке инфраструктуре:

- Прилагођавање реда вожње осталих превозника реду вожње победнику аукције;
- Фрагментација железничке инфраструктуре у циљу максимизације прихода управљача инфраструктуре од продаје траса и трансакциони трошкови; и
- Проблеми примене комбинаторне аукције.

Први проблем је неопходност прилагођавања других актера победнику аукције. Наиме, изостављањем улоге једног централног субјекта, који пројектује ред вожње па нуди трасе за продају, доводи до сасвим друге ситуације. Сада постоји више субјеката који предлажу сопствене редове вожње (превозници) за које се надмећу на аукцији. Последица оваквог концепта децентрализованог планирања и алокације капацитета јесте велика међузависност између услуга железничких превозника, због тога што се реду вожње победника аукције прилагођавају сви остали превозници. Да би се спречило одустајање превозника који нису победили на аукцији од коришћења капацитета, неопходно је организовати усклађивање њихових захтева са преосталим расположивим капацитетом. Тада је потребно потврдити да ли поменути превозници пристају на друге карактеристике трасе воза (нпр. промену времена поласка и/или доласка воза), и како да управљач инфраструктуре на овај начин делимично удовољи захтевима превозника који нису победили на аукцији. Са аспекта железничког превозника, свако одступање од захтеване трасе води ка смањењу вредновања трасе од стране тог железничког превозника. Спремност превозника да прихвате дату трасу може се приказати преко функције корисности трасе за превозника (*value-of-access function*). Nilsson (2002) је дао приказ како би две функције корисности превозника од трасе под условом да је вредновање превозника у оба случаја једнако (слика 10). На слици се може приметити да постоје две функције око жељеног тренутка поласка воза. Једна функција вредновања трасе превозника линеарно опада од жељеног тренутка поласка (или доласка) до нуле, док друга функција има равномерно вредновање трасе од стране превозника у одређеном временском интервалу.



*Слика преузета из Nilsson (2002).

Слика 10 Функција корисности трасе за железничког превозника у односу на одступање од жељеног времена саобраћања воза

У највећем броју случајева линеарно опадајућа функција корисности одговара приказу функције корисности код путничког превозника, чије је вредновање трасе много осетљивије на одступање од жељеног времена поласка него код теретних превозника, којима више одговара функција равномерног вредновања. Међутим, све је више теретних превозника који због зависности од других учесника у транспорту (пре свега у комбинованом транспорту) имају већу осетљивост на одступање захтеване трасе у смислу промене жељеног времена поласка и доласка воза.

Други проблем децентрализованог концепта алокације се односи на максимизацију профита од продаје траса возова. Ако се за алокацију капацитета користи класичан тржишни механизам у коме управљач инфраструктуре има тенденцију да максимизира профит, онда би он требао да мрежу инфраструктуре подели на ситне делове као што су деонице пруга или неколико међустаничних растојања (теоретски чак и на блок одсеке), и тако продаје превозницима за коришћење као посебне

тржишне сегменте. На тај начин би се на деловима инфраструктуре за које постоји велика заинтересованост железничких превозника (нпр. за коришћење капацитета која су под загушењем) могла постићи висока цена. Поред географске фрагментације постоји и временска фрагментација за коришћење капацитета (нпр. у вршном периоду и ван њега). Мањом фрагментацијом потенцијални приход управљача инфраструктуре се смањује, док је се већом фрагментацијом повећавају трансакциони трошкови превозника и управљача инфраструктуре. Уз то, фрагментација тржишта доводи до великог броја могућих комбинација коришћених сегмената инфраструктуре за трасе возова, за које превозници могу да се надмећу. У овом проблему је неопходно дефинисати оптималан број сегмената инфраструктуре и број комбинација траса које сваки превозник може да предложи. Ова ограничења ће утицати на смањење неизвесности, али истовремено их треба тако формулисати да не ограниче потребе железничких превозника за захтеваним капацитетом инфраструктуре.

Технологија рада железничког саобраћаја, пре свега висока међузависност између траса возова и ефекат мреже упућује на закључак да би примена комбинаторне аукције⁴³ била логично решење. Комбинаторне аукције могу да доведу до много ефикасније алокације нарочито када су предмети који се продају комплементи, јер вредност коју железнички превозници додељују пакету траса већа је од простог збира вредности појединачних траса. Међутим комбинаторне аукције представљају компликованији тип аукција (Trifunović, 2012). Генерално, комплексније аукције као што су комбинаторне могу довести до проблема са одређивањем победника, транспарентношћу процеса алокације (у смислу тешког праћења тока

⁴³ Комбинаторне аукције представљају врсту аукција на којима лицитанти сами бирају пакете које желе да купе. У овим аукцијама, лицитанти покушавају да купе један или више предмета (услуга) који су међусобно повезани. Тада лицитанти припремају једну или више понуда за различите комбинације предмета (услуга) које желе да купе, и обично је број понуда које даје један лицитант ограничен (Trifunović, 2012).

аукције), као и високе трансакционе трошкове за превознике код састављања комбинација и одређивање њихове вредности (Stern & Turvey, 2003). У случају продаје у пакетима неопходно је да превозници располажу значајним финансијским средствима, што може да доведе до тога да само мали број железничких превозника учествује на аукцији. У општем случају, одређивање оптималних стратегија за превознике и одређивање победника може бити врло компликовано. Исто тако, превозницима је тешко да се увере да ли је управљач инфраструктуре одредио победника у складу са правилима аукције. Иако су, уз помоћ савременијих софтверских пакета и рачунарских система, развијени модели комбинаторних аукција где лицитанти уз помоћ рачунара достављају своје понуде за пакете траса, у будућности се може очекивати повећање броја конфликтних захтева за трасама. Због тога ће се управљачи инфраструктуре и превозници и даље суочавати са овим сложеним проблемом.

5.2.4 Предлог новог алгоритма за алокацију траса возова који се базира на потпуно децентрализованом концепту

Дискусија о централизованом приступу алокацији траса возова показује да је железничком сектору потребан значајан заокрет у смислу промене начина на који се трасе додељују. Са друге стране, смисао дискусије о недостацима децентрализованог концепта алокације траса возова био је да утврди недостатке, изазове и потенцијалне проблеме са којима се учесници у алокацији могу суочити. Међутим, према изнесеним аргументима, ипак се може доћи до новог начина за алокацију траса возова којим се стимулише даљи развој железничког тржишта. Један од доприноса ове дисертације јесте управо дизајнирање и предлагање новог алгоритма за алокацију траса возова који се заснива на тржишним основама али који је истовремено у складу са идејама и циљевима директиве 91/440/ЕЕЗ о повећању конкурентности између железничких превозника и спречавању

дискриминације појединих превозника. Због тога, нови алгоритам мора да задовољи неколико критеријума (Stojadinović et al., 2019a):

- Алгоритам мора да третира све захтеве за трасом (као и све врсте услуге, па тиме и све железничке превознике) на равноправан начин, што искључује употребу критеријума приоритета услуге превоза;
- С обзиром да се алгоритам заснива на тржишним основама (што значи да превозници који највише вреднују своје трасе возова и спремни су за њих највише да плате, имају предност код алокације траса возова), алгоритам мора садржати неку врсту аукције за трасе возова;
- Алгоритам мора бити способан да реши конфликт између захтева за трасама (у зависности од његове величине – броја конфликта);
- Железнички превозници који нису победили на аукцији треба да добију прилику да коригују своје захтеве за трасе за које могу да се поново надмећу; и
- Управљач инфраструктуре треба да искористи сав расположив капацитет који је намењен саобраћају возова.

Први критеријум говори о томе да се трасе више не додељују и уцртавају према редоследу ранга возова (који је одређен према врсти услуге) или према редоследу пријема захтева, већ да додељивање траса зависи од висине понуде коју уз захтев за трасом доставља железнички превозник. У случају постојања конфликта између два или више захтева за трасом, алгоритам треба да омогући превозницима да се надмећу за трасе на аукцији под равноправним условима. О начину решавања конфликта говори трећи критеријум. Управљач инфраструктуре не би требало нужно да покреће аукцију за најмањи конфликт између захтева за трасама. Уместо тога, његова улога јесте да (као и до сада) процени ниво загушења и на основу тога одлучи да ли се конфликт може решити кроз преговоре са

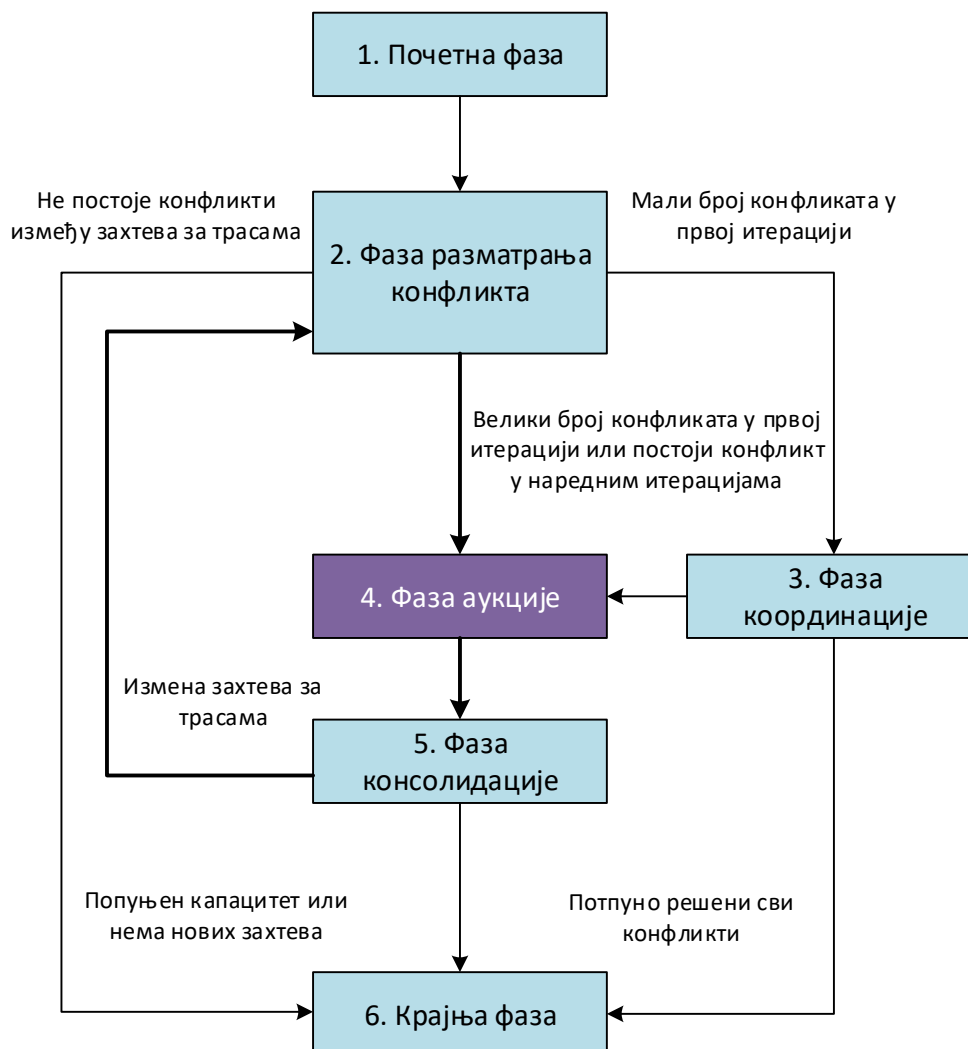
укљученим железничким превозницима у неком разумном периоду трајања (нпр. кроз координацију захтева).

Четврти критеријум говори о прилагођавању захтева за трасама других железничких превозника победнику аукције. Да би се њима омогућило да коригују своје захтева (и да упућују нове), алгоритам за децентрализовану алокацију траса возова требало би да буде цикличан, тј. одређене фазе би требало да се понављају кроз итерације, све док се не изједначе потражња за капацитетом (од превозника) и понуда расположивог капацитета (од управљача инфраструктуре). Да би се омогућило преиспитивање расположивог капацитета и кориговање, након сваке итерације би управљач инфраструктуре требало да одлучи да ли постоји довољно капацитета за алокацију и ако постоји, превозници треба да имају прилику да своје захтеве ускладе са већ додељеним трасама (пети критеријум).

Према датој шеми процедуре алокације капацитета железничке инфраструктуре датој на слици 3 (поглавље 3), алгоритам би требало да има своју почетну фазу (*input phase*) и своју крајњу фазу (*output phase*). У почетној фази, управљач инфраструктуре прикупља захтеве за трасама од заинтересованих превозника. Са друге стране алгоритма, крајња фаза подразумева да управљач инфраструктуре прогласи коначни ред вожње који се састоји од траса возова који нису у међусобном конфликту (*working train timetable*). Између почетне и крајње фазе могу се дефинисати још четири могуће фазе, при чему у зависности од околности у којима се алокација одвија, не морају све бити искоришћене. Предложени редослед и повезаност фаза је приказан на слици 11 (Stojadinović et al., 2019a).

Након почетне фазе прикупљања захтева за трасама, следила би фаза утврђивања постојања конфликта. Уколико би конфликт између захтева за трасама постојао, процедура улази у фаза координације захтева. Уколико се

у овој фази не пронађе решење, следи фаза аукције. Након примене аукције, долази до консолидације код управљача инфраструктуре и код превозника који нису победили на аукцији.



Слика 11 Фазе у новом алгоритму алокације траса возова и њихова међусобна повезаност

У зависности да ли постоји расположив капацитет за алокацији (вишак на страни понуде) и да ли постоје нови или измењени захтеви за трасама (промена на страни потражње), алгоритам може прећи у крајњу фазу, или ће се вратити корак уназад, у фазу аукције. На овај начин, до крајње фазе (коначног реда вожње) може се доћи на три начина: из фазе разматрања постојања конфликта (у случају да их нема), из фазе координације (у

случају да се сви конфликти потпуно реше) и из фазе консолидације (у случају да нема нових или измењених захтева за трасама).

Такође, у зависности од обима загушења, алгоритам нуди двостепено решавање: коришћењем координације на начин како је то описано у директиви 2012/34/EУ (у случају да процењени обим загушења није велики), и коришћењем аукције (ако је процењени обим загушења толики да процедура координација не даје решење за одређено време преговарања). Шта више, у фазу аукције би се прешло директно из фазе разматрања конфликта, у случају да управљач инфраструктуре докаже да је обим загушења велики.

Ако се овај алгоритам посматра заједно са додељеним улогама учесника у алокацији капацитета, фазе у алгоритму датом на слици 10 би биле нешто сложеније (Stojadinović et al., 2019a). Због тога, комплетни алгоритам потпуно децентрализованог концепта алокације траса воза је представљен преко низа корака у процедури, који би изгледали овако (слика 12):

Корак 1. Процедура алокације капацитета започиње достављањем захтева за једном или више траса возова железничких превозника (ЖП на слици) управљачу инфраструктуре (УИ). Захтеви садрже жељено време поласка и доласка као максимална одступања (толеранција) од идеалног времена поласка и трајања путовања. Захтев за трасама једног превозника не сме садржати конфликти између траса које захтева.

Корак 2. Управљач инфраструктуре уцртава захтеване трасе у ред вожње и проверава да ли постоје конфликти између захтева различитих превозника. Управљач инфраструктуре може да користи дате толеранције које су превозници доставили да реши

евентуалне мање конфликте, без консултовања са превозником. Ако конфликта нема, трасе се уцртавају како су захтеване и железнички превозници плаћају накнаду за трасе према формули наведеној у Извештају о мрежи (наравно без икаквих увећања за загушење капацитета). Тада управљач инфраструктуре објављује коначну верзију реда вожње и алгоритам се завршава.

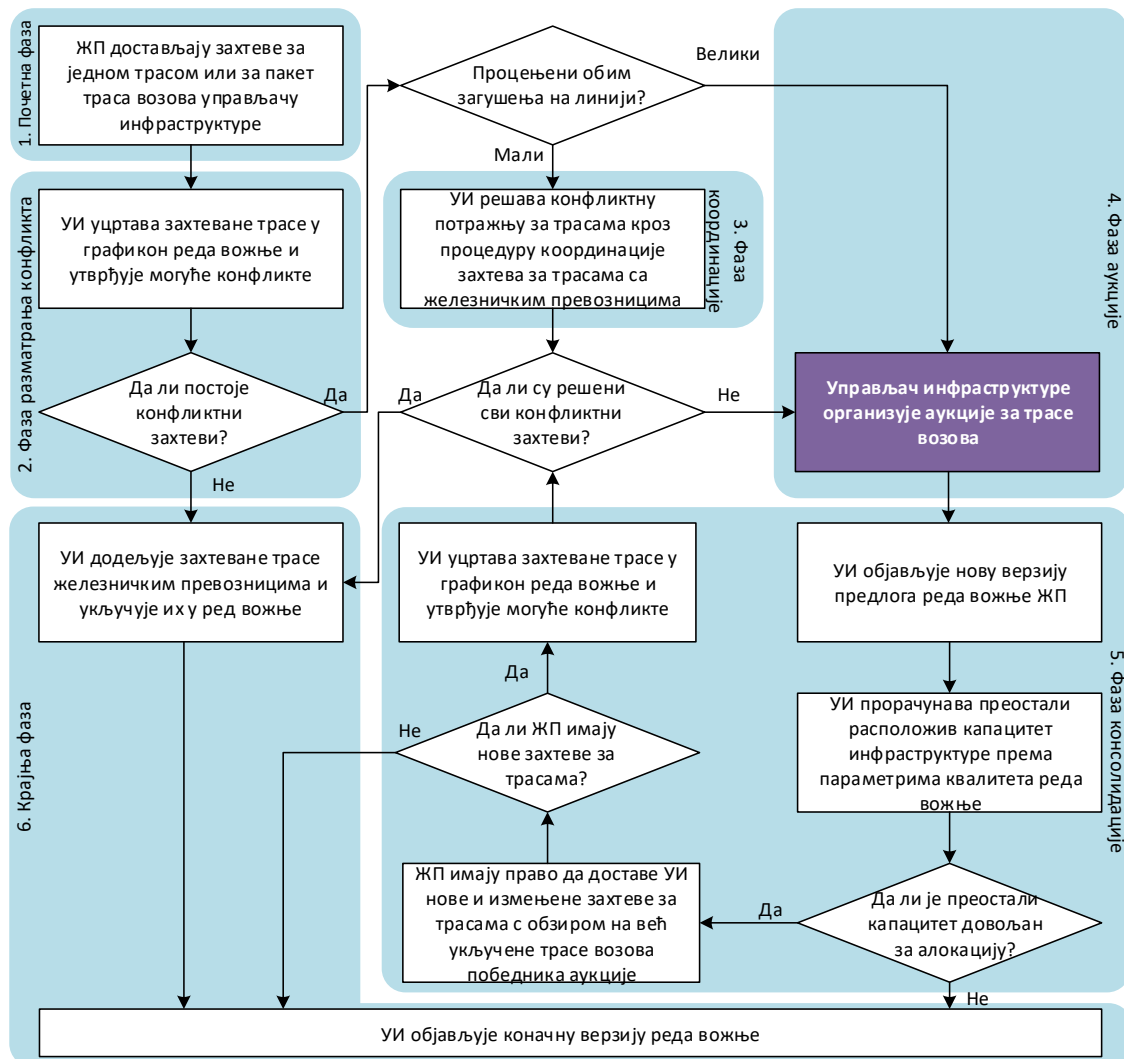
Корак 3. У случају да се конфликти јаве између два или више захтева за трасама, управљач инфраструктуре ће покушати да кроз преговоре са превозницима (фаза координације) коригује захтеване трасе. Ако управљач инфраструктуре заједно са превозницима успе да потпуно разреши све конфликте између захтева за трасама, он додељује трасе превозницима који плаћају накнаду према начину описаном у кораку 2. Након тога, управљач инфраструктуре објављује коначну верзију реда вожње и алгоритам се завршава. Међутим у случају да се у овом кораку не дође до графикана реда вожње без конфликта, управљач инфраструктуре проглашава загушење на том делу инфраструктуре и организује аукцију.

Корак 4. У зависности од одабране врсте аукције, управљач инфраструктуре проглашава победника аукције, који плаћа одређену цену одређену према правилима аукције коришћене у алгоритму.

Корак 5. Након уцртавања једне или више траса из прве итерације у ред вожње, управљач инфраструктуре представља нову верзију реда вожње железничким превозницима. У свакој итерацији се попуњава по један део расположивог капацитета пруге. На основу техничких параметара реда вожње (нпр. искоришћеност пропусне моћи и робусност реда вожње на поремећаје), управљач инфраструктуре

требао да процени на крају које итерације треба окончати алокацију капацитета. У случају да је сав расположив капацитет попуњен, он проглашава коначну верзију реда вожње и алгоритам се завршава.

Корак 6. У случају да постоји расположив капацитет за алокацију, управљач инфраструктуре обавештава заинтересоване превознике да пошаљу нове захтеве за трасама који сада морају да буду у складу са уцртаним трасама у првој итерацији. Продате трасе у претходним итерацијама су фиксне и имају предност у односу на трасе из наредних итерација које морају да им се прилагођавају. Превозници имају рок да доставе измењене или нове захтеве за трасама и нова итерација има исти ток као и претходна. Ако управљач инфраструктуре не добије измењене или нове захтева за трасама, проглашава нацрт реда вожње који је последњи објавио коначним и алгоритам се завршава. У супротном, ако управљач инфраструктуре добије нове или измењене захтеве, он приступа њиховом разматрању (као у кораку 2) и ако утврди да конфликт између њих постоји, организује аукцију тј. нову итерацију алокације капацитета, како је то описано у кораку 4.

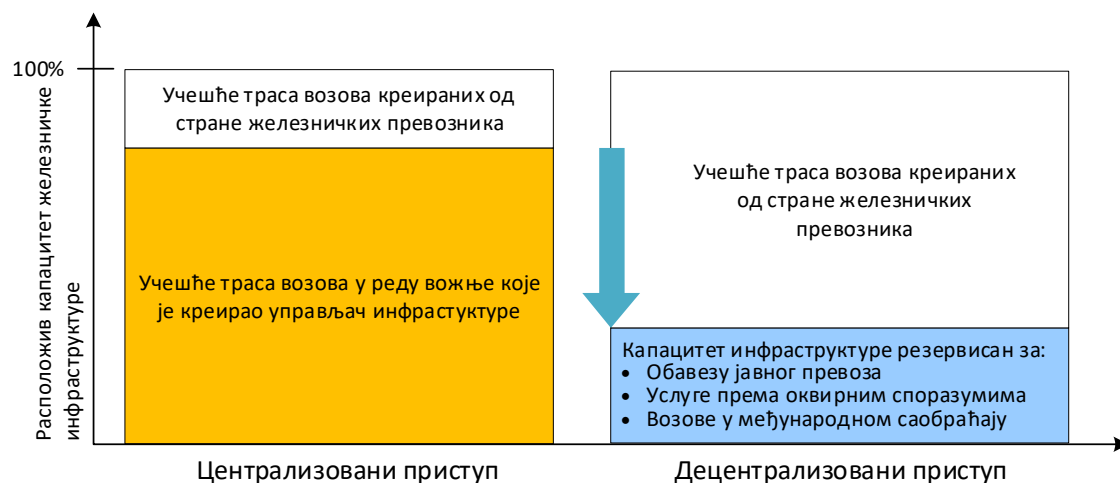


Слика 12 Предлог новог алгоритма за алокацију траса возова који се базира на потпуно децентрализованом концепту алокације

Предложени алгоритам за алокацију траса возова је резултат сублимације општих карактеристика децентрализованог концепта са једне стране (описаних у подпоглављу 5.2.1), специфичности трасе воза као ресурса за алокацију (описаних у подпоглављу 2.2) и закључака изнесених на основу прегледа литературе датих у подпоглављу 5.2.2 са друге стране (Stojadinović et al., 2019a). Истовремено, нови алгоритам је креиран тако да задовољи наведене критеријуме, уз јасно дефинисање улога и редоследа корака. На тај начин, разматрајући ток самог алгоритма може се рећи да су предвиђене улоге појединих учесника разграничене и регулисане тако да се процедура

може одвијати секвенцијално (корак по корак), уместо симултано (као што је то описано у подпоглављу 5.1) Овим се достиже виши ниво транспарентности доделе капацитета инфраструктуре, што доводи до лакшег праћења тока планирања реда вожње, као и процедуре доношења одлука и њиховог образложења (посебно када је реч о одбијању захтева за трасом).

У поређењу са централизованим приступом, нови алгоритам умањује улогу управљача инфраструктуре у смислу израде и предлагања нацрта реда вожње који се касније тешко мења. Преласком са критеријума приоритета према врсти транспортне услуге на критеријум приоритета према тржишној вредности транспортне услуге, управљач инфраструктуре више не може да користи претходни ред вожње као покриће за креирање нацрта новог реда вожње (Stojadinovic and Boskovic, 2016b). Уместо тога, железничким превозницима се омогућује да слободно доставе своје предлоге за редовима вожње, и да се за њихове предлоге надмећу на аукцији. Тиме се постиже да превозници који највише вреднују трасе возова их први добију уз најмању неизвесност. Са друге стране се смањује простор за неефикасне услуге, чиме се повећава вредност реда вожње и ефикасност коришћења капацитета железничке инфраструктуре (што је приказано на слици 13).



Слика 13 Упоредни приказ централизованог и децентрализованог концепта алокације траса возова према критеријуму слободног предлагања траса возова

Предлог новог алгоритма се базира на претпоставци да се трасе возова уцртавају на потпуно празном графикону реда вожње где је максималан капацитет инфраструктуре на располагању за алокацију заинтересованим железничким превозницима (потпуно децентрализовани концепт алокације траса возова). Међутим, у пракси то није оствариво, због тога што управљач инфраструктуре мора да резервише одређен капацитет неопходан за одржавање железничке инфраструктуре (затвор и оправка колосека и опреме), за трасе услуга из система обавезе јавног превоза и за услуге према оквирним споразумима. Потребан обим саобраћаја у систему обавезе јавног превоза као и за услуге према оквирним споразумима, управљач инфраструктуре треба да одреди у договору са наручиоцем обавезе јавног превоза (надлежним државним институцијама), док са железничким превозником управљач инфраструктуре договара потребан обим превоза према оквирном споразуму, уз одобрење регулаторног тела. Уз то треба додати и то да управљач инфраструктуре треба да предвиди одређени капацитет и за *ad-hoc* захтеве за трасама и договорене трасе из међународног саобраћаја.

Колико ових траса треба да буде у реду вожње није питање којим се ова дисертација бави али може се претпоставити да што је већи обим оваквих услуга у реду вожње, то је начин алокације ближи централизованом приступу и обрнуто. Примена новог алгоритма би као могућу последицу имало смањење обима неефикасних услуга транспорта које су наслеђене из времена пре реструктурирања, које су данас покривене националним програмом обавезе јавног превоза (*national PSO*). У будућности ће и даље постојати потреба за очувањем појединих услуга из система ОЈП, међународних возова, возова према оквирним споразумима и *ad-hoc* захтевима за трасама које ће бити изузете од тржишног надметања железничких превозника за трасе. Имајући то у виду, уместо потпуно децентрализованог концепта алокације траса возова, предлаже се примена полу-децентрализованог приступа. То значи где би неке трасе имале приоритет приликом доделе капацитета. Ова претпоставка не мења сам ток алгоритма већ додаје припремну фазу пре иницијалне, чиме се предлог нове процедуре алокације траса возова приближава реалним захтевима железничког тржишта.

5.2.5 Циљеви алокације и критеријуми за избор погодне врсте аукције за доделу траса возова

У случају ако нема конфликта између захтева за трасама предложени алгоритам се ни у чему не би разликовао од централизованог концепта алокације траса возова који се примењује данас у земљама ЕУ. Основна разлика долази до изражаја код начина решавања конфликта између захтева за трасама применом аукције. Према предлогу новог алгоритма алокације траса возова, до фазе аукције се долази на два начина: или директно, у случају великог загушења, или посредно, након неуспешне фазе координације захтева за трасама које се налазе у конфликту. На овај начин, аукција се овде постаје незаобилазна код решавања конфликтне потражње. Тиме се доказује да аукција овде представља опредељење а не

изуђено или крајње решење за редуковање повећане потражње за капацитетом (како се сада користи у појединим земљама ЕУ).

С обзиром на то да се алгоритам децентрализоване алокације траса возова базира на тржишним основама (давање предности услугама које тржиште више вреднује) основно питање које се може поставити јесте која врста аукције највише одговара не само алгоритму, већ и учесницима на тржишту (железничким превозницима и управљачу инфраструктуре). Са аспекта управљача инфраструктуре, одређивање врсте аукције којом ће обавити алокација траса возова може се посматрати као избор његове стратегије којом би требало да се остваре основни циљеви алокације:

1. Максимизирање прихода управљача инфраструктуре у процесу алокације;
2. Ефикасност алокације – додела траса оним железничким превозницима који их највише вреднују у циљу ефикасног коришћења капацитета инфраструктуре;
3. Остваривање веће конкурентности приликом надметања за трасе возова.

Оно што је заједничко за готово све аукције које су по први пут одржане за алокацију ресурса јавне инфраструктуре у секторима телекомуникација и енергетике почетком деведесетих година прошлог века јесте да су биле неуспешне, тј. да нису достигнути планирани приходи аукционара. Ове аукције су тако завршавале најчешће због тога што продавци нису сагледали све појединости аукционог процеса приликом одређивања оптималне врсте аукције. Овоме се може додати и тврдња коју је изнео Klemperer (2004) да је приликом избора оптималне аукције у пракси потребно у већој мери водити рачуна о додатним факторима који се не јављају у економским моделима (као што је политички притисак), а у мањој

мери се ослањати на резултате из теоријских модела. Имајући то у виду, приликом избора аукције требао би обратити пажњу на неколико критеријума, пре свега на:

- **Једноставност аукционог механизма** – једна од најважнијих особина постављеног аукционог механизма је његова једноставност коришћења. Правила аукције би требало да буду предвидива и једноставна за примену за учеснике у надметању како би што лакше исказали своја вредновања. Поред тога, железничким превозницима ће свакако бити потребно извесно време да се прилагоде на нови начин алокације капацитета. Већа једноставност аукционог механизма може убрзати прелазак са административног на тржишни начин алокације траса возова.
- **Трошкови припреме понуда (или процењени трансакциони трошкови)** – било која набавка, истраживање, и преговарање на тржишту ствара одређене трошкове. Приликом припреме пожељних траса возова и њених алтернатива, као и њихових вредновања, железнички превозници се у процедури припреме за аукцију излажу трансакционим трошковима. Они су посебно високи ако је превозницима на располагању дозвољен велики број комбинација траса на аукцији или ако механизам алокације доноси велику неизвесност својим трајањем и одређивањем победника. Аукциони механизам би требао да трошковно буде прихватљив за што већи број железничких превозника, како би што већи број могао да учествује у надметању за трасе.
- **Структура тржишта** има врло битну улогу у одређивању не само врсте аукције. Да би аукција била успешна, потребно је сагледати реално окружење и у којим условима се аукција одржава, ко су

потенцијални учесници на аукцији, колики је њихов удео на тржишту, као и у којој мери се могу оценити политички притисци и њихов утицај на резултат аукције. Европско железничко тржиште је тек почело да се развија. У већини држава постоји по један доминантан железнички превозник и већи број мањих приватних превозника. Од броја независних учесника на аукцији зависи употребна вредност одабраног аукционог механизма.

Поред ових фактора, потребно је узети у обзир и карактеристике потражње за трасама возова на посматраном делу инфраструктуре а који су опширније описани у подпоглављу 2.3. Сви заједно, ови фактори имају улогу у сужавању избора алтернатива управљача инфраструктуре у одабиру најпогодније врсте аукције. С обзиром на то да постоји не само велики број врста аукција, већ и њихових комбинација (које ће бити представљене у наредном поглављу), ови критеријуми имају битну улогу у елиминацији нежељених алтернатива.

6. ДЕФИНИСАЊЕ АУКЦИОНОГ МЕХАНИЗМА, ПРИСТУПИ У ЊИХОВОМ ПРОУЧАВАЊУ И ЊИХОВА СИСТЕМАТИЗАЦИЈА

Аукције се могу посматрати са теоретског и практичног аспекта. Са теоријског аспекта теорија аукција је веома важна за разумевање других метода формирања цена, као што су преговори где су продавац и купац активно укључени у одређивању цене (Trifunović, 2012). Због тога што аукције представљају релативно једноставну и добро дефинисану економску форму, оне су погодне за тестирање хипотеза у области економске теорије - посебно теорије игара са непотпуним информацијама. У пракси, значајна емпиријска истраживања обрађивала су проблеме аукција за права на експлоатацију нафте и лиценце, државне обвезнице, али и све шири спектар области у којима се проучавала експериментална примена аукције.

У пракси веома велики број економских трансакција се одвија путем аукција. Владе користе аукције за продају државних обвезница, за међународну размену, за продају права на експлоатацију минералних ресурса, посебно налазишта нафте и гаса, као и продају имовине или капитала у приватизацији државних компанија. Уговори са државним институцијама се обично склапају преко тендера за потребе јавних набавки. У овим случајевима државне институције настоје да остваре нижу цену. Добра као што су куће, аутомобили, уметничка дела, антиквитети и колекционарски предмети обично се продају на аукцијама. У последњих двадесет година постоји растући интерес за формулисање нових форми аукција за специфична тржишта, на пример као што је продаја права на коришћење фреквенција, и коришћење аукција за отварање нових тржишта као што су продаја електричне енергије и транспорт.

6.1 Појам аукција

Аукција (*auction*) представља јавну продају предмета, услуга или права путем надметања односно лицитацијом (Економски речник, 2010). Такође, аукција се може разумети као формализована процедура преговарања (Borndörfer et al., 2006). Осмишљавање аукције у ствари описује правила која чине оквир за одвијање преговора. Од успешности у дефинисању правила зависи да ли ће аукција успети или не. Постоје два аспекта која карактеришу преговоре: економско добро о коме се преговара (може бити предмет, право или услуга) и процедура преговарања. Аукција се може користити и као средство за утврђивање вредности предмета и услуга који имају неодређену вредност.

Она представља тржишни механизам за алокацију ресурса за које се надмећу пре свега независни учесници (Parkes & Ungar, 2000). Учесници аукција који се надмећу да купе предмет или услугу се називају лицитантима, а продавац који нуди предмет или услугу на продају је аукционар (Trifunović, 2012). Обично се на аукцији надмећу више лицитаната за куповину једног предмета или услуге. У појединим случајевима постоји више продаваца (који могу бити произвођачи, оператери) који покушавају да продају један предмет или услугу једном купцу, нудећи што мању цену, што је обрнута аукција (Klemperer, 2004). Повод великог броја аукција је најчешће продаја једног предмета, права или услуге. Међутим, често се јавља случај да се на аукцијама продаје више предмета, права или услуга истовремено.

6.2 Модели за проучавање аукција

За проучавање понашања учесника и исхода аукције, у економији се користе одређени теоријски модели. Теорија аукција проучава оптималне стратегије лицитаната и аукционара на различитим врстама аукција

(Ekonomski rečnik, 2010). Теорија аукција проучава које су одлуке оптималне за лицитанте и аукционара у различитим аукцијским механизмима. Са аспекта аукционара, теорија аукција проучава у којој мери различите врсте аукција доводе до остварења два примарна циља: ефикасност алокације⁴⁴ и максимизирање очекиваног прихода продавца тј. аукционара (Trifunović, 2012). У појединим ситуацијама примарни циљеви могу бити усклађени или у конфликту. Према Трифуновићу (2012) ако „су ова два циља у конфликту, могуће је да одређена аукција омогући продавцу да оствари висок приход, али да алокација буде неефикасна у смислу да предмет не добије лицитант који га највише вреднује“⁴⁵. Могућ је и други случај који се чешће појављује у пракси, да алокација буде ефикасна, али да аукционар оствари приход од продаје који је нижи од очекиваног.

Постоје два приступа у посматрању и анализирању аукција. Први приступ користи теорију обликовања економског механизма (*mechanism design*). Циљ овог приступа је да се дизајнира такав аукцијски механизам који би подстакао сваког лицитанта да поднесе ону понуду која је једнака његовој вредности (компатибилно подстицајан механизам). У другом приступу, аукције се анализирају коришћењем теорије игара. У том случају аукције се

⁴⁴ Постизање ефикасности алокације подразумева да предмет треба да буде додељен лицитанту коју га највише вреднује.

⁴⁵ Овде се подразумева алокација која је ефикасна у Паретовом смислу (по италијанском економисти В. Парету). За алокацију ресурса која подразумева да никоме положај не може да се побољша док се другом не погорша, каже се да је Парето-ефикасна или да је постигла Парето-оптимум (Stiglitz, 2008). Ако нека расподела ствара могућност за Парето побољшање, она је неефикасна у Паретовом смислу, док у случају да не постоји простор за даље побољшање, такво решење се назива ефикасно у Паретовом смислу. Паретова ефикасност у аукцији захтева да се одређено добро додели учеснику која највише вреднује предмет. Нпр. ако учесник А има највишу вредност, а учесник В нешто нижу вредност за исто добро, и ако учесник В добије предмет постоји лак начин да и учесник А и учесник В буду у бољем положају. Довољно је да се добро пренесе на учесника А, а да особа А исплати учеснику В било који износ између вредности v_A и v_B , али преговарање у условима непотпуних информација не гарантује да ће до такве размене и доћи. Стога је неопходно да ефикасност буде остварена на самој аукцији (Varian, 2010).

третирају као игре са несавршеним информацијама⁴⁶. У том случају, стратегија лицитанта је у функцији његовог вредновања предмета и представља најбољи одговор на стратегије других лицитаната. Овај приступ ће бити коришћен у дисертацији приликом разматрања типова аукција и упоређивања њиховог учинка.

6.2.1 Теорија игара

Теорија игара (*game theory*) представља математичку теорију и методологију која се користи за анализу и решавање конфликтних ситуација у којима учесници имају супротстављене интересе (Економски реџник, 2010). Разматрање ситуација у којима два или више учесника доносе одлуке у условима сукоба интереса названо је теоријом игара. Теорија игара се користи у економском моделирању да би се описала интеракција између економских актера (Trifunović, 2012). Она је пронашла примену у многим областима, а у контексту ове дисертације интересантна је њена примена у проблемима алокације капацитета јавне инфраструктуре, као на пример за продају фреквенција за радио и мобилну телефонију. Теорију игара су у економију први увели Џон фон Нојман и Оскар Моргенштерн 1944. године (Stojanović, 2005). У наредних педесет година ова област се доста развијала што са теоријског, што са аспекта практичне примене. За изузетан научни допринос у области анализе равнотеже у теорији некооперативних игара, Нобелова награда за економске науке је 1994. године додељена Џону Харшањију, Џону Нешу и Рајхнарту Зелтену. Другу Нобелову награду за научни допринос бољег разумевања области конфликта и сарадње кроз анализу теорије игара је 2005. додељена Роберту Ауману и Томасу Шелингу.

⁴⁶ У статичкој игри са несавршеним информацијама (*game with imperfect information*) сваки играч има свој тип који одређује Природа. Његов тип представља његову приватну информацију, а стратегија зависи од његовог типа (Економски реџник, 2010).

Теорију игара карактерише четири елемента: учесници (лицитанти и аукционар), стратегије које могу да користе, њихове исплате које су у зависности од одабране стратегије и коришћених стратегија других учесника и информације које поседују учесници. Основни циљ лицитанта i јесте да максимизира сопствени очекивани профит (π_i) који представља разлику између очекиване вредности предмета за који се надмеће на аукцији и очекиване цене коју треба да плати да би победио на аукцији. У теорији игара очекивана вредност предмета јесте вредност предмета (v_i) која је помножена са вероватноћом да ће тај лицитант победити на аукцији за тај предмет (p_i). Вредност предмета за лицитанта представља случајну променљиву која је расподељена у складу са одређеном функцијом расподеле. Реализована вредност случајне променљиве v_i представља приватно вредновање лицитанта. Очекивана цена представља цену коју лицитант плаћа за предмет (c_i) помножену са вероватноћом да ће победити:

$$\pi_i = (v_i - c_i) \cdot p_i \quad (1)$$

Са друге стране, основни циљ аукционара јесте да максимизира сопствени очекивани приход од продаје предмета на аукцији. Да би остварили своје циљеве (који су у конфликту), аукционар и лицитанти имају одређене стратегије на располагању које бирају у току игре (аукције). Стратегија лицитанта представља избор износа понуде (*bid*) за куповину предмета или услуге на аукцији. Стратегија аукционара се састоји у избору врсте аукције као и евентуалног одређивања висине резервационе цене.

Након што аукционар одабере врсту аукције за продају предмета и лицитанти одаберу своје стратегије за одређену врсту аукције, одређује се исход игре. У зависности од тог исхода, аукционар и лицитанти добијају исплату.

У случају да сви учесници имају идентичне и комплетне информације о правилима игре (аукције), о скупу стратегија које су на располагању њима и другим учесницима и о могућим исходима игре како за себе тако и за друге учеснике, ради се о игри са потпуним информацијама. Ако ово није случај, тада је реч од игри са непотпуним информацијама⁴⁷. По својим карактеристикама, аукције спадају у групу игара са непотпуним информацијама из разлога што учесници додељују одређену вредност предмету која је непозната осталим учесницима.

6.2.2 Нешова равнотежа

Игра може имати велики број различитих исхода. Ако се учесници понашају рационално, сваки ће изабрати стратегију која њему максимизира функцију циља. Због тога, потребно је ограничити скуп исхода игре на равнотежне исходе (*equilibrium outcomes*). Према томе, равнотежни исход настаје кад сваки учесник изабере најбољу или доминантну стратегију у односу на доминантну стратегију осталих учесника (Stojanović, 2005). Међутим, проблем настаје када равнотежа између доминантних стратегија није очигледна, што може бити чест случај.

Нешова равнотежа (названа по математичару Џону Нешу) представља најпознатији концепт за одређивање решења у теорији игара за некооперативне⁴⁸ игре и подразумева да сваки учесник игре бира најбољу стратегију, за било коју стратегију осталих учесника игре (Trifunović, 2012).

Пар стратегија (s_1^*, s_2^*) представља Нешову равнотежу ако је s_1^* најбоља стратегија првог учесника када други учесник користи стратегију s_2^* и ако

⁴⁷ Игра са непотпуним информацијама (*game with incomplete information*) су игре у којима учесници немају све информације о противничким учесницима, тј. њиховим карактеристикама (на пример, њихове могуће преференције, функције исплате игре или расположиве стратегије) (Stojanović, 2005).

⁴⁸ Сви учесници на аукцији су независни и играју појединачно, тј. не удружују се у картеле.

s_2^* представља најбољу стратегију другог учесника када први учесник користи стратегију s_1^* . Математички, пар стратегија чини Нешову равнотежу под условима:

$$\pi_1(s_1^*, s_2^*) \geq \pi_1(s_1, s_2^*) \text{ за свако } s_1 \in S_1; \text{ и} \quad (2)$$

$$\pi_2(s_1^*, s_2^*) \geq \pi_2(s_1^*, s_2) \text{ за свако } s_2 \in S_2. \quad (3)$$

где s_1 представља једну од могућих стратегија првог играча које бира из скупа стратегија S_1 које су му на располагању. Аналогно означавање важи и за другог играча. Изрази (2) и (3) значе следеће: Пар стратегија (s_1^*, s_2^*) представља равнотежно решење игре са два играча ако је s_1^* оптимална стратегија за првог играча насупрот стратегији s_2^* и ако је s_2^* оптимална стратегија другог играча насупрот стратегији s_1^* . Нешова равнотежа не мора да буде представљена само по једном најбољом стратегијом за сваког играча, већ то може бити скуп стратегија за сваког учесника, такав да ниједан учесник нема интерес да изабере стратегију из другог скупа који је различит од Нешове равнотежне стратегије.

Овде треба додати да Нешова равнотежа не постоји у свакој игри. Исто тако постоје игре у којима постоји више Нешових равнотежа и тада међу њима треба одабрати оптимално решење. За то се најчешће користи критеријум Парето оптималности и друштвене оптималности (Stojanović, 2005). Решење игре је Парето оптимално ако ниједан учесник игре избором друге стратегије не може повећати своју добит а да истовремено не смањи добит бар једног од осталих учесника у игри.

Осим Нешове равнотеже постоји још доста различитих концепата за одређивање равнотежног исхода игре и оптималних стратегија лицитаната. У моделу коришћеном у овој дисертацији, оптималне

стратегије лицитаната су одређене у бајесијанској-Нешовој равнотежи за стандардне (статичка игра) и савршеној бајесијанској равнотежи за хибридне аукције (динамичка игра).

6.2.3 Статичке игре са несавршеним информацијама

Концепт Нешове равнотеже се користи у играма где се претпоставља да су лицитанти потпуно информисани о другим учесницима, њиховим стратегијама, преференцијама, вредностима и сл. Међутим, у реалности учесници најчешће не поседују све информације о својим конкурентима и у таквој ситуацији морају да доносе одлуке. Игре које карактеришу реалне конфликтне ситуације углавном су игре са непотпуним и несавршеним информацијама, јер противници рачунају да ће тајношћу и неочекиваним потезима добити предност и победити у конфликтним ситуацијама (Stojanović, 2005).

У играма са несавршеним информацијама или Бајесијанским играма (*Bayesian games*), лицитанти не знају какве одлуке доносе њихови конкуренти. Ово је очигледан случај код симултаних игара, где лицитанти доносе одлуке истовремено. Надметање лицитаната на затвореним аукцијама представља пример статичке игре са несавршеним информацијама где лицитанти подносе понуде у запечаћеним ковертама симултано, познају сопствену функцију вредновања предмета за који се надмећу али не знају функције вредновања других лицитаната.

За разлику од игара са савршеним информацијама, у играма са несавршеним информацијама лицитант има уверења (*believes*) какав је тип његовог конкурента (*type*). У овом случају, уместо концепта Нешове равнотеже, за одређивање оптималних стратегија играча користи се Бајесијанска Нешова равнотежа (*Bayes-Nash equilibrium*) (Osborne, 2003). Она представља допуну Нешове равнотеже у којој играчи мењају своја уверења

о информацијама које поседују други играчи користећи Бајесово правило условне вероватноће.

Кључна компонента која описује игру са несавршеним информацијама јесте скуп могућих типова играча. Један тип (*type*) представља комплетан опис свих релевантних карактеристика противника, укључујући ту и његове преференције. За сваки скуп карактеристика који се могу јавити код противника за које играч сматра да су могуће, постоји по један тип. На почетку игре, за сваког играча се одређује ком типу припада. Међутим, осим сопственог типа, играч не познаје типове других играча. Уместо тога, играч зна само функцију расподеле у складу са којом су расподељени типови других играча. Уколико су типови играча независни, један играч не може на основу свог типа да добије додатне информације о типу својих противника. Ако су типови играча у позитивној корелацији, један играч на основу свог типа може да ажурира вероватноћу о типу свог противника.

Стратегија играча је функција његовог типа и одређује се максимизирањем његовог очекиваног профита, где се узима у обзир функција расподеле за типове осталих играча. Ако су типови играча у позитивној корелацији, стратегија играча је функција његовог типа али и његових ажурираних уверења о типовима осталих играча.

Код аукција са приватним вредностима, тип играча је одређен максималним износом који је спреман да плати за предмет и ове вредности су независно расподељене случајне променљиве у складу са одређеном функцијом расподеле. Стратегија играча је функција његовог типа. Код аукција са међузависним вредностима, вредност коју један лицитант додељује предмету је у позитивној корелацији са вредностима осталих лицитаната. Стратегија играча је функција његових приватних

информација, али и његових ажурираних уверења о вредностима других лицитаната.

Поред статичких постоје и динамичке игре са несавршеним информацијама код игара код којих се користи концепт савршене Бајесијанске равнотеже (*Perfect Bayesian equilibrium*). У овој равнотежи стратегије играча морају да буду конзистентне са њиховим уверењима, а уверења се ажурирају на основу Бајесовог правила, и морају да буду конзистентна са равнотежним стратегијама. Овај концепт равнотеже се користи код хибридних аукције, јер се игра одвија у две фазе.

6.3 Вредновање предмета или услуга на аукцији

Приликом проучавања оптималних стратегија лицитаната на различитим врстама аукција, теорија аукција предвиђа да лицитанти имају вредновање (*value*) према предмету или услузи за коју се надмећу на аукцији. Она могу бити приватна или међузависна. Приватна вредност (*private value*) значи да вредност коју лицитант додељује предмету не зависи од вредности коју други лицитант додељује том истом предмету (Klemperer, 1999).

Међутим, ако лицитанти желе да купе за предмет или право за које постоји само процена вредности (нпр. право за експлоатацију нафте), ова процена се назива сигнал (*signal*). Лицитанти добијају сигнал (s_i) који представља случајну променљиву и ови сигнали су најчешће у јакој корелацији. То значи да ако један лицитант добије јак сигнал, највероватније је да ће и други лицитанти имати јачи сигнал. На тај начин, вредност коју један лицитант додељује предмету је не само у функцији јачине сигнала који добио већ и од сигнала конкурената. Тада су вредновања лицитаната међузависна (*interdependent values*). На пример, претпоставимо да постоје три

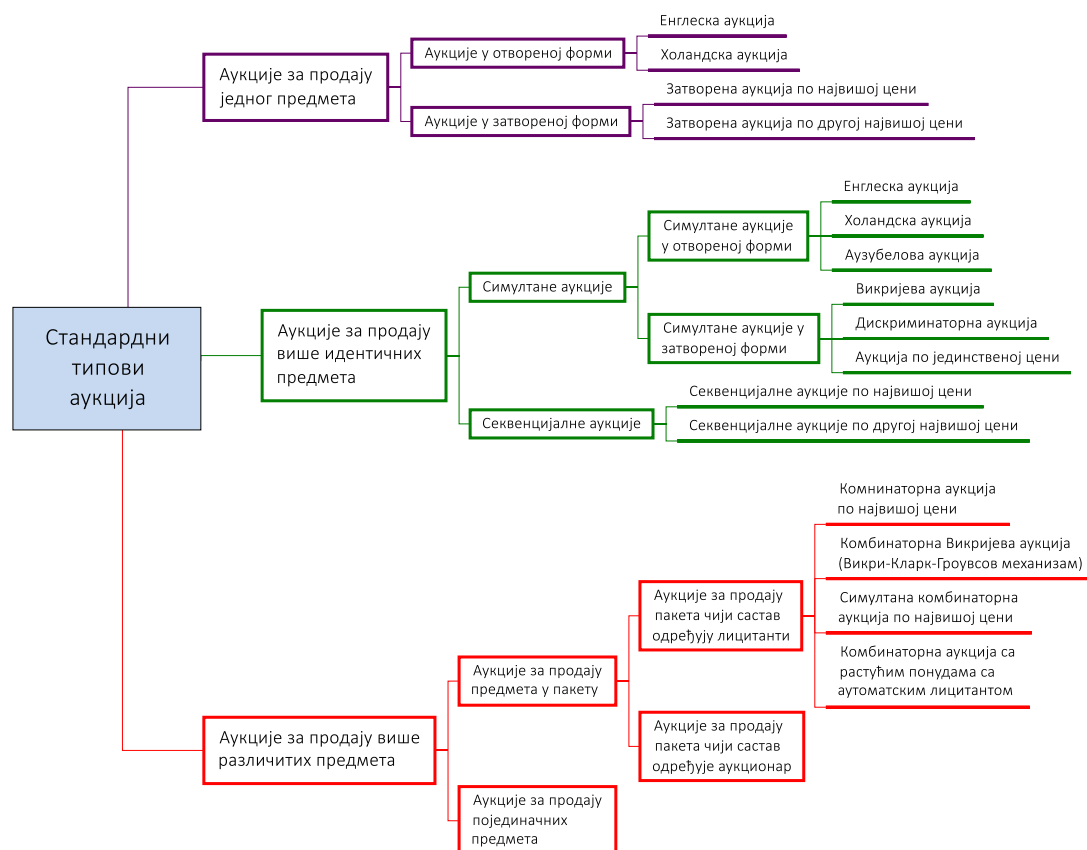
лицитанта, вредност коју лицитант 1 додељује предмету је функција сигнала коју поседују сви лицитанти тако да је:

$$v_1 = 0,5s_1 + 0,25s_2 + 0,25s_3 \quad (4)$$

Да ли ће вредновање бити приватно или међузависно зависи од предмета, права или услуге која се продаје на аукцији.

6.4 Врсте стандардних типова аукција

Класификација врста аукција се може обавити према критеријуму броја и врсте предмета за чију продају се организује аукција. Према критеријуму броја предмета постоје аукције на којима се продаје један уникатан предмет (*single object auctions*). Ако се продаје више предмета, у зависности од тога да ли су они идентични или међусобно различити, постоје аукције за више идентичних предмета (*multiple unit auctions*) и аукције за више различитих предмета (*multiple object auctions*). Независно од броја и врсте предмета, предмети се могу продавати истовремено (симултано) или један по један у фазама (секвенцијално). На слици 14 су систематизовани основни типови аукција према наведеним критеријумима.



Слика 14 Систематизација основних типова аукција

У наредном делу поглавља биће представљени основни типови аукција, од којих су поједини разматрани за примену у секторима транспорта и телекомуникација.

6.4.1 Аукције за продају једног предмета

За продају једног предмета постоји четири основна типа аукције. Аукције на којима се лициданти јавно надмећу за предмет називају се отворене аукције (*open auctions*). Најпознатија врста аукције у пракси је енглеска аукција (*English auction – EN*) на којој аукционар започиње аукцију са минималном или резервационом ценом⁴⁹ коју је више лициданата спремно

⁴⁹ У појединим случајевима, оптимална стратегија за аукционара јесте да уведе резервациону цену (*reserve price*), тј. ону цену испод које није спреман да прода предмет. Уколико на аукцији учествује само један лициданти и ако резервациона цена није

да плати. Аукционар постепено повећава цену све док не остане један лицитант који је спреман да купи предмет по тој цени. Тај лицитант побеђује на аукцији, добија предмет и плаћа цену коју је био спреман да плати последњи лицитант који је одустао од надметања.

Код другог типа отворене аукције, аукционар почиње продају предмета са релативно високом ценом. У случају да ниједан лицитант није спреман да плати толико високу цену, аукционар постепено снижава цену. У тренутку када први лицитант пристане да плати понуђену цену за предмет, побеђује на аукцији, добија предмет и плаћа цену која је последња понуђена. Ова врста аукције се назива отворена опадајућа или холандска аукција (*Dutch auction – DA*). Аукционар никада не снижава цену испод унапред дефинисане минималне цене. Уколико ниједан од лицитаната не жели да плати ни минималну цену, аукција се проглашава неуспелом. Једна од особина холандске аукције јесте та да се може брзо одвијати, што представља њену главну предност (Varian, 2010).

Поред отворених постоје и затворене аукције на којима лицитанти не достављају своје понуде јавно већ их достављају у запечаћеним ковертама, које се отварају на дан одржавања аукције (*sealed-bid auctions*). Постоје два типа затворених аукција које се разликују по начину одређивања цене коју победник плаћа. Ако победник плаћа цену коју је понудио, тада се ради о затвореној аукцији по највишој цени (*first price auction – FP*). У другом случају, ако победник на аукцији плаћа цену која је једнака другој највишој понуди, онда она представља затворену аукцију по другој највишој цени (*second-price auction – SP*). Ову врсту аукције је развио Vickrey (1961).

претходно уведена, тај лицитант има право да поднесе понуду једнаку нули и да добије предмет бесплатно. У супротном, ако аукционар одреди резервациону цену која је релативно превисока за лицитанте, највероватније је да неће добити ниједну понуду за куповину предмета. То значи да аукционар мора да нађе оптимум између ова два ефекта (Trifunović, 2012).

Иако ове четири аукције на први поглед делују различито – пре свега због различитих правила које их одликују, поједине аукције за продају једног предмета имају одређене сличности. Ако се аукције посматрају кроз призму оптималних стратегија лицитаната у теорији игара и ако предмети имају приватну вредност, може се рећи да постоји еквивалентност⁵⁰ између холандске аукције и затворене аукције по највишој цени. То значи да за сваку стратегију на аукцији по највишој цени постоји еквивалентна стратегија на холандској аукцији и обрнуто (Krishna, 2010). Стратегија лицитанта да понуди износ мањи од своје вредности јесте оптимална и на затвореној аукцији по највишој цени и на холандској аукцији. На исти начин као и за поменути пар стандардних аукција, постоји стратешка еквивалентност између енглеске аукције и затворене аукције по другој највишој цени. На овим аукцијама, оптимална стратегија за лицитанте јесте да понуде цену која је једнака њиховом вредновању.

6.4.2 Аукције за продају већег броја предмета

Уколико се на аукцијама продаје већи број предмета који су идентични, ови предмети се могу продавати истовремено (*simultaneous auctions*) или фазно један за другим, тј. секвенцијално (*sequential auctions*). Када се истовремено (симултано) продаје већи број идентичних предмета могу се користити аукције у затвореној и отвореној форми. У затвореној форми постоје три врсте аукције које се најчешће користе: Викријева аукција, дискриминаторна аукција и аукција по јединственој цени. Код наведених аукција претпоставља се надметање i лицитаната за j предмета, где важи да је $i > j$. То значи да на аукцији учествује више лицитаната од броја понуђених предмета за продају. На Викријевој аукцији j лицитаната који су

⁵⁰ Две игре су стратешки еквивалентне ако за сваку стратегију у једној игри, лицитант има идентичну стратегију у другој игри која доводи до истог исхода као и у првој (Krishna, 2010).

доставили највише понуде побеђују на аукцији, добијају предмете и плаћају цену која је једнака опортунитетним трошковима⁵¹ који су својим присуством на аукцији наметнули другим лицигантима. Дискриминаторна аукција (*discriminatory auction*) функционише тако што j лициганата који су доставили највише понуде, побеђују на аукцији, добијају предмете и плаћају цену коју су доставили у понуди. На аукцији по јединственој цени (*uniform-price auctions*), побеђује j лициганата са највишим понудама и сви плаћају исту цену која је једнака највишој понуди лициганта који није добио предмет, тј. $j + 1$ лицигант.

Поред аукција у затвореној форми, за продају већег броја идентичних предмета постоје и аукције у отвореној форми. Најпознатије аукције овог типа су: енглеска аукција, холандска аукција и Аузубелова аукција.

Када се предмети продају секвенцијално (један по један у фазама), они се продају на одвојеним аукцијама које могу бити секвенцијалне аукције по највишој цени или секвенцијалне аукције према другој највишој цени.

Међутим, ако се ради о продаји већег броја различитих предмета (или услуга), аукционар одлучује да ли жели да прода ове предмете у пакетима или појединачно. У случају да аукционар одлучи да различите предмете (услуге) продаје у пакетима, он треба унапред да одлучи од којих предмета (услуга) ће се састојати сваки пакет који даје на продају.

У случају када је лицигантима допуштено да осмисле од чега ће се састојати пакети они се тада надмећу на комбинаторним аукцијама. У овим

⁵¹ Опортунитетни трошак (*opportunity cost*) представља вредност која је могла да буде остварена да су ресурси били уложени у следећу најбољу употребу. Сваки трошак је одређена врста жртве, јер да би се нешто створило, нешто друго мора да се жртвује. Опортунитетни трошак показује која вредност је пропуштена или жртвована зато што ресурси нису уложени у следећу најбољу употребу (Економски речник, 2010).

аукцијама, лицитанти покушавају да купе један или више предмета (услуга) који су међусобно повезани. Тада лицитанти припремају једну или више понуда за различите комбинације предмета (услуга) које желе да купе, и обично је број понуда које даје један лицитант ограничен. Од комбинаторних аукција најпознатије су комбинаторна аукција по највишој цени, комбинаторна Викријева аукција, симултана комбинаторна аукција по највишој цени и комбинаторна аукција са растућим понудама са аутоматским лицитантом (*ascending proxy auction*).

6.5 Слабости стандардних аукција за продају једног предмета

6.5.1 Надметање асиметричних лицитаната

У теорији аукција постоје одређене претпоставке на основу којих се аукције проучавају у економској литератури. Прва је теорема о еквивалентности очекиваних прихода. Она говори о томе да ако лицитанти имају приватна вредновања предмета или права за које се надмећу, ако су неутрални према ризику и ако су лицитанти симетрични⁵², различите врсте аукција доносе исти очекивани приход аукционару. То значи да ако се испуне сва три услова из теореме о еквивалентности очекиваних прихода, аукционару би било свеједно коју врсту аукције користи. Уколико нека од ових претпоставки није испуњена, различите врсте аукција доносе различит ниво очекиваног прихода аукционару.

У стварности међутим, у многим аукцијама постоји одређена *ex ante*⁵³ асиметричност између лицитаната. Када су лицитанти асиметрични, они

⁵² Симетрични лицитанти су они код којих су вредности предмета расподељене у складу са истом функцијом расподеле. Један од радова који су разматрали аукције са два лицитанта који су асиметрични је Maskin & Riley (2000).

⁵³ Претходна (затечена) асиметричност на тржишту пре аукције.

имају различите функције расподеле за вредности које додељују предметима или имају исту функцију расподеле али расподељену на различитим интервалима (Trifunović, 2012). Према овом аутору, може се десити да функција расподеле другог лицитанта доминира над функцијом расподеле првог лицитанта према стохастичкој доминацији првог реда, $F_2(v) \leq F_1(v)$. Друга могућност је да су две функције расподеле идентичне, али да је вредност првог лицитанта расподељена на интервалу $[0, \omega_1]$ а другог лицитанта на интервалу $[0, \omega_2]$, где је $\omega_2 > \omega_1$. У неким ситуацијама могуће је појављивање обе особине истовремено. Без обзира на то да ли се ради о првој или другој могућности, први лицитант (лицитант 1) се сматра слабим лицитантом док се други лицитант (лицитант 2) сматра јаким лицитантом.

Асиметричност вредности код лицитаната се углавном појављује у тзв. лиценцим аукцијама (*license auctions*) где се продају права на коришћење ограниченог ресурса или капацитета као што су фреквенције, паркинг места или аеродромски слотови. У овим ситуацијама, компаније које су годинама раније користиле права на коришћење ових ресурса или историјски оператери (*incumbents*) имају значајну предност у односу на нове конкуренте (*entrants*). На пример, на аукцијама за лиценце за 3G мобилну телефонију у европским земљама, историјски оператери су могли да рачунају на своју постојећу мрежу, за разлику од њихових конкурентата који су морали да се суоче са трошковима изградње мреже⁵⁴.

⁵⁴ Историјски оператери такође имају велику почетну предност због успостављеног брэнда у односу на нове конкуренте. Због тога што су лиценце замениле ексклузивна права која су имали на своју делатност пре отварања тржишта, историјски оператери су имали још један значајан мотив да заштите своје учешће на тржишту. На вредност историјског оператора није утицала само потенцијална профитабилност новог 3G тржишта, већ и потенцијални ризик од доласка новог конкурента и губитка удела на постојећим тржиштима. Због олигополске природе ових тржишта, потенцијални губитак постојећег тржишта за историјског оператора је већи од потенцијалног добитка за новог конкурента на тржишту, што даље доводи до повећања асиметричности између ових лицитаната (Goeree & Offerman, 2003).

Због *ex ante* асиметричности између лицитаната, затворена аукција по највишој цени може довести до већег учешћа лицитаната и самим тим до већег очекиваног прихода од енглеске аукције (Maskin & Riley, 2000). Када се користи енглеска аукција, јачи лицитант увек може да победи слабијег, што доводи до ефикасније алокације, али и мањег учешћа лицитаната. Јачи лицитанти то чине тако што подижу своју понуду за износ који им даје минималну предност над конкурентима довољно дуго времена, све док им је то профитабилно. У оваквој ситуацији, слабији лицитанти су обесхрабрани не само да наставе са надметањем, него да уопште учествују на аукцији због тога што сматрају да немају шансе за победу на аукцији. За разлику од енглеске аукције, слабији лицитанти радије учествују на затвореним аукцијама по највишој цени због веће шансе за победу. Наиме, Maskin & Riley (2000) су доказали да ако јачи и слабији лицитанта имају исту вредност, слабији лицитант подноси понуде агресивније од јаког лицитанта на аукцији по највишој цени, тј. понуда слабијег лицитанта је ближа вредности него понуда јаког лицитанта. Затворене аукције по највишој цени омогућавају слабијем лицитанту да победи, али могу довести до неефикасне алокације (Goeree & Offerman, 2003).

6.5.2 Стварање картела између лицитаната

Друга претпоставка која се често среће у литератури која проучава аукције односи се на то да учесници подносе понуде самостално (да су независни). Међутим, један од недостатака већег броја стандардних аукција јесте могућност да лицитанти делују кооперативно и да формирају картел како би остварили већи профит на рачун аукционара (продавца) који тако остварује мањи очекивани приход. Нарочито су енглеска и затворена аукција по другој највишој цени подложне стварању картелских споразума (Milgrom, 2004).

Удруживање лицитаната у картел и његова стабилност је посебно карактеристична за енглеску аукцију и затворену аукцију по највишој цени. Пре одржавања аукције, чланови картела између себе бирају представника на аукцији који има највише вредновање. На аукцији учествује представник картела, док остали чланови картела не учествују на аукцији чиме се смањује конкурентност и цена коју плаћа победник. Ако представник картела победи на аукцији, чланови картела деле профит картела. Профит картела је разлика између цене коју би победник платио да картел не постоји и ниже цене коју победник плаћа због постојања картела. Очекивани профит картела директно смањује очекивани приход продавца. Такође, очекивани профит картела се увећава за сваког додатног лицитанта који приступа картелу због чињенице да постоји вероватноћа да ће цена коју победник плаћати на аукцији бити све нижа. Због тога, ако је картел формиран, остали лицитанти имају подстицај да му се придруже (*all-inclusive cartel*).

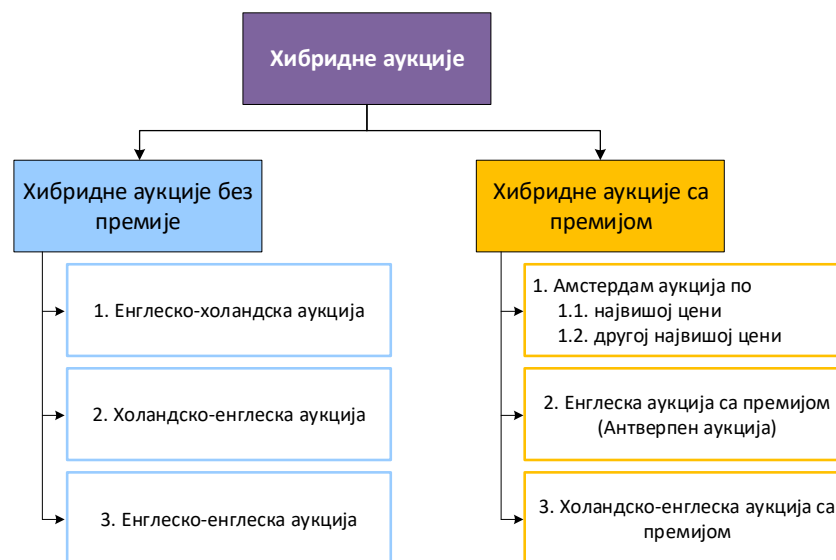
Функционисање картела прво ће бити размотрен на енглеској аукцији. На енглеској аукцији, лицитанти се надмећу све док цена не достигне њихову вредност. Претпоставимо да су лицитанти са највишом и другом највишом ценом чланови картела. Лицитант са другом највишом ценом тада неће учествовати на аукцији и победник плаћа цену која је нижа од оне коју би платио да картел не постоји. Ако се посматра стабилност картела, на енглеској аукцији картел је стабилан због тога што било који члан картела који није представник картела на аукцији не може да понуди вишу цену од представника картела који има највишу вредност у поређењу са другим члановима. Због тога, према Graham & Marshall (1987) оптимална стратегија за продавца који треба да се суочи са последицама које картел носи јесте да одреди резервациону цену која утиче на повећање величине картела.

Картеле на затвореним аукцијама по највишој цени су анализирали McAfee & McMillan (1992) са претпоставком да су сви лицитанти чланови картела. Претпоставимо да је резервациона цена на аукцији једнака нули. Због тога што су сви лицитанти чланови картела, представник картела на аукцији ће доставити једину понуду на аукцији која је једнака нули и победити. Међутим, картел на затвореној аукцији по највишој цени није толико стабилан колико на енглеској аукцији због тога што је оптимална стратегија лицитаната на затвореној аукцији по највишој цени да доставе понуду која је мања од њихове вредности. Из тог разлога, члан картела који се не придржава картелског споразума има шансу да победи представника картела на аукцији тако што достави понуду која је нешто већа од нуле. У складу са претходним разматрањима, Robinson (1985) закључује да због мање стабилности картелског споразума на затвореној аукцији по највишој цени, ова врста аукција бољи избор од енглеске аукције јер смањује вероватноћу склапања картелског споразума.

6.6 Комбиновање стандардних типова аукција за продају једног предмета

Због свега тога се дошло на идеју да се комбинују неки од типова аукција да би се искористила њихова позитивна својства, спречиле злоупотребе и остварили циљеви аукције. Хибридне аукције су зато и осмишљене да искористе предности стандардних типова аукција и да ублаже њихове појединачне недостатке. Овакве аукције се обично састоје из две фазе надметања лицитаната, где се у првој фази (која је најчешће елиминационог карактера) лицитанти надмећу по једној врсти аукције, док се преостали лицитанти из прве фазе надмећу у другој фази на другој врсти аукције. На тај начин, аукциони механизам постаје отпорнији на ефекте асиметричности и удруживања лицитаната и подстиче њихово веће учешће. Један од најпознатијих примера хибридних аукција јесте

комбиновање енглеске аукције и затворене аукције по највишој цени. На слици 15 је дата систематизација најпознатијих хибридних аукција без и са додељивањем премије. У наредна два подпоглавља биће представљани сви типови хибридних аукције наведених у систематизацији.



6.6.1 Хибридне аукције без премије

Постоје три типа хибридних аукција без додељивања премије које су настале комбиновањем два стандардна типа аукције за продају једног предмета. Разлог комбиновања ових аукција се може наћи код Klempereger (2002) који наводи да су предности аукције по највишој цени веће учешће лицитаната и мања вероватноће стварања картела, док је њен недостатак неефикасна алокација. С друге стране, енглеска аукција доводи до ефикасне алокације, али се на њој лако успоставља картелски споразум међу лицитантима и може се очекивати мање учешће лицитаната на аукцији. Због тога он предлаже хибридни механизам који комбинује ове предности аукције по највишој цени са предностима енглеске аукције. За потребе продаје лиценци за 3G мреже мобилне телефоније у Великој

Британији која је одржана 2000. године, Klemperer (2004) је осмислио хибридну, „енглеско-холандску аукцију“ (*Anglo-Dutch auction – AD*).

Аукција се састоји из две фазе, уз услов да на њој учествује најмање три лицитанта. У првој фази лицитанти се надмећу на енглеској аукцији. Аукционар започиње енглеску аукцију на којој се цена повећава све док не преостану два лицитанта. Након тога, преостала два лицитанта се надмећу у другој фази аукције тако што подносе своје понуде у запечаћеној форми на аукцији по највишој цени. Уколико постоји један јачи лицитант и ако би се лицитанти надметали само на енглеској аукцији, јачи лицитант би извесно победио. Међутим, друга фаза аукције у којој се подносе понуде у затвореној форми на аукцији по највишој цени омогућава слабијем лицитанту да победи, користећи фактор изненађења на једнопотезној аукцији (*single-shot auction*). Због тога ће слабији лицитанти имати већи мотив да учествују на енглеско-холандској аукцији него на енглеској аукцији. Такође, друга фаза енглеско-холандске аукције отежава успостављање картелског споразума између лицитаната. Све заједно, ова аукција омогућава аукционару да оствари већи приход него што би остварио на енглеској аукцији.

Поред енглеско-холандске аукције, постоји и хибридна холандско-енглеска аукција (*hybrid Dutch-English auction*). Ову врсту аукције су разматрали Dutra & Menezes (2002). Према ауторима, ова врста аукције била је често коришћена у приватизацији државних предузећа и за продају фреквенција у Бразилу. Аукција се може завршити већ у првој фази ако лицитант са највишом понудом достави понуду која је већа од друге највише понуде за износ x , који је пре аукције одредио аукционар. Уколико постоје понуде које су довољно близу највише, тј. разлика између њих и највише понуде је мања од x , лицитанти са таквим понудама улазе у другу фазу аукције заједно са лицитантом са највишом понудом. У другој фази, лицитанти се

надмећу на енглеској аукцији, при чему највиша понуда из прве фазе представља ендогено одређену резервациону цену за лицитанте у другој фази. У свом раду Dutra & Menezes (2002) су закључили да холандско-енглеска аукција доноси већи очекивани приход продавцу од затворене аукције по највишој цени због тога што се резервациона цена одређује ендогено у првој фази за енглеску аукцију у другој фази.

Нешто касније, Azacis & Burguet (2008) пореде енглеско-холандску аукцију са двофазном енглеском аукцијом са високом резервационом ценом у првој фази. За разлику од других хибридних аукција без премије, енглеско-енглеска аукција је осмишљена за продају више идентичних предмета са релативно високом резервационом ценом у првој фази. Аутори су навели да, када се разматра само учешће на аукцији, енглеско-енглеска аукција (*Anglo-Anglo auction*) је ефикаснија од стандардне енглеске аукције и доноси већи приход од енглеско-холандске аукције. Коришћењем енглеско-холандске аукције, слабији лицитанти имају подстицај да агресивније достављају понуде и победе јачег лицитанта. На овај начин се стимулишу лицитанти да учествују на аукцији и повећава конкуренција али доводи до неефикасне алокације. За разлику од енглеско-холандске аукције, Azacis & Burguet (2008) су доказали да се на двофазној енглеској аукцији може постићи веће учешће лицитаната без утицаја на ефикасност алокације. Подстицај лицитаната да учествују на аукцијама се пружа тако што они могу да открију вредновање других лицитаната кроз њихов изостанак надметања у првој фази. У случају да поједини лицитанти (укључујући ту и јаког лицитанта) не желе да доставе понуду која је већа од резервационе цене у првој фази, остали лицитанти их могу сматрати слабијим него што су то очекивали. Због тога, потенцијални лицитанти који нису учествовали у првој фази разматрају да учествују у другој фази. Та потенцијална већа конкуренција може приморати јаког лицитанта достави понуду која је

једнака или већа од резервационе цене у првој фази. Ипак, на енглеско-енглеској аукцији је могуће формирати стабилан картел.

6.6.2 Хибридне аукције са премијом

На појединим тржиштима, асиметричност између лицитаната је толико велика да комбиновање две стандардне аукције није довољно да би се слабији лицитанти привукли да учествују на јавном надметању. Као један од начина да се смањи утицај превелике асиметричности између вредновања лицитаната, Myerson (1981) је предложио аукциони механизам који би био оптимални избор за аукционара. Предложени механизам уводи додељивање извесне суме новца (или кредита) слабијим лицитантима у циљу промовисања конкурентности. У појединим аукцијама за фреквенције у САД, америчка федерална комисија за комуникације (*Federal Communications Commission – FCC*) је додељивала одређене своте новца (од 10 до 40% резервационе цене) малим компанијама које за учествовање на аукцији. Међутим, употреба овог механизма није заживела у Европи због тога што законодавство ЕУ забрањује дискриминацију између лицитаната. Поред тога, аукционар често нема информације о разлици између вредновања јачег и слабијих лицитаната у циљу одређивања суме (или кредита) коју би доделио слабијим лицитантима за достизање резервационе цене.

Један од практичних излаза из ситуације где аукционар нема информације о вредностима лицитаната јесте коришћење аукције са премијом (*premium auctions*), где аукционар нуди награду у циљу промовисања агресивнијег надметања. Основна сврха увођења награде или премије јесте стимулација слабијих лицитаната, који су обично много боље информисани о вредновању осталих лицитаната од аукционара, да одреде “ендогену резервациону цену” за јаче лицитанте. За разлику од Мајерсоновог оптималног механизма, аукције са премијом третирају све лицитанте на

исти начин и не зависе од детаљних информација о вредностима лицитаната које треба да поседује аукционар.

Постоје многе варијанте аукције са премијом, које су се вековима користиле у Европи (поготово у холандским и белгијским градовима) за продају кућа, земље, бродова, машина и опреме. У литератури које се бави аукцијама постоји неколико варијанти аукција са премијом, као што су: Амстердам аукције са премијом, енглеска аукција са премијом и енглеско-холандска аукција са премијом. Поред додељивања премије, заједничка особина свих наведених аукција јесте да се прва фаза састоји у надметању лицитаната по растућој цени, да је у првој фази потребно да учествује најмање три лицитанта и да су оне намењене за продају једног предмета.

У свом раду, Goeree & Offerman (2004) су представили и тестирали хибридну двофазну аукцију која се састоји од енглеске и аукције по највишој, односно другој највишој цени у којој се додељује премија. Амстердам аукција, као и све аукције са премијом, састоје се из две фазе. У првој фази, аукционар подиже цену све док не остану два лицитанта на аукцији. Цена по којој је последњи лицитант одустао у првој фази (*bottom price*) користи се као ендогена резервациона цена у другој фази. У овој фази, два лицитанта финалиста достављају затворену понуду која не сме да буде мања од резервационе цене. Лицитант са већом понудом побеђује на аукцији и добија предмет продаје, док обојица лицитаната у другој фази добијају премију која је пропорционална разлици између мање понуде у другој фази и резервационе цене (представља део ове разлике). Коначно, победник на „Амстердам аукцији по највишој цени“ (*Amsterdam first-price auction – AMFP*) плаћа цену коју је понудио у другој фази, док победник на „Амстердам аукцији по другој највишој цени“ (*Amsterdam second-price auction – AMSP*) плаћа цену који је понудио његов конкурент у другој фази.

Упоредјујући ефекте Амстердам аукције са премијом са стандардним врстама аукција, Goeree & Offerman (2004) су доказали да је очекивани приход од Амстердам аукције са асиметричним лицидантама приближан очекиваном приходу аукције по највишој цени са симетричним лицидантама. Hu et al. (2011a) су истраживали својства Амстердам аукције по другој највишој цени (*AMSP*) у условима дослуха између симетричних и асиметричних лициданта. Према теоријском моделу, аукција је отпорнија на стварање картела ако су слаби лициданти довољно стимулирани да се агресивније надмећу на аукцији. У поређењу са затвореном аукцијом по највишој цени и енглеском аукцијом, *AMSP* се показала као отпорнија на стварање картела између лициданта управо због тога што се додељивањем премије слабији лициданти дестимулишу да се удружују са осталим учесницима на аукцији и што одређују вишу резервациону цену за победника.

Врло слична претходној јесте енглеска аукција са премијом (*English premium auction – EPA*), коју су предложили Hu et al. (2011b) или Антверпен аукција код Hu et al. (2018). Све до почетка друге фазе, енглеска аукција са премијом се одвија аналогно Амстердам аукцији. Прва фаза започиње надметањем лициданта на растућој аукцији, где аукционар постепено повећава цену све док не остану два лициданта. Цена по којој је последњи лицидонт одустао од аукције у првој фази узима се као ендогена резервациона цена у другој фази. Оба лициданта који учествују у другој фази добијају премију, која се рачуна на исти начин као и на Амстердам аукцији. У другој фази се преостала два лициданта надмећу на енглеској аукцији. Почевши од резервационе цене која је одређена у првој фази, аукционар постепено подиже цену, све док један од два лициданта не одустане од надметања. Победник у другој фази добија предмет и плаћа цену по којој је одустао његов конкурент у другој фази.

За разлику од претходне две врсте аукције са премијом, нешто другачији тип хибридне аукције су у свом раду представили Van Bochove et al. (2012), која носи назив енглеско-холандска аукција са премијом (*Anglo-Dutch premium auction – ADPA*). Енглеско-холандска аукција са премијом се такође састоји из две фазе у којима је могуће доставити понуде. У првој фази (која није елиминаторна за лициданте) се организује аукција по растућој цени, где цена расте све док не остане један лициданта на аукцији. Тада лициданта са највишом понудом постаје победник прве фазе и добија премију. Висина премије не зависи од понуда лициданата већ је њен износ одговара проценту вредности предмета који се продаје. Друга рунда представља аукцију са опадајућим ценом у којој сви лициданти из прве рунде могу да учествују и доставе понуду. Аукционар започиње аукцију високом ценом коју затим постепено снижава све док неко од лициданата не изрази спремност да купи предмет по тој цени. Лициданта који то учини побеђује на аукцији и плаћа предмет по цени коју је понудио док победник прве фазе добија премију и нема додатних трошкова. Ако се ни један лициданта не јави пре него што аукционар спусти цену која је једнака највећој цени из прве фазе, лициданта који је победио у првој фази побеђује на аукцији. Он плаћа цену коју је понудио у првој фази и добија предмет (уз премију из прве фазе). Ако се енглеско-холандска аукција са премијом пореди са Амстердам аукцијом са премијом, Van Bochove et al. (2012) наводе да у случају појављивања два јака лициданта, Амстердам аукција не би достигла резултате као када учествује један јак и више слабих лициданата. Појављивање два јака лициданта на Амстердам аукцији дестимулише слабије лициданте да учествују, чиме се премија потенцијално смањује. Са друге стране енглеско-холандска аукција са премијом не ограничава број учесника у другој фази ове хибридне аукције и на тај начин подстиче већи број лициданата да учествују и смањује вероватноћу удруживања лициданата у картел (поготово када учествују два јака лициданта у другој фази).

Познато је да су Амстердам аукције са премијом и енглеско-холандска аукција са премијом биле коришћене још у шеснаестом веку за продају различитих врсте добара, посебно у Холандији. Током осамнаестог и деветнаестог века, нова улога аукција као механизма за регулисање тржишта, проширила се широм Европе. Аукције су посебно биле добро прихваћене у оним државама које су имале велики обим трговине робом која је долазила са колонијалних поседа (Van Bochove et al., 2012). Амстердам аукције са премијом и енглеско-холандске аукције са премијом се и данас користе за продају некретнина у Амстердаму, док се сличне аукције могу сусрести у САД за продају имовине компанија у стечају. С обзиром да данас отвара све већи број тржишта на којима постоји повећана потражња за ограниченом количином добара, услуга или права, и где постоји изражена асиметрија између учесника (посебно у почетним фазама отварања тржишта) и могућност њиховог удруживања у картеле, може се очекивати већа употреба хибридних аукција са премијом.

6.7 Примена аукција у телекомуникацијама и у ваздушном саобраћају

Један од сектора привреде који је крајем прошлог века отворен за конкуренцију јесте сектор транспорта и телекомуникација. У овом поглављу биће дат краћи преглед досадашњих предлога и примене аукција у телекомуникацијама и ваздушном саобраћају.

6.7.1 Аукције за сектору телекомуникација

Продају права на коришћење фреквенција коришћењем аукција први је разматрао Coase (1959). Аутор овог рада сматра да је фреквенција дефицитан ресурс за којим постоји већа потражња од понуде и да је потребно да се он алоцира и користи на ефикасан начин. Међутим, прошло

је доста времена да ова идеја заживи у пракси. Тек крајем осамдесетих и почетком деведесетих година прошлог века организоване су прве аукцијске продаје права на коришћење фреквенција у Аустралији, Новом Зеланду и САД. У земљама чланицама Европске уније прве аукције за продају лиценци за 3G мрежу су организоване у периоду од 2000. до 2001. године.

Аукције су у широј научној јавности постале познате након успешне аукционе продаје права на коришћење радио и телевизијских фреквенција у САД 1994. године (*spectrum auctions*). Тада је одлучено да се фреквенције продају коришћењем симултане комбинаторне аукције по највишој цени. Ова врста комбинаторне аукције се одвија итеративно тако што у свакој итерацији аукције лицитанти достављају своје понуде у затвореној форми. На крају сваке итерације аукционар отвара достављене понуде, објављује који лицитанти су доставили највишу понуду и која је највиша понуда за сваку фреквенцију. У наредној итерацији, сваки лицитант може да повећа своју понуду или да остане при понуди коју је доставио у претходној итерацији. Аукција се завршава у оној итерацији у којој се не достави виша понуда за све фреквенције. Тада се свака фреквенција продаје лицитанту који је понудио највишу цену и плаћа износ који је једнак другој највишој понуди.

Уведено је правило да у случају да победник аукције одустане од плаћања, он мора да плати разлику између своје понуде и друге највише понуде, на шта се додаје казна која износи 3% од његове понуде. Само у случајевима када се пријавио мали број лицитаната за одређене фреквенције, уведене су резервационе цене. На првој аукцији за фреквенције у САД, Федерална комисија за фреквенције (FCC) продала 2.500 права за коришћење фреквенција. Од тада, па до данас организовано је 87 таквих аукција у САД, од којих је држава остварила приход од преко 60 милијарди долара (Trifunović, 2012).

У Европи, прве велике аукције у сектору телекомуникација за продају лиценци за коришћење 3G мреже биле су одржане у Великој Британији, Немачкој, Швајцарској, Аустрији, Данској, Холандији, Италији и Грчкој, и биле су променљивог успеха. Ове аукције је у свом раду анализирао Klemperer (2002b). У Великој Британији, која је прва у Европи одржала аукцију, одлучено је да се лицитанти надмећу за једнократну цену коју плаћају и одабрана је хибридна енглеско-холандска аукција. За пет лиценци пријавило се тринаест лицитаната, држава је остварила приход од продаје у вредности од 650 евра по становнику па се ова аукција може оценити успешном. У већини осталих земаља коришћена је симултана растућа аукција као у САД, али са малим бројем лицитаната и бројним другим проблемима, па су осим у Немачкој и Данској аукције биле неуспешне, јер су државе оствариле неколико пута мањи приход од планираног. Поред тога, на неуспешност аукција у осталим земљама су утицали и бројни технички проблеми приликом увођења 3G мреже, што се одразило на пад прихода од продаје лиценци. На основу анализе свих првих аукција организованих у ЕУ за продају лиценци за коришћење 3G мреже, Ausubel et al. (2006) закључују да су углавном постојала два основна критеријума приликом избора типа аукције путем које су додељена права на коришћење фреквенција. Први је био остваривање ефикасне алокације, а други спречавање монополизације тржишта. То значи да је максимизирање прихода од продаје било од секундарног значаја.

6.7.2 Аукције за слотове у ваздушном саобраћају

Да би авио превозници могли да организују летове између појединих аеродрома, неопходно је да поседују право на коришћење термина за слетање и полетање на тим аеродромима или аеродромских слотова (*landing slots*). На основу истраживања аукцијске продаје права на коришћење

фреквенција, релативно брзо се дошло на идеју да би и аеродромске слотове требало продавати на исти начин.

Grether et al. (1981) су предложили да се за продају слотова организује аукција која се састоји из две фазе. Аутори предлажу да се у првој фази авио превозници надмећу за слотове на аукцији по јединственој цени (аукција на примарном тржишту). Након овога, превозници би на секундарном тржишту између себе продавали права за којима немају потребу и истовремено куповали недостајућа права. Недуго затим, Rassenti et al. (1982) су уочили да између појединих слотова постоји слабија или јача комплементарност. Због тога, аутори предлажу организовање комбинаторне аукције за продају аеродромских слотова.

У пракси, прва аукција за слотове била је планирана тек 2009. године у САД, и то на три аеродрома у Њујорку (*LaGuardia*, *John Kennedy* и *Newark*). Аукција је требало да помогне у решавању проблема све чешћег загушења на овим аеродромима. Због комплексности комбинаторне аукције уведено је ограничење да лициданти могу да подносе понуде за највише 2.000 различитих комбинација за слотове. Лициданти би за сваку комбинацију слотова достављали понуду у затвореној форми. Победници би добијали оне слотове за које су понудили највишу цену и платили би износ који је једнак другој највишој понуди.

Овакав начин додељивања слотова је изазвао негативне реакције код авио компанија. Оне су навеле да ће коришћења аукција за слотове довести до поскупљења цена карата и да ће се тиме смањити потражња (Trifunović, 2012). Поред тога, авио компаније су навеле да су распродале карте за летове годину дана унапред, и да би им другачији слотови створили проблеме у пословању. Уз ове разлоге, због избијања глобалне економске кризе власти

су у први мах одложиле почетак одржавања аукције, након чега су и одустали од увођења аукције за продају аеродромских слотова.

6.8 Примена математичких модела аукција за алокацију траса возова – преглед литературе

Подстакнути наведеним радовима у телекомуникацијама, а пре свега у разматрањем примене аукција за слотове ваздушном саобраћају, до сада је објављен одређени број радова примене аукције за алокацију траса возова. За разлику од радова разматраних у подпоглављу 5.2.2, ова група радова бави се развојем и тестирањем математичких модела аукционог механизма. У првом реду су тестирани стандардни типови аукција у делимично децентрализованом приступу алокације капацитета, где управљач инфраструктуре предлаже трасе и даје их на продају. Brewer & Plott (1996) у свом раду су први тестирали аукцију затворену аукцију по највишој цени на проблему алокације траса возова. Под претпоставком бинарне искључивости конфликтних захтева за трасама, Brewer & Plott (1996) су дошли до закључка да је аукција под одређеним околностима не само изводљива, већ и да даје прихватљиве резултате у предложеном моделу. Сличан приступ применио је и Nilsson (1999) који је у свом раду тестирао затворену аукцију по другој највишој цени. Нешто касније, Isacsson & Nilsson (2003) су упоређивали ефикасност алокације траса возова четири различите стандардне врсте аукција (затворене аукције по највишој цени и по другој највишој цени и отворене растуће аукције по највишој цени и по другој највишој цени). Поређење остварених резултата оствареним у експерименту показује да су разлике у ефикасности алокације сва четири типа аукције врло мала (у распону између 90 – 100%). Они су доказали стабилност резултата који се постиже на тестираним аукцијама, под условом да се на аукцији за трасе надмећу најмање четири железничка превозника. Такође у свом раду, Isacsson & Nilsson (2003) показали су да је

затворена аукција по највишој цени доносила значајно мање приходе управљачу инфраструктуре од осталих аукција тестираних у раду, које доносе приближне приходе.

Након првих радова и тестирања једноставнијих типова аукција, у радовима је разматрана примена комбинаторних аукција. Експерименталном применом комбинаторних аукција у потпуно децентрализованом приступу алокације траса возова су се у својим радовима бавили Borndörfer et al. (2006), Borndörfer et al. (2009) и Harrod (2013).

У свом раду, Borndörfer et al. (2006) су предложили итеративну комбинаторну аукцију за доделу траса возова. На почетку сваке итерације, превозници предлажу пакете траса возова и они се придодају већ прихваћеним пакетима траса из претходних итерација. Софтвер разматра овај скуп понуда у једној итерацији и на основу функције циља (у којој максимизује приход од продаје траса) и ограничења (за коришћење капацитета, међусобне искључивости конфликтних траса и услова да само једна траса може бити додељена једном превознику), долази до оптималне алокације (*optimal track allocation* – *OPTRA*). Прихваћене понуде превозника у једној итерацији преносе се у наредну, док се одбачене понуде у некој итерацији не могу поново предлагати. Након ограниченог броја итерација аукција се завршава и пакети траса се додељују превозницима који плаћају цену коју су понудили. Према резултатима рачунарске симулације рада аукције, Borndörfer et al. (2006) су закључили да аукције могу допринети ефикаснијем коришћењу капацитета железничке инфраструктуре, али да је неопходно радити на дизајну реалистичних модела због тога што железница представља врло комплексан систем.

Borndörfer et al. (2009) предлажу Викри-Кларк-Гроувсов (*Vickrey-Clarke-Groves* – *VCG*) аукциони механизам за оптималну алокацију већег броја траса возова. Слично као и у претходном раду, софтвер након неколико итерација одређује највреднију комбинацију пакета траса возова које нису у конфликту. Користећи правило за одређивање победника *VCG* аукције, побеђује превозник са највишом понудом али плаћа цену која је једнака вредности негативних екстерналија који он намеће сопственим присуством другим учесницима. То практично значи цена коју плаћа победник аукције не зависи од висине његове понуде. Профит победника представља разлику између његове понуде и цене коју плаћа за трасу. Профит превозника је највећи ако је његова понуда једнака његовом стварном вредновању траса, јер снижавање понуде у односу на вредност само смањује вероватноћу победе, а не утиче на износ који треба да плати, због чега је *VCG* аукциони механизам компатибилно подстицајан за превознике (оптимална понуда лицитаната је једнака њиховој вредности за предмет). Када се продаје укупно K предмета, на *VCG* аукцији лицитанти који су поднели K највиших понуда добијају предмете. На овој аукцији износ који лицитант плаћа за предмет не зависи од његове понуде и лицитанти за сваку јединицу подносе понуду једнаку њиховој вредности. Личитант i плаћа цену која је једнака K -тој највишој вредности из вектора понуда осталих лицитаната v^{-i} за први предмет који добија, $K - 1$ највишу вредност из вектора v^{-i} за следећи предмет, итд. Начин функционисања *VCG* аукционог механизма ће бити приказан на следећем примеру. Претпоставимо да се продаје пет траса и да учествује пет железничких превозника, са ограничењем да сваки превозник може да купи највише три трасе. Узмимо да су њихова вредновања за трасе у новчаним јединицама (н.ј.) дата у табели 5.

Табела 5 Пример вредновања превозника за куповину траса возова

Траса	A	B	C	D	E
-------	---	---	---	---	---

1	12.300	7.500	12.500	8.500	4.500
2	11.300	500	12.500	6.500	2.500
3	10.300	300	4.900	700	500

Превозници подносе понуде у затвореној форми које су једнаке њиховој вредности. Према правилима VCG аукционог механизма, превозници који имају пет највиших понуда добијају трасе возова. Ако се конструише вектор са пет највиших понуда он би изгледао овако $v = (12.500, 12.500, 12.300, 11.300, 10.300)$. Значи да ће трасе добити превозници А и С и цене за трасе које плаћају су једнаке износу негативних екстерналија које намећу другим превозницима. У датом вектору, превозник А има 3 од 5 највиших понуда и добија три трасе а превозник С има 2 од пет највиших понуда, с тим да он има највишу од свих. Да би се одредио износ негативних екстерналија које један превозник намеће другима, тј. износ који он треба да плати за трасу, потребно је одредити вектор понуда без тог превозника. Ако превозник С не постоји, добија се вектор пет највиших понуда осталих превозника по редоследу највиших понуда $v^{-C} = (12.300, 11.300, 10.300, 8.500, 7.500)$. Уколико превозник С не би био присутан на аукцији, једну од пет траса би добио превозник В са петом највишом понудом од 7.500. То значи да превозник С плаћа цену која је једнака петој највишој понуди у вектору v^{-C} , $v_B^{-C} = 7.500$, што представља износ негативних екстерналија које превозник С намеће превознику В. По редоследу висине понуда друга траса би била додељена такође превознику С. Ако он не би учествовао на аукцији, вектор четири највише понуде без понуда превозника С би био $v^{-C} = (12.300, 11.300, 10.300, 8.500)$. То значи да би цена коју превозник С плаћа за другу трасу била једнака четвртој највишој понуди у вектору v^{-C} , $v_D^{-C} = 8.500$, што је износ једнак негативних екстерналија које превозник С намеће превознику D. Следеће три највише понуде је дао превозник А и он би требало да добије наредне три трасе. Изузимајући две највише понуде превозника С, вектор три највише понуде без превозника А би био $v^{-A} = (8.500, 7.500, 6.500)$. Цена коју превозник А плаћа за трећу додељену трасу

је једнака трећој највишој понуди у вектору $v^{-A}, v_D^{-A} = 6.500$. Аналогно томе, превозник А ће платити четврту и пету трасу по цени од 7.500 и 8.500 због негативних екстерналија које намеће превознику В за другу највишу понуду у вектору v^{-A} , односно превознику D за прву највишу понуду у истом вектору. Коначан исход аукције јесте да железнички превозник А добија три трасе по укупној цени од 22.500 н.ј. док превозник С добија две трасе по укупној цени од 16.000 н.ј. Овде се може додати да је Ausubel (2004) развио отворену растућу аукцију за продају већег броја предмета која је еквивалентна VCG аукцији.

Narrod (2013) користи сличан алгоритам комбинаторне оптимизације као Borndörfer et al. (2006), с тим што одбачене понуде из претходне итерације сада имају право да буду укључене у наредну, под условом ако железнички превозник повећа понуду за њих за одређени фиксни износ. За разлику од претходне две врсте комбинаторне аукције где су понуде превозника затворене, Narrod (2013) користи отворену растућу аукцију где се дозвољава повећање понуде за трасе у свакој новој итерацији. Аукција се завршава када аукционар не добије већу понуду за трасе свих возова које нису прихваћене у последњој итерацији. Аутор закључује да у најбољем случају тестирани аукциони механизам даје нешто ниже приходе него што су вредновања железничких превозника. Међутим, на основу добијених резултата у раду примећује се да управљач инфраструктуре може остварити веће приходе ако се ограничи број рунди надметања у којима превозници могу да достављају своје понуде.

Иако поједини доприноси у овој области узимају у обзир потребу да превозници сами креирају пакете траса и да се за њих надмећу (потпуно децентрализовани приступ алокације), предложени модели комбинаторне аукције не гарантују ефикасност алокације. Ефикасност алокације подразумева да аукциони механизам додељује трасе возова оним

железничким превозницима који их највише вреднују. Радови који користе комбинаторну аукцију базирају се на техникама оптимизације где ефикасност алокације није на првом месту, већ максимизација прихода управљача инфраструктуре.

Поред тога, досадашњи радови нису узели у обзир специфичности железничког тржишта као што је асиметричност између превозника као и утицај асиметричности на ток аукције, нити су дали одговор на питање на који начин третирати асиметричне превознике. У пракси, на многим аукцијама постоји већа или мања асиметрија између учесника, тј., њихових вредновања⁵⁵. Изражена асиметрија између лицитаната се обично јавља након отварања тржишта, у раним фазама стварања конкуренције, када не постоје одговарајући механизми за њихову заштиту. Присуство јачих лицитаната на аукцији дестимулише остале превознике да се надмећу чиме се смањује конкурентност између учесника на аукцијама што доводи до постизања мање цене. Железничко тржиште се налази управо у овој фази развоја где на сваком тржишту постоји историјски железнички превозник који има доминантно учешће на тржишту.

Код примене аукција, треба имати у виду да свака употреба аукције носи са собом могућност удруживања лицитаната у циљу смањења цене коју плаћају продавцу. На железничком тржишту, превозници би могли да се удруже тако што не би конкурисали за трасе на истој деоници мреже, у истом делу дана, или за исту врсту превозне услуге. На тај начин би се смањио степен конкуренције на аукцијама, што би водило ка локалним

⁵⁵ У моделу коришћеном у дисертацији, узета је претпоставка да асиметрични лицитанти (железнички превозници) извлаче своје вредности траса возова према истој (униформној) расподели, али да се интервал на коме се извлаче вредновања јачих лицитаната делимично или уопште не преклапа са интервалом слабих лицитаната. У првом случају се ради о слабо асиметричним лицитантима док се у другом случају ради о потпуно асиметричним лицитантима (Trifunović, 2012).

монополима на штету крајњих корисника (Perennes, 2014). Ако говоримо о конкуренцији на тржишту (*on-track competition*), посебно треба имати на уму да је ризик већи с обзиром на то да на железничком тржишту постоји релативно мали број превозника који се надмеће за трасе на истом делу инфраструктуре, као и да се алокација траса обавља на сваких годину дана. То значи да примена аукције представља игру са понављањем, у којој се надмеће релативно мали број конкурената. Већа вероватноћа стварања картела постоји на стандардним типовима аукција, посебно на енглеској аукцији, док код затворене аукције по највишој цени постоји мањи ризик. Због тога је неопходно одвратити железничке превознике од удруживања у картел. Шта више, досадашњи радови у овој области нису разматрали могућност формирања картела између железничких превозника као и њихов ефекат на приход управљача инфраструктуре. Узимајући у обзир специфичности железничког сектора и карактеристике капацитета железничке инфраструктуре која се додељује може се поставити питање да ли постоји такав аукциони механизам који смањује вероватноћу стварања картела и истовремено доноси високе приходе за управљача инфраструктуре? Због тога се отвара простор за разматрање примене хибридних аукција са додељивањем премије и без ње на овом тржишту у циљу постизања циљева алокације траса воза датих у подпоглављу 5.2.5.

7. МОДЕЛ ЗА ТЕСТИРАЊЕ ХИБРИДНИХ АУКЦИЈА ЗА АЛОКАЦИЈУ ТРАСА ВОЗОВА КОРИШЋЕЊЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАНОГ ПРИСТУПА

Један од циљева ове дисертације јесте да помогне управљачу инфраструктуре да оствари виши приход од продаје траса користећи тржишни механизам алокације траса у условима када се надмећу железнички превозници са асиметричним вредновањем траса и могућношћу стварања картела између превозника. С обзиром да се железничко тржиште налази у раној фази развоја, где се за трасе на истом делу инфраструктуре надмеће неколико железничких превозника, од којих је углавном један историјски железнички превозник, долази се до закључка да би примена хибридних аукција била логично решење. Међутим, поставља се питање да ли би примена хибридних аукција била најбоље решење у свим околностима алокације траса возова. Познато је да хибридне аукције имају ограничење да на њима мора да учествује најмање три конкурента. Затим, хибридне аукције су осмишљене за продају једног недељивог предмета. Железнички превозници могу да захтевају једну или више траса возова, као и један или више пакета траса возова у зависности од њихове организације превоза и обрта возног парка. То значи да аукција нема улогу да одреди једног победника, већ да одреди такав ред вожње који ће истовремено садржати трасе без конфликта и које ће бити највише вредноване од стране превозника. Поред тога међусобни однос спремности железничких превозника да плате трасе може да варира, тако да превозници могу бити у симетричном или асиметричном односу. Да ли у су у свим овим специфичним условима хибридне аукције боље од стандардних аукција? Колико додела премија може помоћи постизању

већег прихода управљача инфраструктуре? Да би смо дали одговоре на ова питања потребно је упоредити приходе аукције у различитим условима алокације траса возова.

С обзиром на наведене специфичности и услова у којим се одвија алокација траса возова са једне и погодности примене аукције наведених у радовима са друге стране, од поменутих хибридних аукција у подпоглављу 6.4.3 и хибридних аукција са премијом у подпоглављу 6.4.4 се могу издвојити енглеско-холандска аукција и Амстердам аукција по другој највишој цени. Обе хибридне аукције су одабране због тога што се друга фаза представља аукцију по другој највишој цени, где конкуренти имају само један потез. На овој врсти аукције постоји већа могућност да слабији учесник победи на аукцији него на отвореним растућим аукцијама (као што је енглеска аукција).

Остварени приходи ова два аукциона механизма ће бити упоређивани са стандардним врстама аукција – енглеском аукцијом и затвореном аукцијом по највишој цени. Затворена аукција по највишој цени се већ примењује у појединим земљама ЕУ као крајња мера за решавање конфликта између захтева за трасом. Са друге стране, енглеска аукција је једна од најчешће коришћених типова аукција коју карактерише једноставност и истинито исказивање вредновања.

У моделу који ће бити представљен у овом поглављу, коришћењем симулације оптималних понуда железничких превозника у Нешовој равнотежи, биће упоређивани исходи ова четири типа аукције и њихових комбинација. Аукције ће бити рангиране према оствареном приходу, за ограничени број превозника, у различитим међусобним односима (симетрични, слабо асиметрични и потпуно асиметрични) и са различитим вероватноћама за склапање картелског споразума.

У овом поглављу ће бити представљене оптималне понуде железничких превозника. Затим ће бити представљена методологија алокације траса возова и алгоритам алокације у оквиру кога ће се одвијати експерименти. На крају поглавља биће наведене егзогене променљиве⁵⁶ које ће бити коришћене у експерименту и сама организација експеримената.

7.1 Оптималне понуде превозника

Под претпоставком да се на аукцији понашају рационално, железнички превозници ће користити оптималне понуде стандардних аукција у бајесијанско – Нешовој равнотежи (*Bayesian Nash equilibrium*) и хибридних аукција у савршеној бајесијанској равнотежи (*Perfect Bayesian equilibrium*). За све врсте аукције које ће бити коришћене у моделу биће представљене оптималне понуде за симетричне, слабо асиметричне и потпуно асиметричне учеснике.

7.1.1 Симетрични учесници

Претпоставимо да лицитанти имају приватна вредновања за предмете за које се надмећу, тј. да вредност коју поједини лицитант додељује предмету је независна од вредности других лицитаната⁵⁷ (Trifunovic, 2010). Затим, узмимо да постоји укупно n железничких превозника са вредновањима траса возова (V) које су униформно расподељене на интервалу $[0,1]$, тј., $V \sim U(0,1)$.

⁵⁶ Егзогеност (*exogeneity*) јесте појам под којим се подразумева екстерно формирање неких променљивих, док су ендogene променљиве оне чије понашање желимо да опишемо моделом. Економским моделом се дефинише веза између ендогених и егзогених променљивих. Најчешћа врста анализе је компаративна статика, тј. разматрање како промена једне егзогене променљиве утиче на ендogene променљиве (Ekonomski rečnik, 2010).

⁵⁷ Теоријски гледано, вредности су независне и одређене су према функцији расподеле вероватноће. Ако лицитант жели да задржи предмет за себе, тада је у моделу најпогодније користити својство приватног вредновања предмета.

На затвореној аукцији по највишој цени, лициданти истовремено достављају своје понуде у затвореној форми. Лициданти са највишом понудом побеђује на аукцији и плаћа цену коју је понудио. Очекивани профит победника је једнак разлици између извучене вредности лициданта и цене коју је платио. Профит осталих лициданта је једнак нули. За затворену аукцију по највишој цени (FP), оптимална стратегија лициданта са униформно расподељеном вредношћу се може наћи код Riley & Samuelson (1981), где лициданти желе да умање своју понуду у односу на њихову вредност и она износи:

$$b_{FP}(V) = V - \frac{V}{n} \quad (5)$$

На енглеској аукцији аукционар постепено повећава цену која почиње од најмање или резервационе цене. Како време пролази, тако лициданти одустају од аукције док не остане један лициданти. Последњи лициданти који остане на аукцији побеђује, и плаћа цену на којој је последњи лициданти одустао од аукције⁵⁸. Код енглеске аукције (EN) лициданти остаје активан док цена не постане једнака вредновању железничког превозника (Vickrey, 1961):

$$b_{EN}(V) = V \quad (6)$$

Оптимална стратегија превозника на енглеској аукцији је да остане активан док цена не постане једнака вредности и ова стратегија је иста без обзира на то да ли су лициданти симетрични, слабо асиметрични или потпуно асиметрични.

⁵⁸ Овакав ток надметања одговара јапанској верзији енглеске аукције. Код ове аукције, цена се постепено повећава на електронском екрану и лициданти притиском на тастер означава да је још увек активан на аукцији. Када пусти тастер, лициданти напушта аукцију. Последњи лициданти који остане активан побеђује и плаћа цену по којој је последњи лициданти напустио аукцију (Trifunović, 2011). У експерименту који су организовали Goeree & Offerman (2004) приказ раста цене је био представљен преко „термометра“.

Енглеско-холандска аукција (AD) се одвија у две фазе и за њих је оптималне понуде одредио Klemperer (2004). У првој фази, лицитанти се надмећу на енглеској аукцији, где је оптимална стратегија железничког превозника да остане активан док цена не постане једнака вредности.

$$b_{AD}^1(V) = V \quad (7)$$

У другој фази енглеско-холандске аукције, лицитанти морају да доставе понуду која је једнака или већа од понуде коју је доставио лицитант са трећом највишом ценом у првој фази (V_3). Поред тога, превозници ће желети да умање своју понуду у односу на вредност. Пошто се у другој фази аукције надмећу увек два лицитанта, оптимална понуда лицитаната у савршеној бајесијанској равнотежи коју доставља у другој фази аукције према Levin & Ye (2008) је:

$$b_{AD}^2(V) = \frac{V + V_3}{2} \quad (8)$$

Као и енглеско-холандска, Амстердам аукција по другој највишој цени са премијом ($AMSP$) се одвија у две фазе. Оптималне понуде лицитаната у савршеној бајесијанској равнотежи су дате према Goeree & Offerman (2004) и Brunner et al. (2014) и у случају симетричних лицитаната, оне су исте у првој и другој фази аукције:

$$b_{AMSP}^{1,2}(V) = \frac{V}{(1 + \alpha)} + \frac{(V_H - V_L) \cdot \alpha}{(1 + \alpha)} \quad (9)$$

где $V_H - V_L$ означава разлику између горње и доње границе интервала униформне расподеле на које се извлачи вредност за симетричне превознике, док α означава коефицијент који се налази на интервалу (0,1). Коефицијент α одређује висину премије као део (процент) од разлике

између друге највише понуде у првој фази аукције и резервационе цене која је одговара трећој највишој понуди у првој фази. На тај начин премија престава ендогену променљиву у моделу. Може се приметити да оптимална понуда превозника на Амстердам аукцији по другој највишој цени не зависи од броја учесника.

7.1.2 Потпуно асиметрични учесници

Сада размотримо оптималне понуде у случају потпуно асиметричних лицитаната. Претпоставимо да на аукцији учествују $n - 1$ “слабих” лицитаната са вредностима добијених по униформној расподели на интервалу $[L_w, H_w]$ и један “јачи” лицитант код кога су вредности такође униформно расподељене али на интервалу $[L_s, H_s]$, при чему је:

$$H_s > L_s > H_w > L_w \quad (10)$$

У случају потпуно асиметричних лицитаната, оптималне понуде на аукцијама (осим енглеске аукције) се не могу исказати у затвореној форми, већ се оптималне понуде крећу у одређеном интервалу. На затвореној аукцији по највишој цени (FP) и у случају присуства асиметрије између вредновања железничких превозника и ако превозници познају интервале из који се генерише њихово вредновање, јачи превозник ће настојати да умањи своју понуду у односу на горњу границу слабијих лицитаната, тако да је:

$$b_{FP}(V_s) = H_w - \varepsilon \quad (11)$$

где ε представља релативно мали случајан број, док је H_w горњи интервал функције расподеле вероватноће на којем се генерише вредновање слабијег превозника. Оптимална понуда слабијег превозника на затвореној аукцији по највишој цени ($b_{FP}(V_w)$) је иста као и у симетричном случају:

$$b_{FP}(V_w) = V - \frac{V}{n} \quad (12)$$

Оптималне понуде превозника на енглеско-холандској аукцији представљају комбинацију оптималних понуда на енглеској аукцији у првој и аукцији по највишој цени у другој фази. У првој фази енглеско-холандске аукције, превозници остају активни док цена не постане једнака њиховом вредновању - $b_{AD}^1(V_w) = V_w$ за слабе лициданте, и $b_{AD}^1(V_s) = V_s$ за јаке лициданте. У другој фази, оптимална понуда јачег лициданта износи:

$$b_{AD}^2(V_s) = H_w - \varepsilon \quad (13)$$

док је оптимална понуда слабијег лициданта у другој фази енглеско-холандске аукције једнака:

$$b_{AD}^2(V_w) = \frac{V_w + V_s}{2} \quad (14)$$

Код Амстердам аукције по другој највишој цени, у првој фази аукције, јаки лицидант жели да понуди цену која је мања или једнака његовој вредности (између његове доње границе интервала L_s и V_s):

$$V_s \geq b_{AMSP}^1(V_s) \geq L_s \quad (15)$$

док слабији превозници желе да освоје премију уласком у другу фази и због тога је њихова оптимална понуда између њиховог вредновања трасе и доње границе јачег лициданта L_s . Користећи ову логику, у моделу је коришћена следећа формула за одређивање оптималне понуде слабијих лициданата у првој фази Амстердам аукције по другој највишој цени:

$$V_w \leq b_{AMSP}^1(V_w) \leq L_s - \frac{\delta}{(1 + \alpha)} \quad (16)$$

где је δ случајан број који одређује униформном расподелом на интервалу $\delta \sim \mathcal{U}(a, b)$. У другој фази Амстердам аукције по другој највишој цени, јачи лицитант подноси понуду која је једнака његовој вредности (V_s):

$$b_{AMSP}^2(V_s) = V_s \quad (17)$$

Са друге стране, слаби лицитант сада нема императив победе али висина његове премије зависи од његове понуде у другој фази. Такође, његова понуда у другој фази не сме бити мања од цене по којој је завршена прва фаза. На тај начин, слабији лицитант у другој фази Амстердам аукције по другој највишој цени доставља понуду која је једнака већој вредности између његове оптималне понуде из прве фазе или доњој граници вредновања јачег лицитанта, умањеној за неки случајан број:

$$b_{AMSP}^2(V_w) = \max \left[b_{AMSP}^1(V_w); L_s - \frac{\delta}{1 + \alpha} \right] \quad (18)$$

Према раду Goeree & Offerman (2004), равнотежне стратегије слабијих лицитаната важе за вредности $\alpha \leq (L_s - 1)/(H_s - L_s)$.

7.1.3 Слабо асиметрични учесници

Као и код потпуно асиметричних лицитаната, и овде важи претпоставка да се на аукцији надмеће један "јачи" лицитант и $n - 1$ "слабих" лицитаната. Вредновање лицитаната се такође генерише према униформној расподели, с тим што интервал јачег лицитанта слабо доминира над интервалом слабијих лицитаната, тако да је:

$$H_s > H_w > L_s > L_w \quad (19)$$

У том случају, на затвореној аукцији по највишој цени, јачи лицидтант ће настојати да понуди цену која се налази између његовог стварног вредновања трасе воза (V_s) и горње границе интервала вредновања слабијих лицидтаната (H_w), умањену за вредност случајног броја (μ) генерисаном на интервалу $\mu \sim \mathcal{U}(c, d)$. Користећи ову логику, оптимална понуда јачег лицидтанга једнака је:

$$b_{FP}(V_s) = \min[V_s, H_w] - \mu \quad (20)$$

Слабији лицидтанги умањују своју понуду у односу на своје стварно вредновање, тако да је:

$$b_{FP}(V_w) = V_w - \lambda \quad (21)$$

Где је λ случајан број генерисан према униформној расподели на интервалу $\lambda \sim \mathcal{U}(a, b)$. У моделу је узето да се границе интервала случајних бројева μ и λ налазе у односу $a < b < c < d$.

У првој фази енглеско-холандске аукције у случају слабе асиметрије између учесника, оптимална стратегија јачег и слабијих лицидтаната је да остану активни док цена не постане једнака њиховом вредновању - $b_{AD}^1(V_w) = V_w$ за слабе лицидтанте, и $b_{AD}^1(V_s) = V_s$. У другој фази, оптимална понуда јачег лицидтанга се одређује према изразу (20) док се оптимална понуда слабијег лицидтанга одређује према изразу (21).

У Амстердам аукцији по другој највишој цени, слаби лицидтант може да има веће стварно вредновање од јачег лицидтанга. Оптималне понуде у првој и другој фази аукције за слабог, односно јачег лицидтанга се рачунају на

идентичан начин. Слаби лицидтант доставља понуду која је нешто већа од његовог стварног вредновања према изразу који је коришћен у моделу:

$$b_{AMSP}^{1,2}(V_w) = V_w + \max(0; \alpha \cdot (L_s - V_w)) \quad (22)$$

Са друге стране, оптимална понуда јачег лицидтанта у првој и дугој фази је једнака његовом стварном вредновању, односно:

$$b_{AMSP}^{1,2}(V_s) = V_s \quad (23)$$

Цена по којој се на аукцији надмећу железнички превозници представља висину накнаде за трасе возова. Превозници могу да захтевају једну или неколико траса у једном пакету како би пружили услугу превоза и технички организовали обрт возних средстава. Да би понуде превозника биле упоредиве на аукцији, без обзира на број захтеваних траса у пакету, железнички превозници би се надметали за просечну цену по захтеваној траси. Под условом да је највиша ефикасност алокације предуслов по коме би се пакети траса возова додељивали, најважнији критеријум успешности аукција је висина очекиваног прихода продавца од продаје пакета траса возова. На тај начин се могу упоредити предложене хибридне аукције у односу на стандардне типове аукција.

7.2 Методологија алокације траса возова

На аукцији за трасе возова које се додељују на загушеној деоници или коридору учествује укупно n железничких превозника ($j = 1, \dots, n$). Сваки превозник појединачно захтева одређени број хетерогених траса возова m , тако да превозник j предлаже сопствени ред вожње који се састоји од скупа траса S^j . Захтевани скуп траса сваког превозника се састоји од траса које нису у међусобном конфликту, тако да захтевани скуп траса железничког

превозника j садржи скуп траса $S^j = (s_1^j, s_2^j, \dots, s_m^j)$, где m представља број захтеваних траса у пакету. У току алокације траса возова, управљач инфраструктуре треба да додели скуп траса превозницима које нису међусобно у конфликту тако да је $\bar{S} \subseteq (S^1 \cup S^2 \cup \dots \cup S^n)$, $\bar{S} = \{s_k^j \mid j = 1, \dots, n \wedge k = 1, \dots, m\}$.

Процедура алокације капацитета је подељена у итерације. У свакој итерацији i , ($i = 1, \dots, I$) управљач инфраструктуре додељује одређени скуп траса \bar{S}_i који садржи трасе које међусобно нису у конфликту ($S_i \subseteq \bar{S}$). Поред тога, циљ управљача инфраструктуре јесте да у свакој итерацији додели трасе оним превозницима који су понудили највишу цену, тако да је његова функција циља у свакој итерацији везана за максимизацију прихода од продаје траса, тј.:

$$R_i = \max_i \left[\sum_{j=1}^m \bar{b}_i^j \cdot h_i^j \right] \quad (24)$$

где \bar{b}_i^j представља понуду превозника j за пакет траса у итерацији алокације траса и док је $h_i^j \in \{0,1\}, \forall j$, где h_i^j узима вредност 1 ако је превознику j додељен скуп траса S^j у итерацији i , или у противном узима вредност 0.

За итерацију i , сваки превозник одређује вредновање за захтевани пакет траса \mathcal{V}_i^j које представља суму вредновања појединачних траса у пакету (v_k^j), али тако да је:

$$\mathcal{V}_i^j = \tau \cdot \sum_{k=1}^n v_k^j(i) \quad (25)$$

где τ представља коефицијент комплементарности (за $\tau > 1$). Претпоставимо сада да су трасе у пакету међузависне тако да сваки превозник захтева цео и само цео пакет траса. За захтевани пакет траса за који се надмеће у итерацији i , железнички превозник j одређује своје просечно вредновање по траси воза која се рачуна по формули:

$$V_i^j = \frac{v_i^j}{m} = \frac{\tau \cdot \sum_{k=1}^n v_k^j(i)}{m} \quad (26)$$

Према формули (26), вредновање превозника V_i^j представља просечну цену по једној траси воза коју је железнички превозник j спреман да плати у итерацији i .

Због трошкова регулисања саобраћаја и одржавања инфраструктуре са којима се суочава управљач инфраструктуре, у било којој итерацији i он не жели да прода трасу испод минималне цене c_{min} по траси воза. То значи да ако у једној итерацији остане само један превозник са захтевом за пакет траса које нису у конфликту са већ уцртаним трасама победника у претходним итерацијама, управљач инфраструктуре ће продати трасе по цени $C_{min}^j = m \cdot c_{min}$. У другом случају, да би превозник могао да учествује у било којој итерацији доделе траса возова, његово вредновање мора бити веће или једнако минималној цени коју је претходно одредио управљач инфраструктуре тј.:

$$c_{min} \leq V_i^j \quad (27)$$

Такође, у случају да је висина оптималне понуде превозника мања од минималне цене тако да је $b_i^j \leq c_{min} \leq V_i^j$, понуда железничког превозника је једнака минималној цени у тој итерацији.

Превозници којима нису додељене трасе возова у првој итерацији, морају да коригују своје трасе према трасама победника у претходним итерацијама. Како се корисност измењене трасе за превозника умањује у односу на корисност оригиналне трасе воза коју је иницијално захтевао, тако се и вредновање трасе превозника смањује. У овом моделу претпостављамо да се просечно вредновање по траси воза код превозника смањује за одређени коефицијент у интервалу $r = (0,1)$, тако да је вредновање трасе $s_k^j(i)$ у итерацији $i + 1$ од стране превозника j једнако $r_{i+1} V_k^j(i)$. У моделу постоје три врсте железничких превозника – превозник путничких возова, превозних теретних возова и превозних интермодалних возова. Њихова осетљивост на измену траса возова је различита, тако да је сходно томе у моделу предвиђен различит коефицијент умањења у зависности од врсте превозника.

Код Амстердам аукције по другој највишој цени се додељује премија превозницима који учествују у другој фази аукције. Цена по којој је одустао последњи превозник у првој фази аукције, $b_i^j(V_{3i})$ представља резервациону цену за другу фазу. Оба преостала железничка превозника на аукцији чије су трасе у конфликту добијају попуст (*discount*) који се рачуна као:

$$d = \alpha \left(b_i^j(V_{2i}) - b_i^j(V_{3i}) \right) \quad (28)$$

где α означава коефицијент који се налази на интервалу⁵⁹ $(0,1)$, $b_i^j(V_{2i})$ представља другу највишу понуду превозника j у итерацији i , док је $b_i^j(V_{3i})$ ендогена резервациона цена која је једнака трећој највишој понуди превозника у итерацији i . На Амстердам аукцији по другој највишој цени,

⁵⁹ У моделу коришћеном у дисертацији узето је да је вредност параметра α једнака $1/3$ за сваки експеримент у симулацији.

побеђује превозник са највишом понудом $b_i^j(V_{1i})$, и плаћа цену по траси воза која је једнака другој највишој понуди $b_i^j(V_{2i})$ умањеној за попуст, тј:

$$c_i = b_i^j(V_{2i}) - d \quad (29)$$

док профит победника по траси воза на аукцији представља разлику између просечног вредновања пакета траса и трошка накнаде за трасе, који је умањен за попуст, односно:

$$\Pi_i = m \cdot [V_i^j - (b_i^j(V_{2i}) - d)] \quad (30)$$

Са друге стране, превозник са другом највишом понудом $b_i^j(V_{2i})$ добија попуст d на добијени пакет траса у наредним итерацијама алокације траса. Управљач инфраструктуре остварује профит од продаје траса који се рачуна као приход од продаје умањен за попусте које је доделио превозницима у другој фази аукције у итерацији i .

Картелски споразум између железничких превозника се ствара под условом да се сви активни учесници у одређеној итерацији одлуче на склапање картела или у противном до картела неће доћи. Ако се картел формира, приход управљача инфраструктуре по траси воза у посматраној итерацији i биће једнак минималној цени c_{min} , односно:

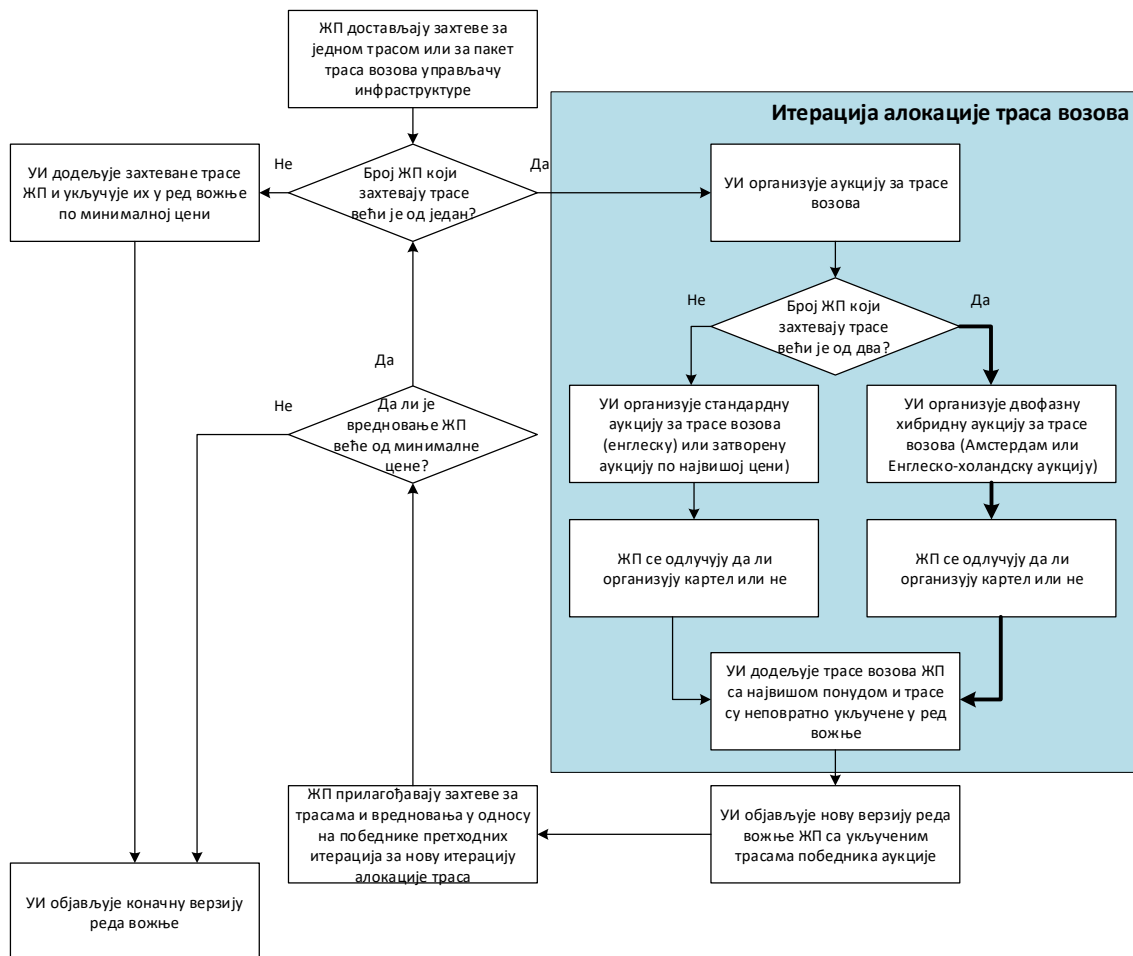
$$R_i = m \cdot c_{min} \quad (31)$$

Уз то, ако су железнички превозници створили картел у једној итерацији, врло је вероватно да ће они учинити исто у наредној итерацији. Вероватноћа стварања картела је различита у зависности од врсте аукције и од активног броја учесника у итерацији. Познато је да учесници лакше

стварају картел када их је мање. Такође, формирање картела је извесније на енглеској аукцији, затим на затвореној аукцији по највишој цени, док се картел на хибридном аукцији ретко када остварује.

7.3 Алгоритам алокације траса возова за тестирање аукција

За потребе тестирања аукција, у раду је предложен алгоритам децентрализоване алокације пакета траса возова који је приказан на слици 16. Предложени алгоритам за алокацију траса возова је базиран на алгоритму за алокацију траса возова користећи потпуно децентрализовани концепт, предложеном у подпоглављу 5.2.4 и који омогућава додељивање траса возова у узастопним итерацијама. Основни предуслов под којим се одвија додела пакета траса возова је обезбеђивање максималне ефикасности алокације. То практично значи да алгоритам омогућава да трасе возова добију прво они превозници који их највише вреднују. Својим понудама, они могу директно да утичу на ток алокације траса у свакој итерацији, са релативно једноставним правилима одређивања победника. Узимајући у обзир садашњи ниво конкуренције и ефекат стварања картела који се одражава на смањење очекиваног прихода управљача инфраструктуре, примарни циљ је максимизација прихода продавца. Због тога, максимизација прихода управљача инфраструктуре представља изведени циљ који рефлектује већу конкуренцију и мању вероватноћу склапања картелског споразума.



Слика 16 Алгоритам децентрализоване алокације возова коришћен у моделу

Пре почетка прве итерације, железнички превозници достављају своје захтеве за трасама у виду броја траса у пакету за које имају просечно вредновање по траси воза. У случају да се у итерацији надмеће више од једног превозника, управљач инфраструктуре организује аукцију за трасе. Све док је број активних превозника у итерацији већи од два, управљач инфраструктуре може да организује хибридну аукцију (означено подебљаним линијама на слици 16), док за два активна железничка превозника у итерацији је могуће надметање само на енглеској или затвореној аукцији по највишој цени.

У свакој итерацији се додељују пакети траса по једној врсти аукције. Итерације се понављају све док се понуда не изједначи са тражњом, односно

у тренутку када и последњи превозник, чије је вредновање траса веће или једнако минималној цени, добије захтеване пакете траса. У том тренутку завршава се серија алокација пакета траса возова. Сваку серију чини скуп итерација, и за сваку серију се генеришу вредновања превозника која важе у свакој итерацији те серије.

Непосредно пре почетка аукције у свакој итерацији, железнички превозници имају прилику да склопе картелски споразум који ће важити за ту итерацију. Различите врсте аукције омогућавају лакше или теже склапање картелског споразума између лицитаната. У случају да сви активни превозници у посматраној итерацији постигну картелски споразум, они бирају свог представника на аукцији који има највише вредновање. Остали чланови картела не учествују на аукцији и тада представник картела плаћа минималну цену по траси воза које је захтевао.

Ако не постигну споразум о стварању картелског споразума, превозници достављају своје оптималне понуде које зависе од врсте аукције на којој се надмећу, вредновања у тој итерацији и да ли је присутан јачи превозник или не. У свакој итерацији се попуњава по један део расположивог капацитета посматране деонице пруге трасама победника те итерације. Остали превозници прилагођавају своје почетне захтеве за трасама већ уцртаним трасама чиме им се умањује вредновање за ту итерацију. Сваки превозник чије је умањено вредновање по траси воза веће или једнако минималној цени може да конкурише за трасе. Ако постоји више железничких превозника који захтевају трасе, организује се нова итерација алокације траса возова путем аукција, чиме се понавља поступак из прве итерације. Уколико остане само један активан превозник чије је вредновање веће или једнако минималној цени, он плаћа трасе по минималној цени које се уцртавају у ред вожње, након чега се алгоритам завршава.

7.4 Основне поставке модела за тестирање аукција и разматране алтернативе

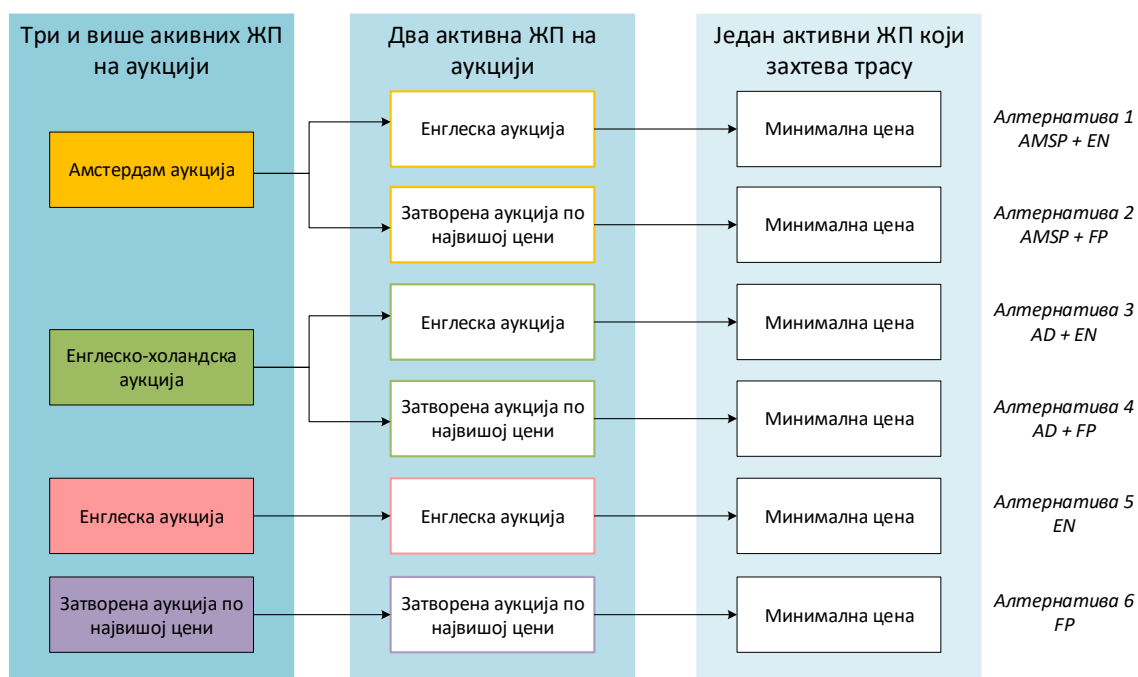
Коришћењем рачунарске симулације оптималних понуда представљених у поглављу 7.1, у раду се тестирају и упоређују остварени приходи од продаје пакета траса возова на две хибридне аукције (енглеско-холандској аукцији и Амстердам аукцији по другој највишој цени) и на две стандардне аукције (енглеској аукцији и затвореној аукцији по највишој цени) (Stojadinović et al., 2019b). У симулацији је предвиђено да оне зависе од примењене врсте аукције, броја учесника на аукцији, јачине превозника (слаби или јачи) као и од тога да ли у итерацији учествује јачи превозник. Железничким превозницима су унапред познати интервали према којима се генеришу вредновања других учесника и познато им је ко је јачи превозник и да ли он учествује на аукцији (итерацији алокације капацитета) или не. У случају присуства јачег превозника, слаби превозници достављају оптималне понуде у зависности да ли је јачи превозник потпуно асиметричан или слабо асиметричан у односу на њих. У играма са несавршеним информацијама се користи ова претпоставка на основу које се базира анализа аукција, тј. да сваки лицитант познаје функцију расподеле осталих типова лицитаната. У овом проблему типови лицитаната су вредновања траса од стране конкурентних железничких превозника. Без усвајања ове претпоставке није могуће моделовати аукцију као игру и одредити оптималне стратегије (понуде) лицитаната (Harsanyi, 1967). Шеме оптималних стратегија железничких превозника у односу на наведене услове у којима се одвија аукција су дате у Прилогу 1.

Симулација примене аукција се заснива на три хипотезе. (Stojadinović et al., 2019b) Прва се односи на то да се аукције за трасе возова примењују када је степен загушења железничке инфраструктуре на врло високом нивоу. У моделу је претпостављено да се алокација траса одвија у најнеповољнијем

случају загушења када су сви захтевани пакети траса возова међусобно у конфликту. То има за последицу да у свакој итерацији може да победи и добије трасе само један превозник. Друга хипотеза се односи на то да се код било какве асиметрије између превозника надмеће један јачи и више слабијих учесника на аукцији. С обзиром да у оквиру једног пакета захтеваних траса постоји висок степен комплементарности, трећа хипотеза јесте да сваки превозник може да предложи само један пакет траса за једну серију алокације траса возова, с тим да купи цео пакет траса или да од њега одустане.

7.4.1 Алтернативе у моделу

Управљач инфраструктуре организује Амстердам аукцију по другој највишој цени или енглеско-холандску аукцију све док је њихов број активних превозника у серији алокације већи од два. Кад остану само два активна превозника у итерацији након Амстердам аукције (*AMSP*) или енглеско-холандске аукције (*AD*), они се надмећу или на енглеској аукцији (*EN*) или на затвореној аукцији по највишој цени (*FP*). На тај начин *EN* и *FP* аукције допуњују *AMSP* и *AD* аукције, тј. њихова примена је комбинована, тако да постоје укупно шест алтернатива које се тестирају у раду (слика 17).



Слика 17 Алтернативе које су тестиране у моделу

Када остане само један превозник који захтева трасу, траса се продаје по минималној цени коју је управљач инфраструктуре одредио пре почетка серије, она је једнака за све превознике и њена висина је опште позната.

7.4.2 Егзогене променљиве коришћене у моделу

За сваку серију се независно извлаче просечна вредновања по траси воза за сваког железничког превозника. Без обзира на врсту асиметрије између њих, увек постоји један јачи и више слабијих лицитаната. Када су лицитанти слабо асиметрични интервал функције расподеле вероватноће на коме се извлачи вредност јачег и слабијих лицитаната се преклапа, док код потпуно асиметричних лицитаната не постоји преклапање ова два интервала. Интервал у оквиру којег се генеришу вредновања превозника за сваку серију је приказан у табели 6.

У моделу се разликују три профила железничких превозника: железнички превозник путничких возова, железнички превозник интермодалних возова и железнички превозник теретних возова. Њихова разлика се огледа

у броју захтеваних траса у пакету (m^j) и вредности коефицијента умањења вредновања (r^j). У случају да превозник не добије трасе у првој итерацији, његова вредност траса ће се линеарно смањивати у свакој наредној итерацији за вредност коефицијента r^j све док не добије трасу или док се не заврши серија алокације траса. Коефицијент редуције је уведен по угледу на функцију корисности траса за превозника (*value-of-access function*) коју је увео Nilsson (2002). Што је вредност коефицијента r^j ближе нули то значи да ће се вредновање захтеване трасе од стране превозника више смањивати у свакој наредној итерацији. Тада ће бити потребан мањи број итерација да вредност траса за превозника опадне толико да она буде нижа од минималне цене за ту трасу и превозник тада одустаје од куповине пакета траса. У моделу је претпостављено да је превозник путничких возова најосетљивији на измене траса возова, затим превозник интермодалних возова, док је превозник теретних возова најмање осетљив на измене траса возова по итерацијама (Stojadinović et al., 2019b). Број захтеваних траса у пакету од стране железничких превозника је ограничен. У моделу је одређено да превозник путничких возова може да захтева релативно највише траса у пакету у поређењу са осталим превозницима (табела 6).

Табела 6 Егзогене променљиве и случајни бројеви коришћени у моделу

Тип железничког превозника (ЖП), њихове приватне вредности, коефицијенти умањења и број захтеваних траса у пакету према профилу железничког превозника					
Тип учесника на аукцији	Вредновање симетричних ЖП	Вредновање слабо асиметричних ЖП	Вредновање потпуно асиметричних ЖП	Коефицијент умањења вредновања (r^j) и број захтеваних траса возова (m^j) с обзиром на профил ЖП	
Симетрични ЖП	$100 \leq V^j \leq 600$	/	/	За ЖП путничких возова: $0,60 < r^j < 0,80$ $4 \leq m^j \leq 6$	
Слабији ЖП	/	$100 \leq V_w^j \leq 600$	$100 \leq V_w^j \leq 600$	За ЖП интермодалних возова: $0,70 < r^j < 0,90$ $2 \leq m^j \leq 4$	
Јачи ЖП	/	$500 \leq V_s^j \leq 1.000$	$700 \leq V_s^j \leq 1.000$	За ЖП теретних возова: $0,80 < r^j < 1,00$ $1 \leq m^j \leq 3$	
Дискретна расподела вероватноће стварања картела C_a^n у зависности од броја активних железничких превозника у итерацији доделе траса					
Алтернатива	Број железничких превозника који учествује на аукцији				
	6	5	4	3	2
EN	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
FP	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60
EN (AD+EN)	/	/	/	/	0,30
FP (AD+FP)	/	/	/	/	0,15
EN (AMSP+EN)	/	/	/	/	0,10
FP (AMSP+FP)	/	/	/	/	0,05

Механизам склапања картелског споразума је конструисан тако да зависи од односа случајног броја, у зависности од броја активних превозника у свакој итерацији и претпостављене дискретне расподеле вероватноће формирања картела за стандардне аукције датих у табели 6. Параметри у табели 6 ($C_a^n(\%)$) представљају вероватноћу стварања картела између превозника у моделу на енглеској и на затвореној аукцији по највишој цени, док је картелски споразум доста теже склапа на хибридним аукцијама (вероватноћа је једнака нули у моделу), као што је то показао (Hu et al., 2011a). У симулацији, за сваку итерацију се генерише по један случајан број по униформној расподели. За прву итерацију i , случајни број ($X_i, i = 1$) се извлачи на интервалу између 0 и 100. У наредним итерацијама, случајни број ($X_i, i = (2, \dots, n - 1)$) се извлачи на ужем интервалу $X_1 - 15 \leq X_i \leq X_1 + 15$ али тако да вредност не буде мања од 0 или већа од 100. На овај начин је уведена ауторегресивна зависност⁶⁰ између случајних бројева, што значи да ако се картел формира у једној итерацији, велика је вероватноћа да ће се он одржати у наредним итерацијама са мањим бројем учесника. У случају да је генерисани случајни број мањи или једнак усвојеној вероватноћи стварања картела, очекивани приход управљача инфраструктуре R_i у итерацији i биће једнак минималној цени c_{min} по продатој траси воза. Минимална цена је егзогено одређена и она износи $c_{min} = 75$. Претпоставимо да се шест железничких превозника ($n = 6$) надмећу за трасе на енглеској аукцији (EN) и да је за прву итерацију алокације траса возова извучен случајни број $X_1 = 65$. Како је $X_1 > C_{EN}^6 = 50$ то значи да картел неће бити формиран у првој итерацији и да ће се трасе продати превознику са највећим вредновањем по другој највишој цени. У другој итерацији учествује пет железничких превозника и случајни број се сада генерише на интервалу $50 \leq X_2 \leq 80$. Претпоставимо да је за другу итерацију алокација траса возова извучен случајни број $X_2 = 73$. Како је

⁶⁰ Ауторегресивни модел представља случајни догађај у анализи временских серија.

$X_1 > C_{EN}^5 = 60$ то значи да активни превозници у другој итерацији такође неће формирати картел и да ће се трасе продати на исти начин као и у претходној итерацији. У трећој итерацији, случајни број се извлачи на истом интервалу као и за претходну итерацију и узмимо да је извучен случајни број $X_3 = 68$ што значи да је $X_3 < C_{EN}^4 = 70$ и долази до стварања картела између четири активна превозника. Када је картел формиран, трасе се продају по минималној цени (c_{min}) превознику са највећим вредновањем међу активним учесницима (који је изабран да представља картел на аукцији) у датој итерацији. У четвртој и петој итерацији, граничне вероватноће за стварање картела дате у табели 6 и износе $C_{EN}^3 = 80$ и $C_{EN}^2 = 90$. Ове вредности су једнаке или веће од горње границе интервала по којем се извлаче случајни бројеви у датим итерацијама алокације траса возова, што значи да ће картел бити формиран и да ће се трасе продавати по минималној цени у последње две итерације на којима се организује аукција.

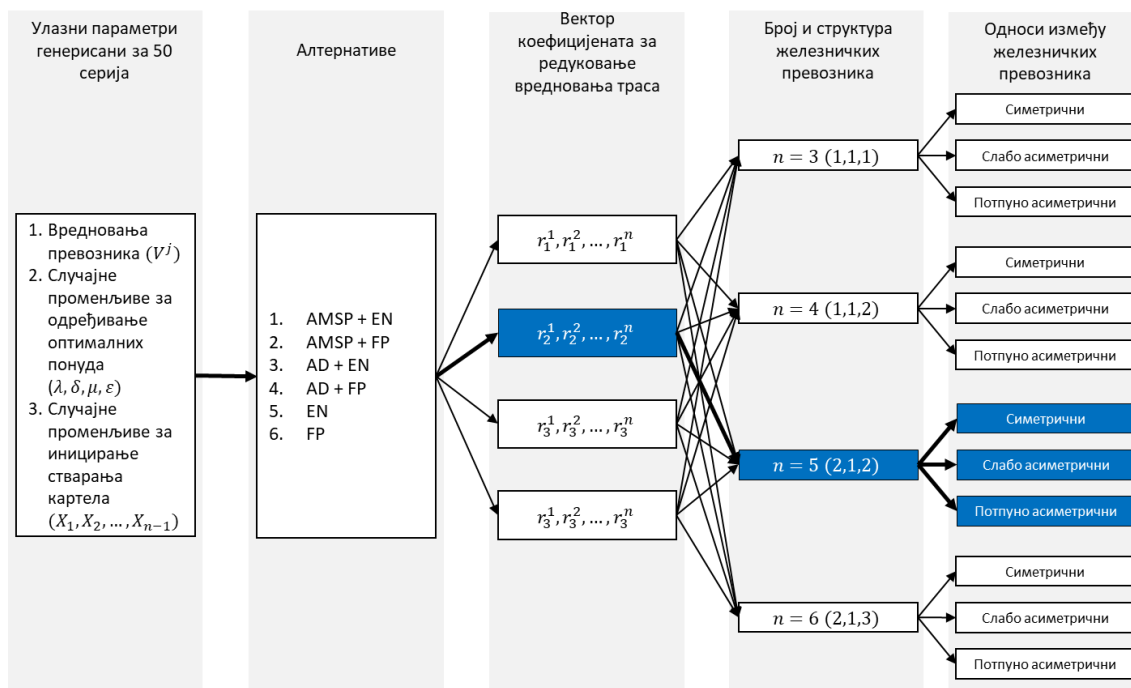
7.4.3 Организација експеримента

Алгоритам децентрализоване алокације траса возова је имплементиран у рачунарској симулацији (Stojadinović et al., 2019b). Симулација је реализована као десктоп апликација која је названа “*Program for Iterative Simulation of Auction Mechanism – PISAM*” над релационом базом података. Апликација је развијена у програму “*Integrated development environment Microsoft Visual Studio 2015*”, док је база података креирана у програму “*Relational database management system Microsoft SQL Server 2012*”. Симулација је организована са циљем да се израчунају појединачни приход по итерацији и кумулативни приход по серији управљача инфраструктуре, са искљученим и укљученим ефектом стварања картела. У Прилогу 2 је дат приказ изгледа командног прозора за унос променљивих у апликацију „PISAM” и део шеме релационе базе података развијене за потребе обраде и анализе резултата.

Иницијално, симулација је рађена за пет учесника који се надмећу за трасе. Међутим, за потребе анализе осетљивости, симулација је организована за мањи и већи број железничких превозника од пет. Имајући у виду садашњи ниво конкурентности на већини националних железничких тржишта у ЕУ, симулација исхода аукција је обављена када се за трасе на истом делу мреже надмеће три, четири, пет и шест железничких превозника са следећом расподелом профила путничких, интермодалних и теретних железничких превозника респективно:

- три железничка превозника (1,1,1);
- четири железничка превозника (1,1,2);
- пет железничка превозника (2,1,2);
- шест железничка превозника (2,1,3).

Рачунарска симулација реализована је кроз четири експеримента. У сваком експерименту појединачно се надмеће исти број превозника. Сваки експеримент састоји се од 50 серија симулација. Једну серију симулације чине израчунавања излазних резултата за свих 6 алтернатива комбиноване примене аукција, за један скуп случајно генерисаних вредновања железничких превозника и један скуп случајно генерисаних коефицијената умањења вредновања сваког превозника. За сваку серију (понављање) извлаче се вредности параметара по униформној расподели за сваког превозника: њихова вредновања, број траса које захтева сваки превозник у пакету, случајне променљиве за одређивање њихових понуда и случајни бројеви који одређују да ли ће се створити картел у одређеној итерацији серије или не. Организација експеримената је дата на слици 18. Вредности превозника се извлаче према интервалима наведеним у табели 6.



Слика 18 Организација експеримента и улазни параметри

За сваког превозника извлачи се вредност коефицијента редукције вредновања, који важи за цео експеримент. За сваку алтернативу у свим сценаријима упоређује се просечно остварени приход управљача инфраструктуре, стандардно одступање и коефицијент варијације који комбинује вредности претходна два параметра у циљу одређивања стабилности алтернатива у различитим сценаријима.

Сам број итерација у оквиру једне серије зависи од броја учесника и њиховог вредновања траса возова. На пример, ако на аукцији учествује пет превозника, серија може имати највише пет итерација. Број итерација може бити мањи од броја превозника у случају да у итерацији ни један активан превозник (који до тог тренутка није купио трасе) нема веће или једнако вредновање пакета траса од минималне цене.

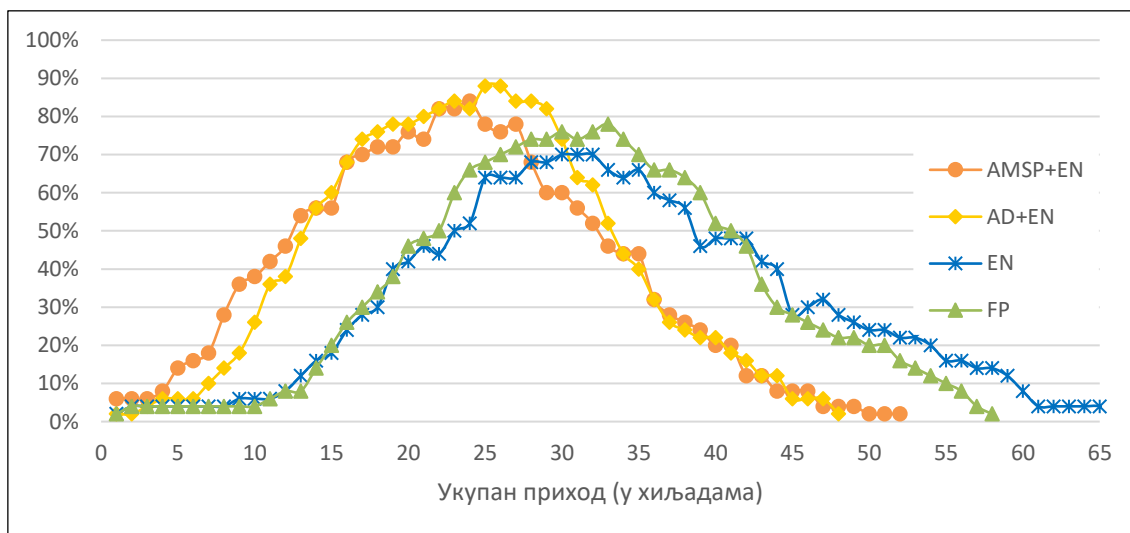
7.5 Резултати симулације и њихова анализа

У анализи остварених резултата симулације прво ћемо разматрати резултате добијене када су железнички превозници симетрични, када се надмеће релативно већи број учесника (пет) и када је искључен ефекат стварања картела (Stojadinović et al., 2019b). Затим ће бити анализиран учинак алтернатива када постоји асиметрија вредновања између учесника у два случаја – слабе асиметрије и потпуне асиметрије, заједно са укљученим ефектом стварања картела на приход управљача инфраструктуре. На крају ћемо се осврнути на резултате алтернатива када учествује различити број превозника, са посебним нагласком на случај када учествује мањи број конкурената. Главни прикази резултата значајних за дискусију су дати у овом поглављу док су остали графикони добијених резултата симулације дати у Прилогу 3.

7.5.1 Сценарио са симетричним превозницима када није укључен ефекат стварања картела

На слици 19 је приказан хистограм расподеле вероватноће оствареног прихода управљача инфраструктуре за ситуацију када на аукцији учествује пет симетричних железничких превозника без ефекта стварања картела за један експеримент од 50 серија. Хистограм приказује расподелу вероватноће остваривања одређене висине прихода за тестиране алтернативе у моделу. За сваки ниво прихода на апсциси додат интервал $[-10, +10]$ тако да је рачунат број достигнутих прихода одређене алтернативе који се налази на датом интервалу и на основу тога је одређена расподела вероватноћа остварења тог прихода у 50 серија. Криве померене ка десно означавају да алтернативе дају више приходе за продавца. Такође, што је крива одређене алтернативе равнија, то је се приход остварује уз веће стандардно одступање и обрнуто. Због боље прегледности резултата, на

хистограму су приказане прве четири алтернативе које показују највише приходе.



Слика 19 Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања симетричних превозника и када није укључен ефекат стварања картела

Када су превозници симетрични, највиши приходи се остварују на стандардним аукцијама, пре свега на енглеској аукцији, затим на затвореној аукцији по највишој цени, и на крају на хибридним аукцијама. Међутим, највећи приход на стандардним аукцијама долази уз веће стандардно одступање, што се на графикону очитава преко ниже вероватноће остварења прихода и шири распон између вероватноће остварења минималног и максималног прихода код стандардних аукција. Имајући то у виду, стандардне аукције а посебно енглеска аукција, повлачи са собом већу неизвесност остварења високог прихода на свакој аукцији. Иако хибридне аукције релативно доста заостају за стандардним аукцијама у погледу просечног прихода, оне ипак остварују приходе уз нижи ниво одступања, што их чини стабилнијим у односу на стандардне аукције.

Резултати су базирани на претпоставци да су управљач инфраструктуре и железнички превозници индиферентни према ризику (*risk neutrality*). Склоност или одбојност учесника према ризику може битно да утиче на исход аукције и висину очекиваног прихода за продавца. Hu et al. (2011b) су показали да на аукцијама са премијом на којој учествују симетрични лицитанти (као што је Амстердам аукција са премијом) очекивани приход продавца расте ако су лицитанти склонији ка ризику. Другим речима, што је мања одбојност према ризику железничких превозника то је већи приход управљача инфраструктуре. Ова тврдња је потврђена на експерименту чији су резултати објављени у раду Brunner et al. (2014). Шта више, Hu et al. (2018) су навели да када су лицитанти одбојни према ризику, повећање износа премије утиче на њих да увећају своје понуде али оне су тада мање него што је вредност саме премије. То значи да када су железнички превозници одбојни према ризику, повећање премије смањује очекивани приход управљача инфраструктуре.

Када је у питању одбојност према ризику продавца, Onderstal (2017) доказује да Амстердам аукција са премијом доноси приходе са нижим стандардним одступањем од енглеске аукције, због тога што је приход продавца на енглеској аукцији једнак другој највишој понуди (вредности), док се очекивани приход на Амстердам аукцији по другој највишој цени налази између друге и треће највише вредности, што је ниже стандардно одступање од енглеске аукције. Због тога, управљач инфраструктуре који је одбојан према ризику ће се пре одлучити за Амстердам аукцију са премијом да би смањио неизвесност.

7.5.2 Сценарио са асиметричним превозницима када је укључен ефекат стварања картела

На основу резултата приказаним на слици 19, на први поглед се може закључити да стандардне аукције представљају бољи избор за управљача

инфраструктуре. Међутим када се за трасе возова надмећу асиметрични учесници (што је случај који је доста реалнији на железничком тржишту) и када се укључи ефекат стварања картела на приход управљача инфраструктуре, остварени резултати дају другачију слику.

На слици 20 су приказани хистограми расподеле вероватноће укупног оствареног прихода управљача инфраструктуре када је укључен ефекат стварања картела у слабо асиметричном и потпуно асиметричном случају. Са урачунатим ефектом стварања картела на висину прихода управљача инфраструктуре, перформансе стандардних аукција значајно опадају. У оба случаја, енглеска аукција остварује низак ниво прихода са високом вероватноћом, што се последица стварања картела у великом броју серија. Због тога се виши ниво прихода остварује доста ретко што доприноси високом стандардном одступању. Затворена аукција по највишој цени са друге стране има нешто равнију криву расподеле вероватноће остварења прихода, што значи да се приходи виши од 2.000 остварују уз већу вероватноћу него на енглеској аукцији, што је чини конкурентнијом алтернативом у односу на хибридне аукције, посебно у односу на Амстердам аукцију по другој највишој цени.



Слика 20 Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања слабо асиметричних превозника (горе) и потпуно асиметричних превозника (доле) када је укључен ефекат стварања картела

Резултати добијени са осталих експеримената потврђују претходну анализу о просечно оствареним приходима и стандардним одступањем (табела 7). Коришћењем података наведеним у табели 7, може се израчунати коефицијент варијације ($c_v = \sigma/\mu$) у табели 8, који представља универзални показатељ остварених резултата за различите врсте аукције тестираних у симулацији.

Табела 7 Остварени укупан приход управљача инфраструктуре од продаје траса
возова када учествују пет железничких превозника

Алтернативе	Симетрични железнички превозници		Слабо асиметрични железнички превозници		Потпуно асиметрични железнички превозници		Укупно	
	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен
1. AMSP+EN	2.404	2.367	2.476	2.452	2.580	2.566	2.487	2.462
	626	628	685	688	535	536		
2. AMSP+FP	2.391	2.391	2.442	2.442	2.547	2.547	2.460	2.460
	592	592	627	627	488	488		
3. AD+EN	2.553	2.502	3.350	3.291	2.856	2.795	2.920	2.863
	502	501	663	664	496	484		
4. AD+FP	2.450	2.450	3.203	3.203	2.709	2.709	2.788	2.788
	443	443	604	604	415	415		
5. EN	3.137	1.763	2.946	1.659	2.839	1.591	2.910	1.637
	849	995	723	886	630	797		
6. FP	3.011	2.445	3.072	2.411	2.943	2.288	3.029	2.370
	670	946	604	885	488	775		

*За сваку алтернативу је приказан остварени просечни приход (подебљани фонт) и стандардно одступање (искошени фонт)

Енглеска аукција, и поред тога што остварује просечно високе приходе у сценарију са асиметричним превозницима без могућности стварања картела, представља алтернативу са највишим стандардним одступањем од свих осталих алтернатива када се укључи ефекат стварања картела. Због тога је код енглеске аукције у случају асиметричних учесника (и то у оба посматрана случаја са slabим или потпуно асиметричним превозницима) и укљученим ефектом стварања картела, вредност њеног коефицијента варијације доста виши него код других тестираних алтернатива (табела 9). На тај начин је енглеска аукције веома ризична и непрофитабилна за управљача инфраструктуре.

Када је укључен ефекат стварања картела, затворена аукција по највишој цени када се користи самостално представља знатно бољу алтернативу од енглеске аукције, али су њени резултати нижи од хибридних аукција. Стварање картела између учесника на стандардним аукцијама смањује просечан приход управљача инфраструктуре за око 44% на енглеској,

односно 21% на затвореној аукцији по највишој цени у односу на хибридне аукције.

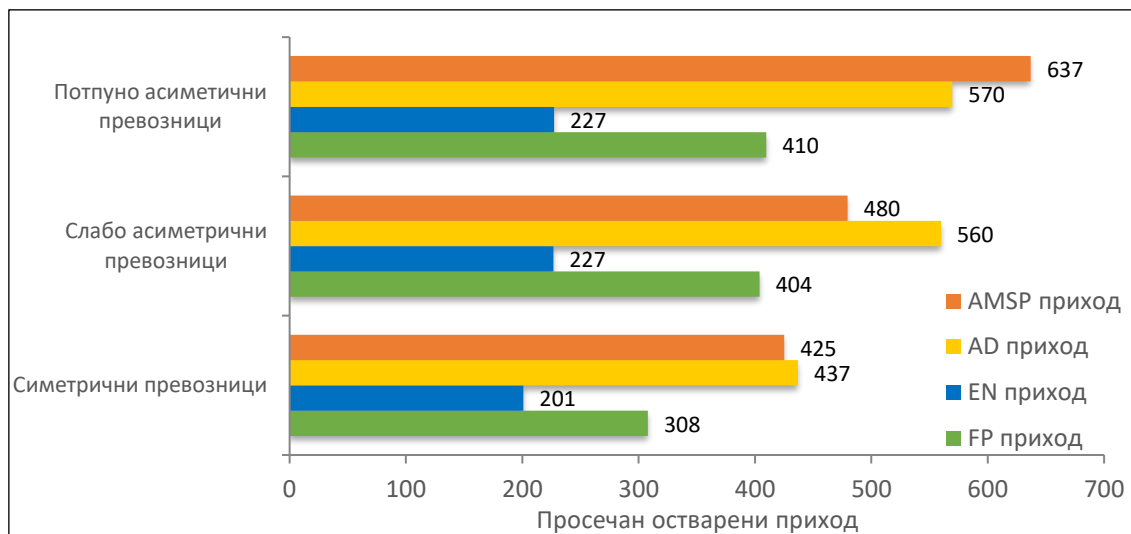
Размотримо сада учинке хибридних аукција. Са урачунатим ефектом стварања картела, хибридне аукције остварују боље резултате од стандардних аукција. Та разлика долази до изражаја управо код постојања било какве асиметрије између превозника, што се може приметити према приказаним резултатима у табели 7. Код слабо асиметричних железничких превозника, енглеско-холандска аукција је алтернатива која управљачу инфраструктуре осигурава убедљиво највиши приход од продаје пакета траса возова. Према оствареном просечном приходу, Амстердам аукција је тек нешто боља од затворене аукције по највишој цени. Такође, уочено је да хибридне аукције у комбинацији са енглеском аукцијом остварују веће приходе али уз веће стандардно одступање него у случају када су оне у комбинацији са затвореном аукцијом по највишој цени.

Табела 8 показује да је енглеско-холандска аукција у комбинацији са затвореном аукцијом по највишој цени доминантна алтернатива у односу на остале у било ком односу између учесника (симетрични, слабо асиметрични и потпуно асиметрични превозници), са урачунатим ефектом стварања картела или без њега. Овај резултат показује висок степен робусности енглеско-холандске аукције, који издваја ову врсту аукције од осталих. У ситуацији када је могуће формирати картел, табела 9 показује да је Амстердам аукција у комбинацији са затвореном аукцијом по највишој цени друга најбоља алтернатива, било да су превозници симетрични и асиметрични.

Табела 8 Коефицијент варијације за све алтернативе и за све сценарије када се надмећу пет железничких превозника

Алтернативе	Симетрични железнички превозници		Слабо асиметрични железнички превозници		Потпуно асиметрични железнички превозници	
	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен	Без ефекта картела	Ефекат картела укључен
1. AMSP+EN	0,2604	0,2653	0,2767	0,2806	0,2074	0,2089
2. AMSP+FP	0,2476	0,2476	0,2568	0,2568	0,1916	0,1916
3. AD+EN	0,1966	0,2002	0,1979	0,2018	0,1737	0,1732
4. AD+FP	0,1808	0,1808	0,1886	0,1886	0,1532	0,1532
5. EN	0,2706	0,5644	0,2454	0,5341	0,2219	0,5009
6. FP	0,2225	0,3869	0,1966	0,3671	0,1658	0,3387

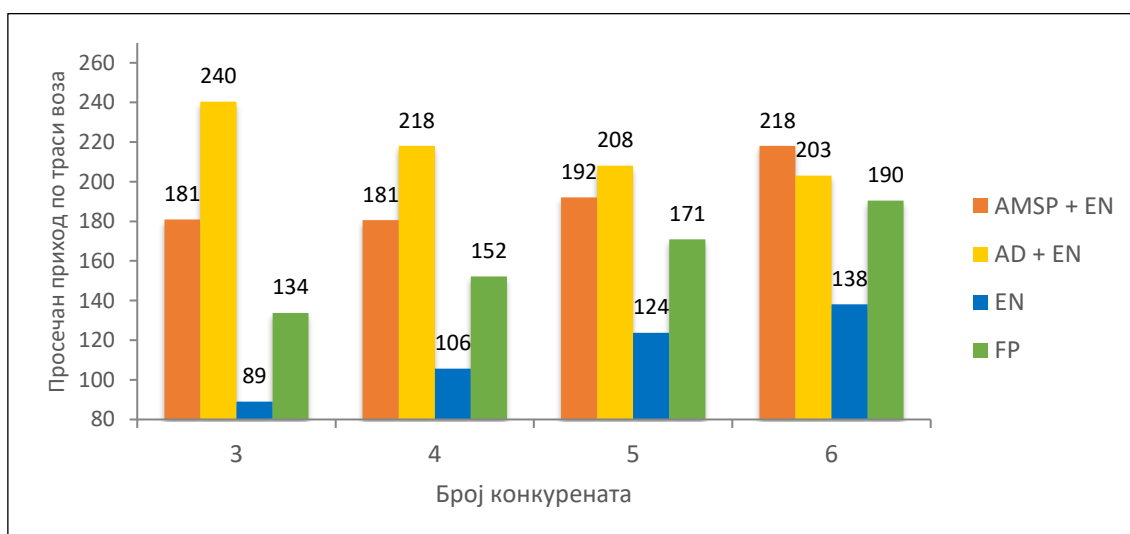
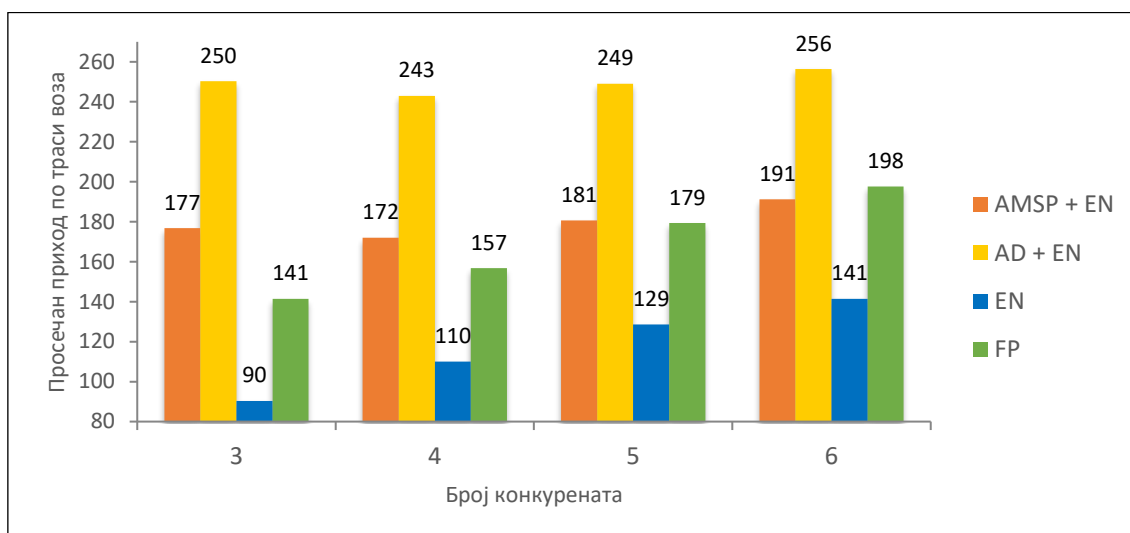
Када се разматра случај потпуно асиметричних превозника, разлика између оствареног прихода управљача инфраструктуре на енглеско-холандској аукцији и Амстердам аукцији се смањује. Амстердам аукција показује добре резултате у првој итерацији серије алокације пакета траса возова када учествује јачи железнички превозник. На слици 21 је дат упоредни приказ просечних прихода и стандардног одступања две хибридне аукције у првој итерацији. Што је асиметрија између учесника већа, то перформансе Амстердам аукције више долазе до изражаја. Међутим, како се вредновања превозника у наредним итерацијама смањују, тако да попуст који се додељује на Амстердам аукцији мање стимулише симетричне железничке превознике да достављају више понуде и приход управљача инфраструктуре опада. Резултати симулације упућују на закључак да својство додељивања попушта (или премије) код Амстердам аукције долази до изражаја под условом да се на аукцији надмећу превозници подељени у више од две категорије асиметрије (нпр. најјачи, јачи и слабији учесници). Имајући то у виду, Амстердам аукција ће вероватно донети још веће приходе.



Слика 21 Просечан остварени приход од продаје траса возова на аукцијама у првој итерацији са укљученим ефектом стварања картела

Аукције различито реагују на мањи број асиметричних учесника на аукцијама, што је приказано на слици 22. Како се смањује број учесника на аукцији тако се приход линеарно смањује на стандардним аукцијама у оба случаја асиметрије између железничких превозника. Ово је директна последица мањег утицаја ефекта стварања картела како се смањује број превозника који учествује на тржишту. Енглеско-холандска аукција задржава доминантну позицију без обзира на број учесника када се надмећу слабо асиметрични лицитанти и када на аукцији учествује мањи број потпуно асиметричних превозника (до четири). Као што се види на слици 20, највећу разлику у висини прихода над осталим аукцијама, енглеско-холандска аукција остварује у првој итерацији. Што се тиче Амстердам аукције, она даје боље резултате од затворене аукције по највишој цени када учествују до четири слабо асиметричних железничка превозника. Са повећањем броја учесника, Амстердам аукција заостаје за затвореном аукцијом по највишој цени. Код потпуно асиметричних превозника, ситуација је другачија па приход на Амстердам аукцији опада спорије како се смањује број учесника на аукцији у поређењу са стандардним аукцијама. Међутим, у случају потпуно асиметричних

учесника, Амстердам аукција показује најбоље резултате тек када је број учесника већи од пет јер у том случају остварује највиши приход у поређењу са осталим аукцијама.



Слика 22 Просечно остварени приход по продатој траси воза за различити број железничких превозника када су они слабо асиметрични (горе) и када су потпуно асиметрични (доле) са укљученим ефектом стварања картела

7.5.3 Сумирање добијених резултата

Сумирајући наведене резултате и пратећу дискусију, може се закључити да стандардне аукције нису толико успешне у реалнијим условима надметања

који су предвиђени у моделу. Како је вероватноћа стварања картела висока на оним тржиштима која су у релативно раној фази развоја, дослух између учесника на аукцијама за трасе које би се одржавале на годину дана је извештан. Хибридне аукције, које су отпорније на стварање картела показале су променљиве резултате. Амстердам аукција се показала као најбоље решење када на аукцији учествује већи број железничких превозника и када на њој учествује јачи превозника. Ипак, може се рећи да енглеско-холандска аукција генерално представља најбољи избор за управљача инфраструктуре (Stojadinović et al., 2019b). У условима када учествује релативно мали број асиметричних конкурената, перформансе које остварује енглеско-холандска аукција јој дају кључну предност у односу на остале аукције у овој фази развоја железничког тржишта. Такође, показало се да хибридне аукције у комбинацији са енглеском аукцијом остварује веће приходе али уз веће стандардно одступање од аукције по највишој цени. Међутим, с обзиром да перформансе аукције у великој мери варирају када се мењају услови у којима се одвија аукција, управљач инфраструктуре би морао добро да истражи тржиште и међусобни однос између учесника како би одредио која врста аукција би била најбоља у појединој ситуацији.

8. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРАВЦИ БУДУЋИХ ИСТРАЖИВАЊА

8.1 Закључна разматрања

Иако је тржиште железничких услуга у Европи званично отворено пре више од 25 година, алокација траса возова се и даље одвија на традиционалан начин према дефинисаним приоритетима услуга превоза. То значи да приликом израде реда вожње (алокације капацитета), услуге превоза вишег ранга имају предност над услугама превоза нижег ранга, без обзира на тржишно вредновање.

Да би се повећала ефикасност алокације траса возова, транспарентност у процедури доделе траса и како би ред вожње био одраз захтева тржишта потребно је прећи на тржишни приступ алокације. У дисертацији су решена два основна проблема која подржавају тржишни приступ: (1) формулисање алгоритма за доделу траса возова базираном на децентрализованом концепту алокације, и (2) избор врсте погодне врсте аукције с обзиром на специфичности железничког тржишта.

У дисертацији је формулисан нови алгоритам за алокацију траса возова који решава проблем конфликтне потражње. Један од начина решавања конфликтне потражње које се предвиђа у алгоритму јесте коришћење аукција. Алгоритам је формулисан кроз анализу два супротстављена концепта – централизована и децентрализована алокација траса возова. На основу те анализе формулисани су одређени критеријуми према којим је дизајниран нови алгоритам. Предложени критеријуми представљају резултат сублимације општих карактеристика децентрализованог концепта, специфичности трасе воза као ресурса за алокацију и закључака изнесених на основу прегледа релевантне литературе. Уз то, дизајнирани

алгоритам ублажава неке негативне особине аукција као што је *win/lose* ситуација за превознике, убрзава процедуру његовог разрешења у поређењу са садашњом процедуром дефинисаном у директиви 2012/32/EУ и иницира коришћење одређене врсте аукције само у случају постојања конфликта.

Други проблем који је решен у дисертацији јесте одабир врсте аукције узимајући у обзир околности у којима се алокација траса одвија. Избор врсте аукције за продају траса представља један од основних проблема са којим би се управљач инфраструктуре суочио у тренутку преласка на тржишни начин алокације капацитета. Преглед релевантне литературе указује да хибридне аукције више доприносе повећању конкуренције железничких превозника и умањују ефекат удруживања превозника у картел у односу на стандардне типове аукција. Перформансе аукција су испитиване коришћењем симулационог модела за тестирање и упоређивање перформанси две хибридне (енглеско-холандска и Амстердам аукција са премијом) и две стандардне аукције (енглеска и затворена аукција по највишој цени).

Симулациони модел је базиран на коришћењу равнотежних стратегија железничких превозника приликом одређивања њихових понуда за трасе возова на аукцији. Поред тога, модел који је развијен узима у обзир специфичности и структуру железничког тржишта који се односе на релативно мали број конкурентних превозника, њихову асиметричност и могућност удруживања у картел. Поред тога, модел омогућује симулацију надметања превозника са различитим склоностима и потребама у погледу формулисања захтева за трасом.

Железничко тржиште у готово свакој држави Европе карактерише асиметричност превозника, односно надметање једног доминантног

превозника и више мањих, релативно нових, превозника. Поред тога, процедура алокације траса возова се организује једном годишње и због тога што тренутно на тржишту постоји релативно мали број конкурената који се међусобно познају, постоји реална могућност њиховог удруживања у картел. Резултати симулације су показали да у тим условима, хибридне аукције представљају бољи избор од стандардних јер доносе стабилнији приход управљачу инфраструктуре у било ком односу између железничких превозника (симетрични, слабо асиметрични и потпуно асиметрични). У највећем броју сценарија, тестирања су показала да енглеско-холандска аукција посебно постиже најбоље резултате, јер доноси највиши приход управљачу инфраструктуре уз релативно нижи степен стандардног одступања. Према резултатима симулације, стварање картела између учесника на стандардним аукцијама смањује просечан приход управљача инфраструктуре за око 44% на енглеској, односно 21% на затвореној аукцији по највишој цени у односу на хибридне аукције. Амстердам аукција са премијом по другој највишој цени представља најбољи избор за управљача инфраструктуре када је број превозника већи од пет и ако између њих постоји изражена асиметрија.

Генерално гледано, било који аукциони механизам у себи садржи поједине несавршености. Узимајући у обзир специфичности железничког сектора, примена аукција као тржишног механизма у алокацији траса возова доводи до бројних контроверзи. Ипак уз поједина ограничења, закључак је да на деловима инфраструктуре где постоји већа потражња од расположивог капацитета примена аукција у алокацији траса представља боље решење од садашњег начина алокације капацитета.

На крају, објективно гледано, аукције за алокацију траса возова ће сачекати још неко време за имплементацију због неспремности главних учесника, пре свега управљача инфраструктуре и регулаторних тела, као и отпора

историјских железничких превозника који не желе да препусте велики број наслеђених траса возова из времена монопола. Може се рећи да постоји и психолошки проблем примене аукција у Европи због тога што уноси једну дозу неизвесности у исход доделе капацитета железничке инфраструктуре. Други, можда и најважнији, разлог отежане примене аукција јесте сама природа железнице као високо регулисаног мрежног система коју карактерише комплексност и висока међузависност технолошких операција. То је истовремено био и главни изазов ове дисертације која је требала да обједини и помири захтеве примене аукција и наслеђене технологије рада у додели траса возова.

Посматрајући шири контекст проблема у којем би се аукциона продаја траса возова остваривала, на основу истраживања спроведеног у дисертацији могу се навести и додатни закључци:

- ✓ Примена аукција као инструмента за редуковање потражње за капацитетом инфраструктуре на загушеним деоницама се може посматрати више као **привремена а не као перманентна мера**. Коришћењем аукционог механизма даје се могућност тржишту да одређује цену приступа капацитету инфраструктуре који тренутно недостаје све до тренутка проширења капацитета. С обзиром на дужи временски период изградње додатних капацитета железничке инфраструктуре, приход од продаје трасе возова путем аукција се може искористити за убрзање проширења капацитета.
- ✓ Коришћењем децентрализованог начина алокације траса возова **може се тачно одредити на којим местима се јавља загушење** због тога што железнички превозници могу слободно да предложе редове вожње на основу стварних потреба крајњих корисника. Према потражњи превозника за капацитетом одређених делова мреже, управљач инфраструктуре може релативно лако да утврди степен

загушења. С обзиром на ниво загушења, ова мера би могла да помогне управљачу инфраструктуре да одреди приоритет у инвестицијама у проширење капацитета.

- ✓ Предложени алгоритам доделе траса возова базиран на децентрализованом концепту алокације би се користио на оним местима на инфраструктури где се **уобичајено јавља већа потражња од расположивог капацитета**. На овим деоницама или пругама би се прво додељивале трасе возова, па тек онда на осталим деловима мреже са мањом потражњом. На основу историјских података броја захтева за трасама и параметара искоришћености пропусне моћи пруге, управљачи инфраструктуре би требало да одреде редослед додељивања траса у секвенцама.
- ✓ **Потпуна примена тржишног механизма није могућа** због великог броја услуга из обавезе јавног превоза које су у великом обиму присутне у земљама ЕУ. Због тога би критеријум приоритета према услузи превоза требало задржати у ограниченим периодима у току дана када постоји висока потражња за услугом из обавезе јавног превоза путника. На тај начин би се пронашао компромис између друштвено пожељних услуга и тржишних услуга, са циљем да се одржи ниво друштвеног благостања.

Посматрајући садашњу динамику развијања железничког тржишта, као и препреке које успоравају раст конкурентности између превозника, долази се до закључка да је процедуру за доделу капацитета железничке инфраструктуре неопходно „ресетовати“. Како се налазимо на прагу потпуне либерализације европског железничког тржишта услуга превоза путника (2019) и робе (2018), биће неопходан нови механизам алокације траса возова. У том погледу, у дисертацији се предлаже примена хибридних аукција, који за разлику од сложенијих комбинаторних аукција, користити

аукционе механизме на којима је учесницима једноставније праћење тока аукције и одређивање оптималних понуда, уз уважавање несавршености и специфичности (конкретног) железничког тржишта. Заједно са предлогом новог алгорита за алокацију траса возова коришћењем децентрализованог приступа, у дисертацији се предлаже пакет мера који би помогао управљачу инфраструктуре за решавање једног од важнијих проблема у железничком сектору ЕУ.

8.2 Правци будућих истраживања

1. Хибридне аукције су дизајниране пре свега за продају појединачних предмета или права када су вредновања приватна. Њихова употреба у железничком саобраћају тиме није лимитирана већ би се оне без посебног прилагођавања могле користити на другим проблемима алокације на железници. Један од њих јесте продаја појединачних траса возова на коридорима. То је посебно изражено на међународним *RNE* теретним коридорима, где је процедура алокације капацитета дужа него у унутрашњем саобраћају због координације више управљача инфраструктуре, и где већ постоје притисци теретних железничких превозника за променом критеријума начина алокације капацитета. За трасе на међународним теретним коридорима би се надметало неколико историјских и мањих али профилисаних теретних превозника за одређене врсте услуге, где би Амстердам аукција по другој највишој цени потенцијално показала добре резултате.
2. Приликом примене децентрализованог начина алокације траса возова, железнички превозници сада преузимају на себе обавезу да конструишу иницијални предлог реда вожње у складу са потребама крајњих корисника, као и одређени број алтернатива. Ове

активности железничких превозника могу да генеришу високе трансакционе трошкове, што може додатно да оптерети релативно мале железничке превознике који су нови учесници на тржишту, чиме би се довела у питање њихова конкурентност. Од одабране врсте аукције, примењеног алгоритма алокације и уведених ограничења зависи висина трансакционих трошкова, што доводи до питања колико би овакав процес коштао учеснике.

3. Примена тржишног механизма алокације капацитета инфраструктуре фаворизује услуге које је тржиште спремно више да плати. То би последично могло да доведе до маргинализовања великог броја услуга које нису тржишно исплативе, а које се финансирају из буџета (услуге обавезе јавног превоза). Истраживање на тему умањења државног благостања коришћењем „невидљиве руке тржишта“ за конструисање реда вожње може помоћи у отклањању сумњи у примени аукционог механизма за доделу траса возова.

ЛИТЕРАТУРА

- Aćimović, S. et al., 2010. *Ekonomski rečnik*, 3. izdanje. ed. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta u Beogradu, Beograd, Srbija.
- Affuso, L., 2003. Auctions of rail capacity? *Utilities Policy* 11, 43–46.
- Alexandersson, G., 2009. Rail privatization and competitive tendering in Europe. *Built Environment* 35, 43–58.
- Amaral, M., Thiebaud, J.-C., 2014. Vertical Separation in Rail Transport: How Do Prices Influence Coordination? *Network Industries Quarterly* 16, 15–17.
- Ausubel, L.M., 2004. An Efficient Auction for Multiple Objects. *The American Economic Review* 94, 1452–1475.
- Ausubel, L.M., Cramton, P., Milgrom, P., 2006. The Clock-Proxy Auction: A Practical Combinatorial Auction, in: Cramton, P., Shoham, Y., Richard, S. (Eds.), *Combinatorial Auctions*. MIT Press, pp. 115–138.
- Azacis, H., Burguet, R., 2008. Incumbency and entry in license auctions: The Anglo-Dutch auction meets another simple alternative. *International Journal of Industrial Organization* 26, 730–745.
- Bablinski, K., 2016. A Game-based Analysis of Freight Paths Allocation with a Case Study on Great Britain Brighton Main Line. *Transportation Research Procedia* 13, 196–208.
- Ball, M.O., Bernardino, F., Hansen, M., 2018. The use of auctions for allocating airport access rights. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 114, 186–202.
- Bassanini, A., La Bella, A., Nastasi, A., 2002. Allocation of Railroad Capacity Under Competition: A Game Theoretic Approach to Track time Pricing, in: Gendreau, M., Marcotte, P. (Eds.), *Transportation and Network Analysis*:

- Current Trends. Springer, Boston, MA, pp. 1–17.
- Basso, L.J., Zhang, A., 2010. Pricing vs. slot policies when airport profits matter. *Transportation Research Part B: Methodological* 44, 381–391.
- Bergantino, A.S., Capozza, C., Capurso, M., 2015. The impact of open access on intra- and inter-modal rail competition. A national level analysis in Italy. *Transport Policy* 39, 77–86.
- Beria, P., Quinet, E., de Rus, G., Schulz, C., 2012. A comparison of rail liberalisation levels across four European countries. *Research in Transportation Economics* 36, 110–120.
- Bichler, M., Goeree, J.K., 2017. Frontiers in spectrum auction design. *International Journal of Industrial Organization* 50, 372–391.
- Borndörfer, R., Grötschel, M., Lukac, S., Mitusch, K., Schlechte, T., Schultz, S., Tanner, A., 2006. An auctioning approach to railway slot allocation. *Competition and Regulation in Network Industries* 1, 163–197.
- Borndörfer, R., Mura, A., Schlechte, T., 2009. Vickrey Auctions for Railway Tracks, in: *Operations Research Proceedings 2008*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 551–556.
- Brewer, P.J., Plott, C.R., 1996. A binary conflict ascending price (BICAP) mechanism for the decentralized allocation of the right to use railroad tracks. *International Journal of Industrial Organization* 14, 857–886.
- Brueckner, J., 2008. Slot-based approaches to airport congestion management.
- Brunner, C., Hu, A., Oechssler, J., 2014. Premium auctions and risk preferences: An experimental study. *Games and Economic Behavior* 87, 467–484.
- Bugarinović, M., 2014. Modeliranje naknada za korišćenje železničke infrastrukture. Doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- Burdett, R.L., Kozan, E., 2010. A disjunctive graph model and framework for

- constructing new train schedules. *European Journal of Operational Research* 200, 85–98.
- Caprara, A., Kroon, L., Monaci, M., Peeters, M., Toth, P., 2007. Passenger Railway Optimization, in: *Handbooks in Operations Research and Management Science*. pp. 129–187.
- CER, 2017. *Public Service Rail Transport in the European Union: An Overview*. Brussels.
- Coase, R.H., 1959. The Federal communications commission. *Journal of Law and Economics* 2, 1–40.
- Coopers, Lybrand, 1993. Appendix to the Report for the Committee 'Increased Competition within the Railway Sector – Review of Proposals.'
- Cramton, P., 2013. Spectrum Auction Design. *Review of Industrial Organization* 42, 161–190.
- Crozet, Y., 2014. Development of rail freight in Europe: What regulation can and cannot do - Policy Paper.
- Drew, J., Ludewig, J. (Eds.), 2011. *Reforming Railways - Learning from Experience*, 2nd ed. DVV Media Group GmbH, Eurailpress, Hamburg, Germany.
- Driessen, G., Lijesen, M., Mulder, M., 2006. The impact of competition on productive efficiency in European railways, CPB Discussion Paper. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
- Dutra, J.C., Menezes, F.M., 2002. Hybrid auctions. *Economics Letters* 77, 301–307.
- European Commission, 2016. Regulation (EU) 2016/545 of 7 April 2016 on procedures and criteria concerning framework agreements for the allocation of rail infrastructure capacity.
- European Commission, 2014. Fourth report on monitoring development of the rail market. Brussels.

- European Commission, 2012. Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 on the establishing a single European railway area (recast).
- Gibson, S., 2003. Allocation of capacity in the rail industry. *Utilities Policy* 11, 39–42.
- Goeree, J.K., Offerman, T., 2003. Notes and Comments the Amsterdam Auction. *Econometrica* 72, 281–294.
- Graham, D.A., Marshall, R.C., 1987. Collusive Bidder Behavior at Single-Object Second-Price and English Auctions. *Journal of Political Economy* 95, 1217–1239.
- Grether, B.D.M., Isaac, R.M., Plott, C.R., 1981. The Allocation of Landing Rights by Unanimity Among Competitors. *The American Economic Review* 71, 166–171.
- Harrod, S., 2013. Auction pricing of network access for North American railways. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 49, 176–189.
- Harsanyi, J.C., 1967. Games with Incomplete Information Played by “Bayesian” Players, I–III Part I. The Basic Model. *Management Science* 14, 159–182.
- Helm, D., 2003. Auctions and energy networks. *Utilities Policy* 11, 21–25.
- Herranz, R., Ramirez, M., Alsina, N., Castelli, L., 2015. Price-setting auctions for airport slot allocation: A multi-airport case study, in: *Fifth SESAR Innovation Days*, 1st – 3rd December 2015. pp. 1–8.
- Hu, A., Offerman, T., Onderstal, S., 2011a. Fighting collusion in auctions: An experimental investigation. *International Journal of Industrial Organization* 29, 84–96.
- Hu, A., Offerman, T., Zou, L., 2018. How Risk Sharing may Enhance Efficiency of English Auctions. *Economic Journal* 128, 1235–1256.

- Hu, A., Offerman, T., Zou, L., 2011b. Premium auctions and risk preferences. *Journal of Economic Theory* 146, 2420–2439.
- Isacsson, G., Nilsson, J.-E., 2003. An Experimental Comparison of Track Allocation Mechanisms in the Railway Industry. *Journal of Transport Economics and Policy* 37, 353–382.
- Jansson, K., Lang, H., 2013. Rail infrastructure charging EU-directive, Swedish concerns and theory. *Research in Transportation Economics* 39, 285–293.
- Klabes, S.G., 2010. Algorithmic railway capacity allocation in a competitive European railway market. Phd thesis. RWTH Aachen University.
- Klemperer, P., 2004. *Auctions: Theory and practice*. Princeton University Press.
- Klemperer, P., 2002a. What really matters in auction design. *Journal of Economic Perspectives* 16, 169–189.
- Klemperer, P., 2002b. How (not) to run auctions: The European 3G telecom auctions. *European Economic Review* 46, 829–845.
- Klemperer, P., 1999. Auction Theory: A Guide to the Literature. *Journal of Economics Surveys* 13, 227–286.
- Kozan, E., Burdett, R., 2005. A railway capacity determination model and rail access charging methodologies. *Transportation Planning and Technology* 28, 27–45.
- Krishna, V., 2010. *Auction theory*, 2nd ed. Elsevier.
- Lalive, R., Schmutzler, A., Zulehner, C., 2015. Auctions vs Negotiations in Public Procurement: Which Works Better? *SSRN Electronic Journal* 1–20.
- Landex, A., Nielsen, O.A., 2012. Network effects in railways, in: Brabbia, C.A., Tomii, N., Mera, J.M., Ning, B., Tzieropoulos, P. (Ed.), *Computers in Railways XIII: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems*. WIT Press, pp. 391–402.
- Levin, D., Ye, L., 2008. Hybrid auctions revisited. *Economics Letters* 99, 591–594.

- Levy, S., Peña-Alcaraz, M., Prodan, A., Sussman, J.M., 2015. Analyzing Financial Relationship between Railway Industry Players in Shared Railway Systems. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2475, 27–36.
- Link, H., 2016. A Two-stage Efficiency Analysis of Rail Passenger Franchising in Germany. *Journal of Transport Economics and Policy* 50, 76–92.
- Luan, X., Corman, F., Meng, L., 2017. Non-discriminatory train dispatching in a rail transport market with multiple competing and collaborative train operating companies. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 80, 148–174.
- Maldoom, D., 2003. Auctioning capacity at airports. *Utilities Policy* 11, 47–51.
- Maskin, E., Riley, J., 2000. Asymmetric Auctions. *The Review of Economic Studies* 67, 413–438.
- Matthews, B., Evangelinos, C., Johnson, D., Meunier, D., 2009. Impacts and incentives of differentiated rail infrastructure charges in Europe - focus on freight. *European Transport* 43, 83–112.
- McAfee, P., McMillan, J., 1992. Bidding rings. *American Economic Association* 82, 579–599.
- McDaniel, T., 2003. Auctioning access to networks: Evidence and expectations. *Utilities Policy* 11, 33–38.
- Milgrom, P.R., 2004. Putting auction theory to work. Cambridge University Press.
- Mulder, M., Lijesen, M., Cpb, G.D., 2005. Vertical separation and competition in the Dutch rail industry: A cost-benefit analysis. *Third Conference on Railroad Industry Structure, Competition, and Investments* 1–32.
- Myerson, R.B., 1981. Optimal auction design. *Mathematics of Operations Research* 6, 58–73.

- Nash, C., 2005. Rail infrastructure charges in Europe. *Journal of Transport Economics and Policy* 39, 259–278.
- Newbery, D.M., 2003. Network capacity auctions: Promise and problems. *Utilities Policy* 11, 27–32.
- Nilsson, J.-E., 2015. Congestion and scarcity in scheduled transport modes, in: Nash, C. (Ed.), *Handbook of Research Methods and Applications in Transport Economics and Policy*. Edward Elgar Publishing, Inc., Northampton, USA, pp. 134–153.
- Nilsson, J.-E., 2002. Towards a welfare enhancing process to manage railway infrastructure access. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 36, 419–436.
- Nilsson, J.-E., 1999. Allocation of track capacity. *International Journal of Industrial Organization* 17, 1139–1162.
- Onderstal, S., 2017. Premium Auctions in the Field, Working paper.
- Osborne, M.J., 2003. *An Introduction to Game Theory*. Oxford University Press.
- Pachl, J., 2009. *Railway Operation and Control*, 2nd ed. VTD Rail Publishing, Mountlake Terrace, USA.
- Parkes, D.C., Ungar, L.H., 2000. Iterative combinatorial auctions: Theory and practice, in: *Proceedings of the 17th National Conference on Artificial Intelligence AAAI-00*. Austin, Texas, U.S., pp. 74–81.
- Pellegrini, P., Rodriguez, J., 2013. Single European Sky and Single European Railway Area: A system level analysis of air and rail transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 57, 64–86.
- Peña Alcaraz, M., 2015. *Analysis of Capacity Pricing and Allocation Mechanisms in Shared Railway Systems*. Phd thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Perennes, P., 2017. *Open Access for Rail Passenger Services in Europe: Lesson*

- Learnt from Forerunner Countries. *Transportation Research Procedia* 25, 358–367.
- Perennes, P., 2014. Use of combinatorial auctions in the railway industry: Can the “invisible hand” draw the railway timetable? *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 67, 175–187.
- Pertuiset, T., Santos, G., 2014. Primary auction of slots at European airports. *Research in Transportation Economics* 45, 66–71.
- Preston, J., 2016. Deja Vu all over again? Rail franchising in Britain. *Research in Transportation Economics* 59, 107–115.
- Quinet, E., 2003. Short term adjustments in rail activity: the limited role of infrastructure charges. *Transport Policy* 10, 73–79.
- Rassenti, S.J., Smith, V.L., Bulfin, R.L., 1982. A Combinatorial Auction Mechanism for Airport Time Slot Allocation. *The Bell Journal of Economics* 13, 402–417.
- Riley, J.G., Samuelson, W.F., 1981. Optimal Auctions. *The American Economic Review* 71, 381–392.
- Robinson, M.S., 1985. Collusion and the Choice of Auction. *The RAND Journal of Economics* 16, 141–145.
- Schlechte, T., 2012. Railway Track Allocation: Models and Algorithms. Phd thesis. Technischen Universitat Berlin.
- Sentance, A., 2003. Airport slot auctions: desirable or feasible? *Utilities Policy* 11, 53–57.
- Stern, J., Turvey, R., 2003. Auctions of Capacity in Network Industries. *Utilities Policy* 11, 1–8.
- Stiglitz, J.E., 2008. *Economics of the Public Sector*, 3rd ed. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta u Beogradu.
- Stojadinovic, N., Boskovic, B., 2016a. Train path allocation on congested railway

- infrastructure – Is a service priority criteria limiting development of competition?, in: Proceedings of XVII Scientific-Expert Conference on Railways RAILCON '16. Nis, Serbia, pp. 209–212.
- Stojadinovic, N., Boskovic, B., 2016b. Controversies concerning centralized and decentralized approach for allocation of the railway infrastructure capacity, in: Proceedings – First International Conference “Transport for Today’s Society.” Bitola, North Macedonia, pp. 436–443.
- Stojadinovic, N., Boskovic, B., Bugarinovic, M., 2016. Train path performances and capacity allocation: What is actually the object of transactions in the liberalized railway market?, in: Proceedings of 20th International Scientific Conference Transport Means 2016. Juodkrante, Lithuania, pp. 735–740.
- Stojadinović, N., Bošković, B., Bugarinović, M., 2019a. Bridging the gap between infrastructure capacity allocation and market-oriented railway: An Algorithmic approach. *Transport* 34, 1–14.
- Stojadinović, N., Bošković, B., Trifunović, D., Janković, S., 2019b. Train path congestion management: Using hybrid auctions for decentralized railway capacity allocation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 129, 123–139.
- Stojanović, B., 2005. *Teorija igara - Elementi i primena*. Institut za evropske studije, Službeni glasnik, Beograd, Srbija.
- Strandenes, S.P., Wolfstetter, E., 2005. Efficient (re-)scheduling: An auction approach. *Economics Letters* 89, 187–192.
- Talebian, A., Zou, B., Peivandi, A., 2018. Capacity allocation in vertically integrated rail systems: A bargaining approach. *Transportation Research Part B: Methodological* 107, 167–191.
- Teodorović, D., Triantis, K., Edara, P., Zhao, Y., Mladenović, S., 2008. Auction-based congestion pricing. *Transportation Planning and Technology* 31, 399–416.

- Thompson, L.S., 2005. Railway Reform and Charges for the Use of Infrastructure. OECD Publishing, Paris, France.
- Trifunovic, D., 2010. Optimal auction mechanisms with private values. Economic Annals 15, 71-112.
- Trifunović, D., 2012. Aukcije (Auctions), 1st ed. Faculty of Economics - University of Belgrade, Belgrade, Serbia.
- Trifunović, D., 2011. Single object auctions with interdependent values. Economic Annals 56, 125-169.
- Trifunović, D., Ristić, B., 2013. Multi-unit auctions in the procurement of electricity. Economic Annals 58, 47-77.
- Van Bochove, C., Boerner, L., Quint, D., 2012. Anglo-Dutch premium auctions in eighteenth-century Amsterdam.
- Varian, H.R., 2010. Intermediate Microeconomics - A Modern Approach, 7th ed. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta u Beogradu.
- Vickrey, W., 1961. Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders. Journal of Finance.
- Yarrow, G., 2003. Capacity auctions in the UK energy sector. Utilities Policy 11, 9-20.

Речник појмова

Асиметрична информисаност (*asymmetric information*) – представља појам за различит обим информација који је доступан различитим појединцима у економском односу или размени.

Асиметрични и симетрични лицитанти (*asymmetric and symmetric bidders*) – лицитанти који имају различите функције расподеле за вредности које додељују предметима или имају исту функцију расподеле али расподељену на различитим интервалима. Код симетричних лицитаната су њихов вредности расподељене у складу са истом функцијом расподеле и на истом интервалу.

Аукција (*auction*) – представља јавну продају предмета, услуга или права путем надметања односно лицитацијом. Са аспекта теорије игара, аукција се може разумети као формализована процедура преговарања.

Вертикална сепарација (*vertical separation*) – раздвајање делатности управљања железничком инфраструктуром од обављања услуге превоза путника и робе, које обављају различити актери на тржишту. Између осталог, суштинска сепарација између управљача инфраструктуре и железничког превозника подразумева да они између себе не деле информације о потенцијалним и стварним вредностима услуга превоза.

Принципал агент проблем (*principal-agent problem*) – настаје када је агент мотивисан да ради у свом најбољем интересу који се разликује од интереса његовог надређеног. Узрок проблема је што принципал не може да утврди ниво агентовог напора јер на резултат агентовог рада поред напора, утичу и случајни фактори.

Друштвено благостање (*social welfare*) – као појам се економској теорији схвата, као збир потрошачког вишка и профита свих економских актера. Анализа благостања се користи у разматрању степена конкуренције на тржишту и њеног утицаја на потрошачки вишак или друштвено благостање као два критеријума у заштити конкуренције.

Егзогене и ендогене променљиве (*exogenous and endogenous variables*) – означава појам под којим се подразумева екстерно формирање неких променљивих, док су ендогене променљиве оне чије понашање желимо да опишемо моделом. Економским моделом се дефинише веза између ендогених и егзогенних променљивих.

Ефикасност алокације (*allocation efficiency*) – у Паретовом смислу јесте параметар који показује у којој мери је одређени аукциони механизма успешан да одређено добро додели учеснику аукције која највише вреднује предмет.

Извештај о мрежи (*network statement*) – представља документ који садржи општа правила, рокове, процедуре и критеријуме за алокацију капацитета као и све остале информације неопходне железничким превозницима за формулисање захтева за коришћење капацитета железничке инфраструктуре. Поред тога, Извештај о мрежи садржи начин рачунања накнаде за коришћење инфраструктуре и детаљан опис инфраструктуре који је превозници могу да користе.

Историјски железнички превозник (*incumbent*) – односи се на наследнике историјског железничког предузећа, односно оне превознике који су кроз процес реструктурирања настали од некадашњег монополисте. Велика већина ових превозника је и даље у већинском власништву државе.

Загушење железничке инфраструктуре (*infrastructure congestion*) – представља повећану потражњу за трасама на појединим деоницама мреже, када тражња у одређеним временским периодима надмашује расположиви капацитет посматране деонице (економски аспект). Са техничког аспекта до загушења долази у процесу планирања саобраћаја и израде реда вожње када постоје два или више захтева за трасама возова који би користили исти блок-одсек дела инфраструктуре у истом временском периоду.

Оквирни споразум (*framework agreement*) – представља споразум који се склапа између управљача инфраструктуре и железничког превозника који има дугорочна улагања у возни парк. На основу оквирног споразума управљач инфраструктуре се обавезује да ће доделити превознику одређени број траса на једном делу мреже, које ће моћи да користи дуже од једног реда вожње. Оквирним споразумом се омогућава поузданост у дугорочном планирању коришћења капацитета управљача инфраструктуре и планирања транспортне понуде железничких превозника.

Приватна вредност (*private value*) – максимални износ који је лицитант спреман да плати за предмет и који не зависи од приватних вредности других лицитаната.

Траса воза (*train path*) – право железничког превозника да користи одређени капацитет железничке инфраструктуре између две станице на мрежи у одређено време.

Резервациона цена (*reserve price*) – означава цену испод које продавац није спреман да прода предмет.

Теорија игара (*game theory*) – представља математичку теорију и методологију која се користи за анализу и решавање конфликтних ситуација у којима учесници имају супротстављене интересе. Она се користи у економском моделирању да би се описала интеракција између економских актера.

Трансакциони трошкови (*transaction cost*) – настају када предузеће учествује на тржишту, купујући ресурсе и продавајући добра и услуге. Учешће на тржишту, било у улози купца или продавца, није бесплатно и јављају се трошкови тржишних трансакција или трансакциони трошкови. Трансакциони трошкови су трошкови прикупљања информација о предмету размене (цена, квалитет и услови набавке), трошкови преговарања купца и продавца и трошкови да би се постигнути договор испунио. Трансакциони трошкови се минимизирају интернизацијом трансакција. Интернизовање трансакција значи да се оне обављају у предузећу, а не преко тржишта.

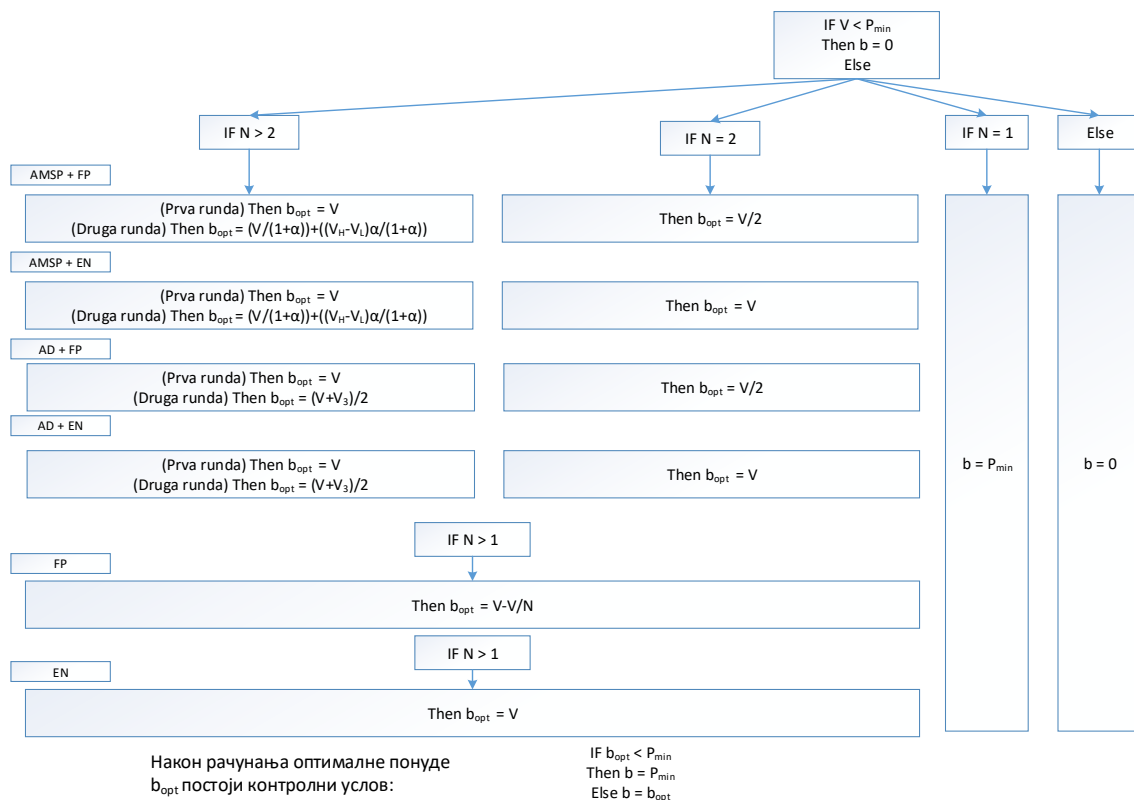
Функција корисности (*value-of-access function*) – представља зависност између захтеваног (од стране превозника) или додељеног (од стране управљача инфраструктуре) времена за полазак или долазак воза по реду вожње и вредновања захтеване трасе воза од стране железничког превозника.

Хибридне аукције (*hybrid auctions*) – означава тип аукције која у којој се комбинују неки од стандардних типова аукције да би се искористила њихова позитивна својства и да се ублаже њихови појединачни недостаци. Овакве аукције се обично састоје из две фазе надметања, где се у првој фази (која је најчешће елиминационог карактера) лицитанти надмећу на једној врсти аукције, док се одређени број лицитаната са највишим понудама из прве фазе надмеће у другој фази на другој врсти аукције.

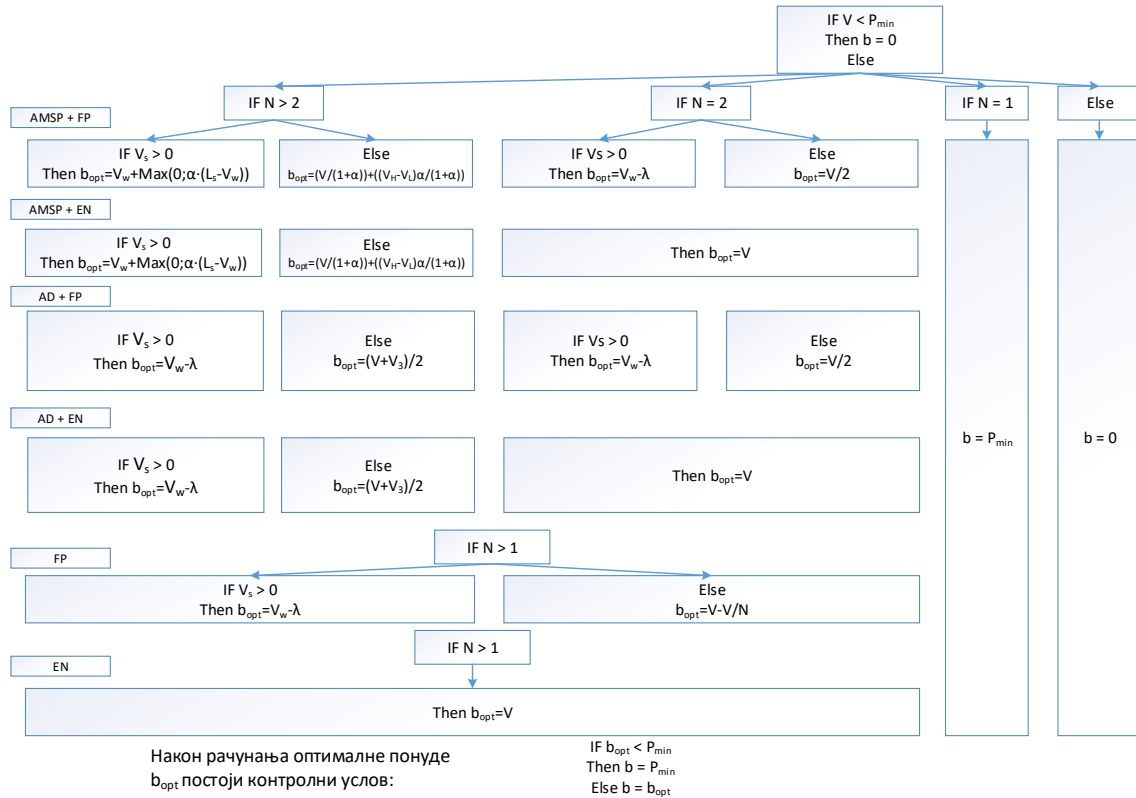
ПРИЛОЗИ

У прилогу су дате шеме избора оптималних понуда на основу којих је развијен софтвер за тестирање коришћених алтернатива у моделу (слике 1-5). Затим су дати прикази командног прозора за унос егзогених величина у софтвер за симулацију исхода експеримента и приказ дела шеме релационе базе података која је посебно развијена за сортирање и анализирање резултата. На крају су дати графикони резултата који нису приказани у тачки 7.5.

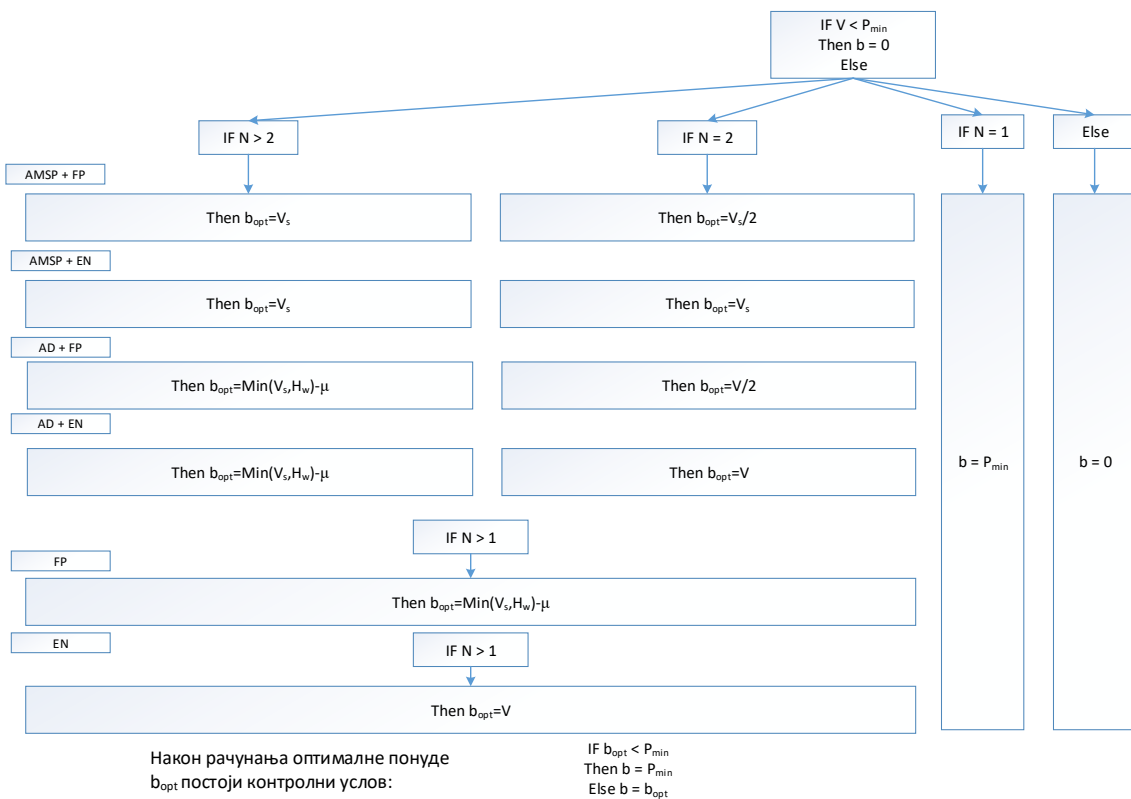
Прилог 1 – Избор оптималних стратегија



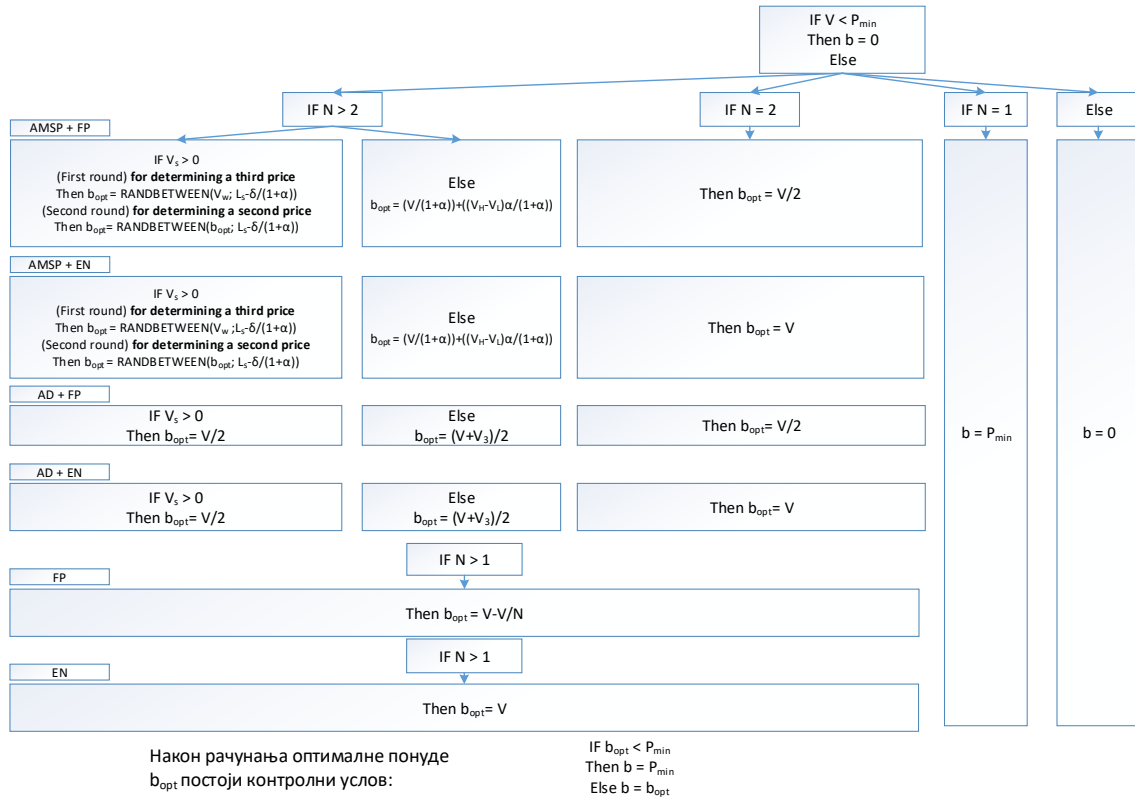
Слика 1 Оптималне понуде свих учесника када су они симетрични у зависности од примењене аукције и броја учесника



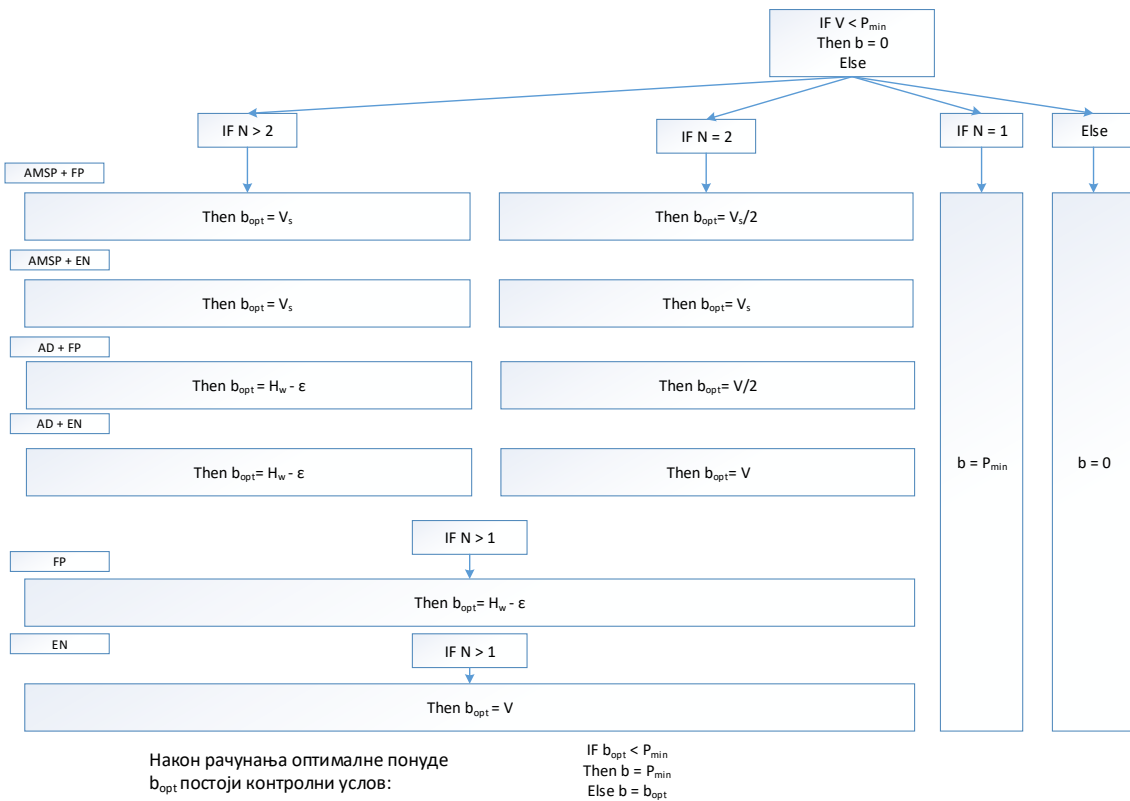
Слика 2 Оптималне понуде слабих учесника када су превозници слабо асиметрични у зависности од примењене аукције и броја учесника



Слика 3 Оптималне понуде јаког учесника када су превозници слабо асиметрични у зависности од примењене аукције и броја учесника



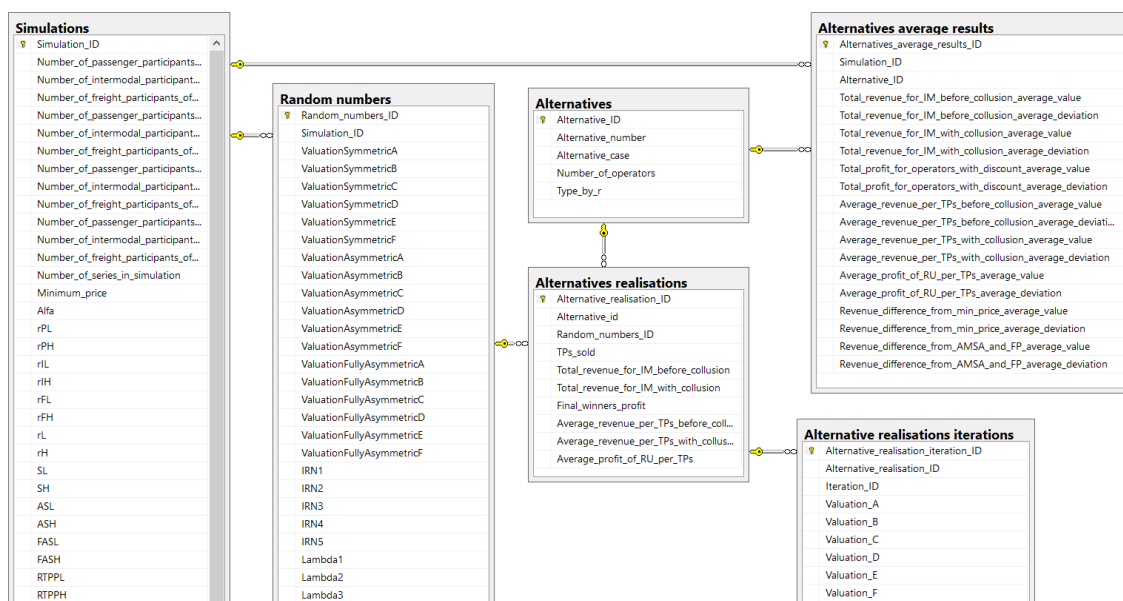
Слика 4 Оптималне понуде слабих учесника када су превозници потпуно асиметрични у зависности од примењене аукције и броја учесника



Слика 5 Оптималне понуде јаког учесника када су превозници потпуно асиметрични у зависности од примењене аукције и броја учесника

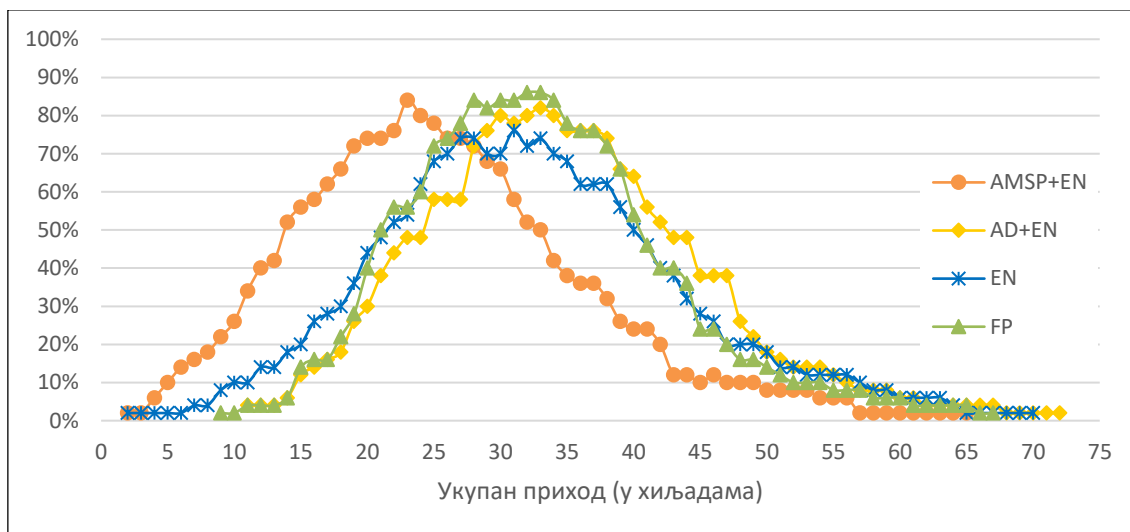
Прилог 2 – Прикази развијених софтверских алата у дисертацији

Слика 6 Приказ командног прозора (интерфејса) за унос улазних параметара у развијену десктоп апликацију за итеративну симулацију аукционих механизма „PISAM“

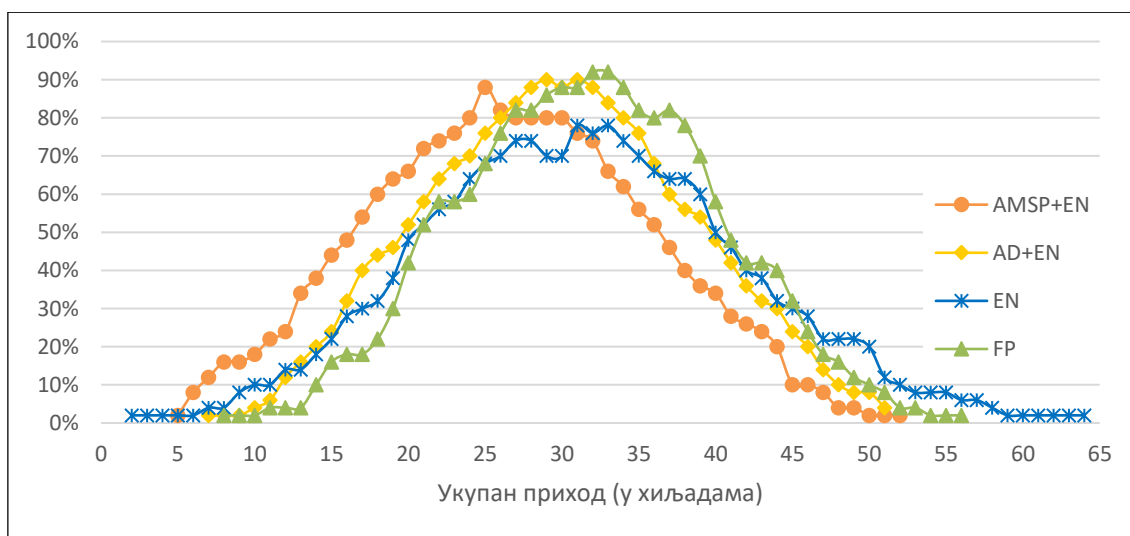


Слика 7 Приказ дела шеме релационе базе података коришћене за симулацију исхода аукционих механизма тестираних у дисертацији

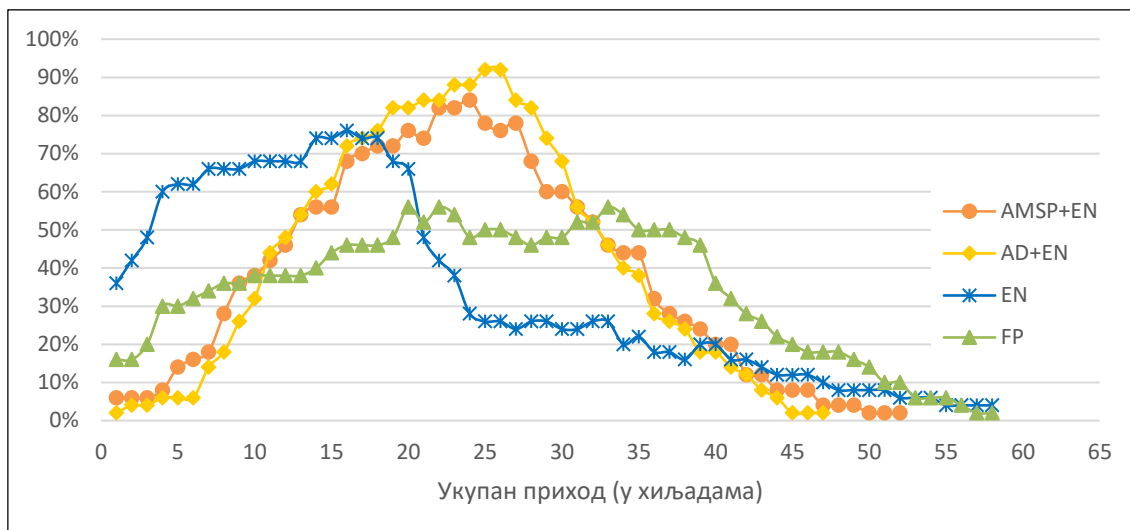
Прилог 3 – Графички прикази осталих добијених резултата



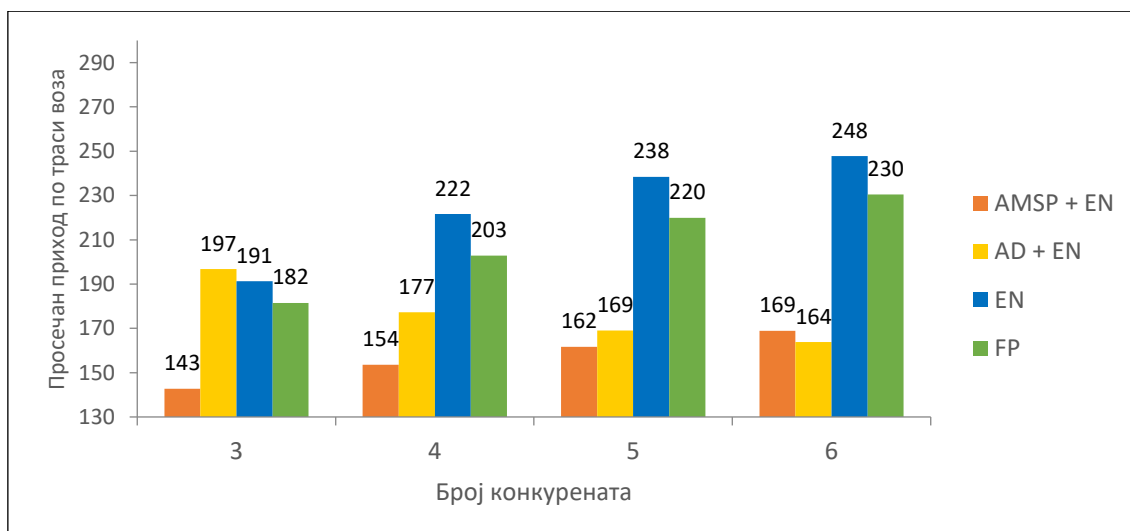
Слика 8 Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања слабо асиметричних превозника и када није укључен ефекат стварања картела



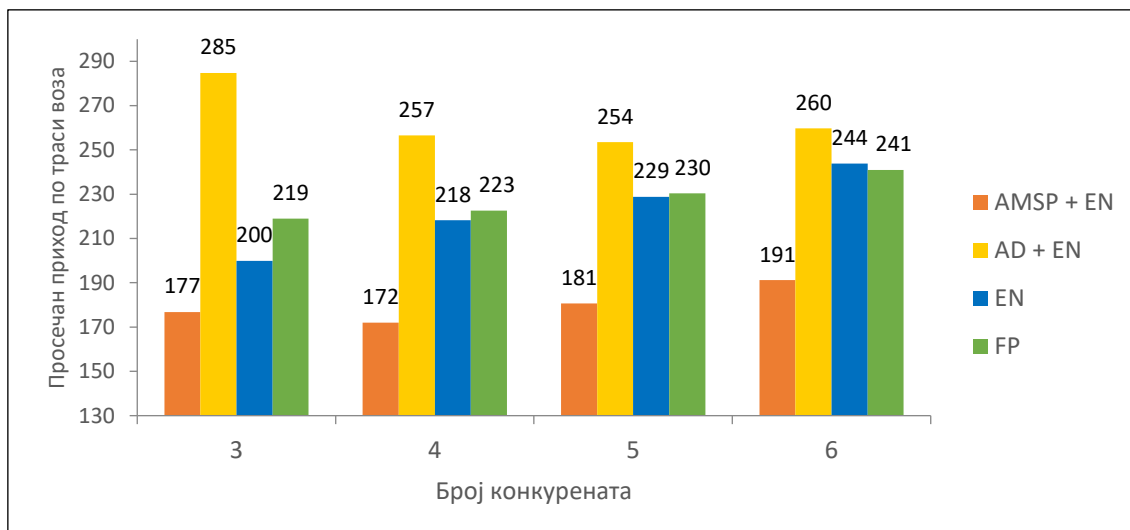
Слика 9 Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања потпуно асиметричних превозника и када није укључен ефекат стварања картела



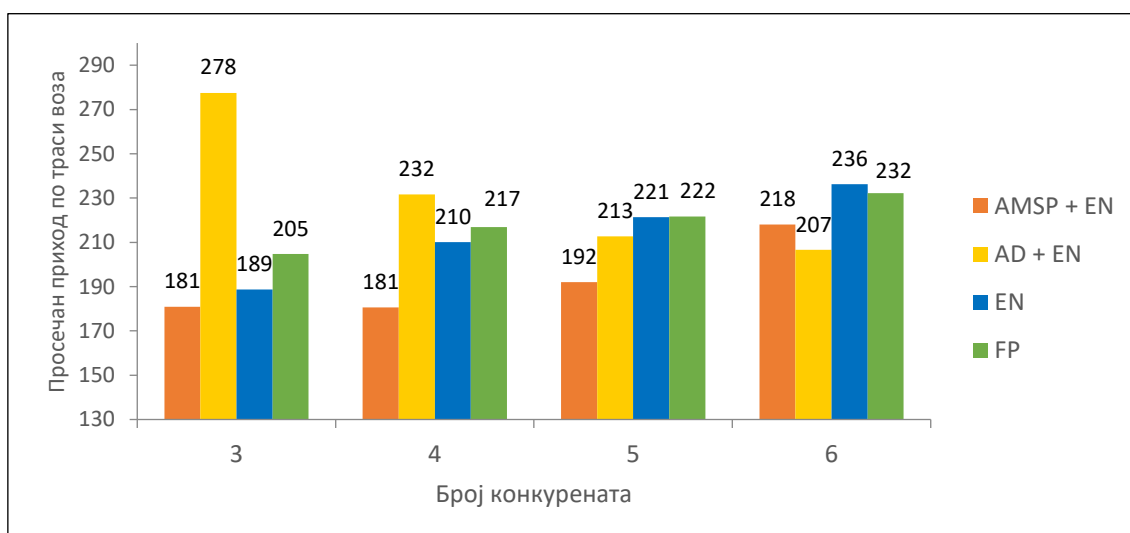
Слика 10 Хистограм расподеле вероватноће укупног прихода управљача инфраструктуре од продаје траса у случају надметања симетричних превозника са укљученим ефектом стварања картела



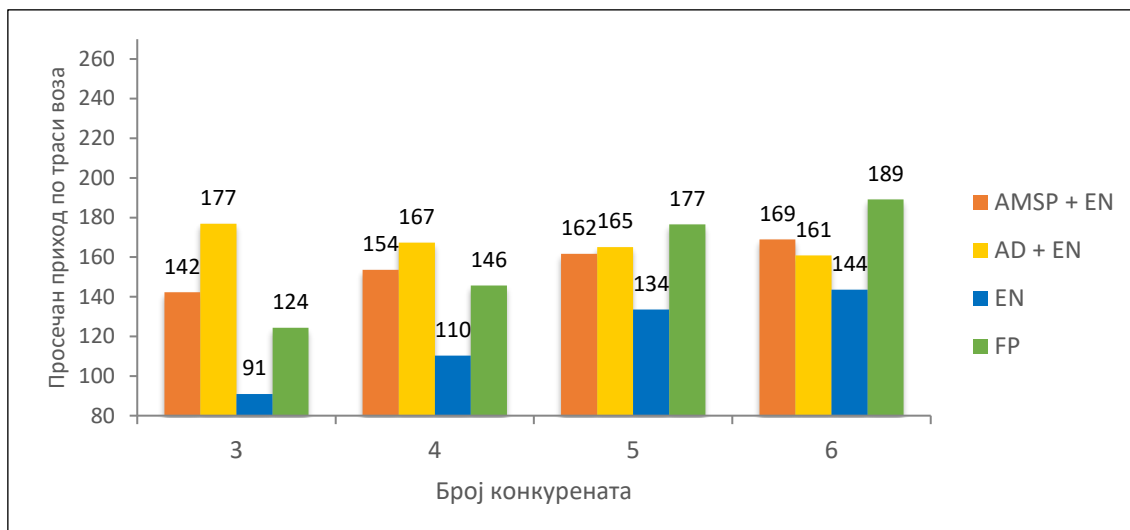
Слика 11 Просечно остварени приход по продатој траси воза за различити број железничких превозника када су они симетрични када није укључен ефекат стварања картела



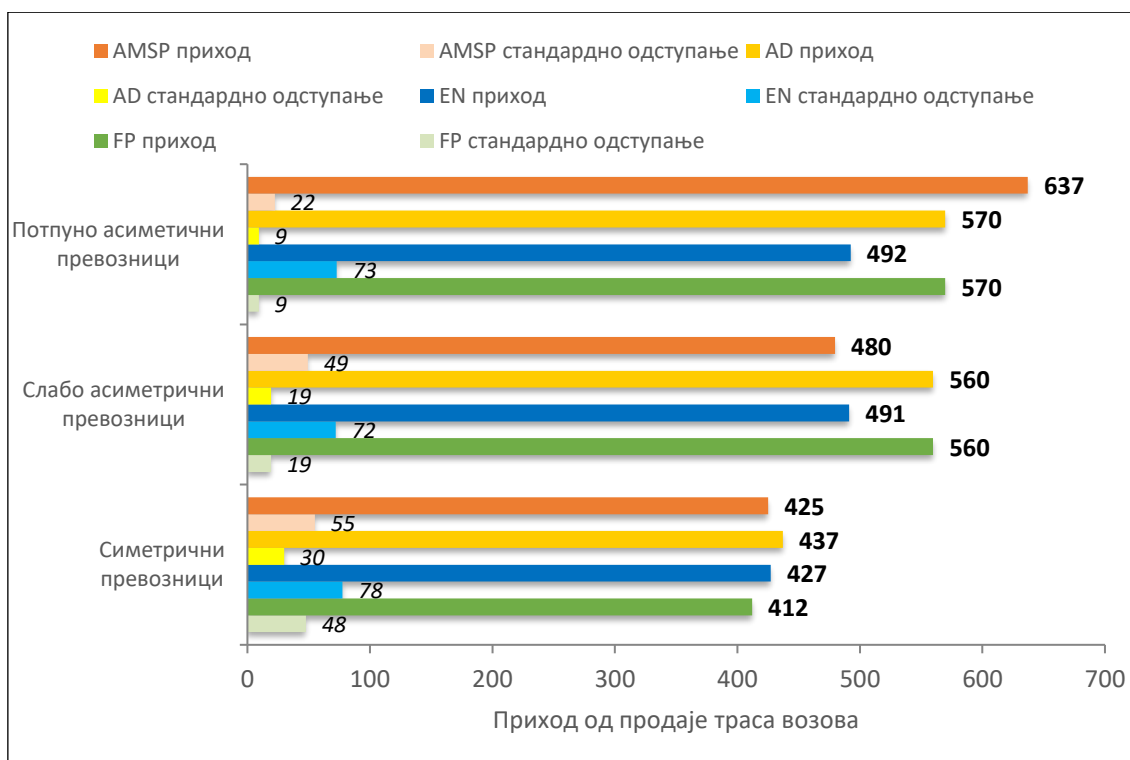
Слика 12 Просечно остварени приход по продатој траси воза за различити број железничких превозника када су они слабо асиметрични када није укључен ефекат стварања картела



Слика 13 Просечно остварени приход по продатој траси воза за различити број железничких превозника када су они потпуно асиметрични када није укључен ефекат стварања картела



Слика 14 Просечно остварени приход по продатој траси воза за различити број железничких превозника када су они симетрични са укљученим ефектом стварања картела



Слика 15 Просечан остварени приход од продаје траса возова на аукцијама у првој итерацији са укљученим ефектом стварања картела

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Никола Стојадиновић је рођен 7.3.1985. године у Београду. Средњу грађевинско-техничку школу (одсек за нискоградњу) завршио је 2003. године у Крушевцу са одличним успехом. Саобраћајни факултет Универзитета у Београду уписао је исте године, да би основне академске студије завршио 2008. године са просечном оценом у току студија 8,42. Никола Стојадиновић је 2010. године завршио дипломске академске (мастер) студије на Модулу за железнички саобраћај и транспорт, одбраном мастер рада на тему „Накнаде за теретне и путничке возове за приступ и коришћење железничке инфраструктуре“, под менторством др Бранислава Бошковића. На мастер студијама остварио је просечну оцену 10,00.

У периоду од априла 2010. до априла 2011. године обавио је приправнички стаж у Јавном предузећу „Железнице Србије“ након чега је положио стручни испит за самостално обављање послова и задатака дипломираног инжењера саобраћаја у саобраћајно-транспортној служби.

У мају 2010. године био је учесник летње школе железнице (*Railway summer school*) на Универзитету у Антверпену у Белгији, у трајању од недељу дана. Летња школа је била у организацији *TransportNET*-а, удружења водећих универзитета и института у Европи у области транспорта. У периоду од октобра 2014. до марта 2015. године Никола Стојадиновић је обавио стручну праксу у институцији ЕК – Европској железничкој агенцији у Валенсијену (Француска) у одсеку за интероперабилност железничког транспорта, у трајању од пет месеци. Такође, завршио је TRAIN програм (*Training and Research for Academic Newcomers*) у Ректорату Универзитета у Београду за наставнике и сараднике Универзитета.

Кандидат поседује напредно знање енглеског и основно знање немачког језика.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора _____ Никола Д. Стојадиновић

Број индекса _____ ДС 10-Д-010

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

МОДЕЛ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ

КОРИШЋЕЊЕМ ХИБРИДНИХ АУКЦИЈА

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

Потпис аутора

У Београду, _____ 2019. године

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Никола Д. Стојадиновић

Број индекса ДС 10-Д-010

Студијски програм Саобраћај

Наслов рада **МОДЕЛ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА ЖЕЛЕЗНИЧКЕ
ИНФРАСТРУКТУРЕ КОРИШЋЕЊЕМ ХИБРИДНИХ АУКЦИЈА**

Ментор др Бранислав Бошковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

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

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

Потпис аутора

У Београду, 2019. године

Изјава о коришћењу

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

МОДЕЛ АЛОКАЦИЈЕ КАПАЦИТЕТА ЖЕЛЕЗНИЧКЕ ИНФРАСТРУКТУРЕ КОРИШЋЕЊЕМ ХИБРИДНИХ АУКЦИЈА

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____ 2019. године