

Višeagentni model centralno koordinirane inspekcije usklađenosti

Smojver, Slaven

Doctoral thesis / Disertacija

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics Varaždin / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike Varaždin**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:152377>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)





Sveučilište u Zagrebu

Fakultet organizacije i informatike

Slaven Smojver

VIŠEAGENTNI MODEL CENTRALNO KOORDINIRANE INSPEKCIJE USKLAĐENOSTI

DOKTORSKI RAD

Mentor:
Prof. dr.sc. Neven Vrčec

Varaždin, 2018.



University of Zagreb

Fakultet organizacije i informatike

Slaven Smojver

MULTI-AGENT MODEL OF CENTRALLY COORDINATED COMPLIANCE INSPECTION

DOCTORAL THESIS

Supervisor:
Prof. Neven Vrčec, PhD

Varaždin, 2018

PODACI O DOKTORSKOM RADU

I. AUTOR

Ime i prezime	Slaven Smojver
Datum i mjesto rođenja	24. veljače 1978., Zagreb, Hrvatska
Naziv fakulteta i datum diplomiranja na VII/I stupnju	Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 26. rujna 2001.
Naziv fakulteta i datum diplomiranja na VII/II stupnju	Ekonomski fakultet - Zagreb, 5. prosinca 2008.
Sadašnje zaposlenje	Hrvatska narodna banka

II. DOKTORSKI RAD

Naslov	Višeagentni model centralno koordinirane inspekcije usklađenosti
Broj stranica, slika, tabela, priloga, bibliografskih podataka	225 stranica, 44 slika, 41 tablica, 3 priloga, 212 bibliografskih podataka
Znanstveno područje i polje iz kojeg je postignut doktorat znanosti	Društvene znanosti, informacijske i komunikacijske znanosti
Mentori ili voditelji rada	Prof. dr.sc. Neven Vrčec
Fakultet na kojem je obranjen doktorski rad	Fakultet organizacije i informatike, Varaždin
Oznaka i redni broj rada	146

III. OCJENA I OBRANA

Datum sjednice Fakultetskog vijeća na kojoj je prihvaćena tema	22. studenoga 2016.
Datum predaje rada	9. siječnja 2018.
Datum sjednice Fakultetskog vijeća na kojoj je prihvaćena pozitivna ocjena rada	10. srpnja 2018.
Sastav povjerenstva koje je rad ocijenilo	Prof. dr.sc. Diana Šimić, predsjednica Prof. dr.sc. Katarina Žager, članica Prof. dr.sc. Kornelije Rabuzin, član
Datum obrane doktorskog rada	24. rujna 2018.
Sastav povjerenstva pred kojim je rad obranjen	Prof. dr.sc. Diana Šimić, predsjednica Prof. dr.sc. Katarina Žager, članica Prof. dr.sc. Kornelije Rabuzin, član
Datum promocije	

PODACI O MENTORU

Prof. dr.sc. Neven Vrčec rođen je u Varaždinu 23. svibnja 1966. godine. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu (danas Fakultet elektrotehnike i računarstva - FER) Sveučilišta u Zagrebu 1991. godine. Na istom fakultetu je magistrirao u listopadu 1995. te doktorirao u prosincu 1998. Profesionalno obrazovanje nadopunjavao je nizom seminara i studijskih boravaka na fakultetima i poduzećima u Europi i SAD-u.

1991. godine zaposlio se u poduzeću Informacijsko projektantski centar u Čakovcu (IPC), a od listopada 1996. godine zaposlen je na Fakultetu organizacije i informatike u Varaždinu (FOI), Sveučilišta u Zagrebu. Nositelj je većeg broja kolegija na dodiplomskom studiju, poslijediplomskim specijalističkim studijima, sveučilišnom stručnom i poslijediplomskom studiju te poslijediplomskom doktorskom studiju FOI-ja. Bio je mentor većeg broja diplomskih, poslijediplomskih i doktorskih radova.

Biran je u znanstveno-nastavno zvanje docent 1999. godine, u znanstveno-nastavno zvanje izvanredni profesor 2004. godine, u znanstveno-nastavno zvanje redoviti profesor 2009. godine te konačno, redoviti profesor u trajnom zvanju u 2014. Od akademske godine 2003/04. do 2007/08. te u akademskoj godini 2014/15. obavljao je dužnost prodekana na FOI-ju. Na dužnost dekana FOI-ja biran je 2015. i 2017. godine čime je postao član Senata Sveučilišta u Zagrebu.

Sudjelovao je u radu različitih povjerenstava čiji je cilj bilo unaprjeđenje rada FOI, Sveučilišta u Zagrebu i znanstvenog polja informacijskih znanosti.

Tijekom rada na FOI-ju sudjelovao je na više konferencija i skupova te objavio veći broj znanstvenih i stručnih radova. Član je programskog odbora više međunarodnih znanstvenih konferencija, savjetodavnog uređivačkog odbora časopisa „Annals of Management Science“ te uređivačkog odbora časopisa „Social Technologies“. Sudjelovao je u više znanstvenih projekata.

Pored znanstvenog rada aktivan je i stručno te povremeno radi kao konzultant za razvoj poslovne izvrsnosti i strateškog planiranja upotrebe informacijskih tehnologija u više poduzeća te javnih ili vladinih ustanova. Bio je član nekoliko radnih skupina Vlade RH.

Za uspješan rad dobio je više društvenih priznanja, primjerice srebrnu značku Hrvatskog informatičkog zbora (2008.) i medalju grada Varaždina (2007.).

*Da bi određena kazna postigla svoju svrhu,
dovoljno je da sobom donosi zlo
koje nadilazi korist koja bi se mogla zločinom postići.
U to zlo treba uračunati i neizbježnost kazne
i gubitak koristi koju bi zločin bio sobom donio.
Sve što ide preko toga je, dakle, suvišno i nosi pečat tiranije.*

-- Cesare Bonesana de Beccaria

Vjeruj, ali provjeri.

-- ruska poslovice

Svi modeli su pogrešni, ali neki su korisni.

-- George Box

Mojoj obitelji.

Sažetak

Inspekcija usklađenosti postupak je detaljne provjere s ciljem utvrđivanja pridržava li se određena osoba ili organizacija zadanog skupa odredaba (u propisima, standardima, poslovnim pravilima i sl.). Optimalan odabir osoba ili organizacija te odredaba nad kojima će se provesti inspekcija spada u ključne izazove inspekcije usklađenosti. Ovim istraživanjem razvijen je ICARUS – višeagentni model inspekcije usklađenosti primjenjiv na okruženja u kojima inspekcijско tijelo putem centralno koordiniranih inspekcija, nadzire usklađenost više organizacija koje se moraju pridržavati više odredaba. Razvijeni model implementiran je u računalnu simulaciju u okruženju NetLogo te je verificiran, valjan, a provedena je i analiza osjetljivosti. Razvijeni model i simulaciju moguće je primijeniti na niz inspekcijских problema.

Računalnom simulacijom prikupljeni su podaci, testirane hipoteze, te je potvrđeno da strategija inspekcije usklađenosti entiteta koja se provodi razmjerno resursnoj zahtjevnosti odredaba ostvaruje manji broj neusklađenosti u sustavu od slučajne i od ciklične strategije. Odbačena je hipoteza da se primjenom inspektorovog vodstva na provođenje takovih inspekcija postiže manji broj neusklađenosti.

Istraživanjem je empirijski provjerena i povezanost kršenja odredaba s resursnom zahtjevnosću njihova ispunjavanja na temelju empirijskog istraživanja o resursnoj zahtjevnosti ispunjavanja odredaba „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“. Prihvaćena je hipoteza o postojanju barem srednje velike pozitivne korelacija između resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba.

Rezultati istraživanja ukazuju na moguća unaprjeđenja u provođenju inspekcija usklađenosti, koja bi mogla dovesti do smanjenja ukupne neusklađenosti.

Ključne riječi:

Inspekcija, usklađenost, kršenje, višeagentni, agentni model, simulacija, resursi, ICARUS, NetLogo

Extended Abstract

Compliance inspection is a detailed examination procedure for determining compliance of a particular person or organisation with the given set of provisions (in regulations, standards, business rules, etc.). The optimal selection of persons or organisations and provisions for inspection is one of the key compliance inspection challenges.

Based on that problem, three research goals were stipulated. Firstly, to develop a multi-agent model of centrally coordinated compliance inspections in a system with many organizations, which must comply with many provisions, based on findings in theoretical research and empirical data. Secondly, to explore, through simulation of the implemented model, whether and under what conditions, by applying different inspection strategies, is it possible to reduce the overall level of noncompliance in the system. Finally, to investigate the relationship between resources required to meet regulatory requirements (provisions) and the level of violation of those provisions.

In line with the research goals and research questions, 4 hypotheses were posed. (H.1) By selecting the provisions for compliance inspection relative to the resources required for compliance with those provisions, the simulation results in a lower number of noncompliances, compared to the use of random selection. (H.2) By selecting the provisions for compliance inspection relative to the resources required for compliance with those provisions, the simulation results in a lower number of noncompliances, compared to the use of cyclic selection. (H.3) There is at least a medium-high, positive correlation between the resources required to meet the regulatory provisions and the level of violation of those provisions. And finally, (H.4) by applying the inspector's (Stackelberg's) leadership to inspections in which the selection of provisions for compliance inspection is performed relatively to the resources required for compliance with those provisions, the simulation results in a lower number of noncompliances, with respect to the inspection without application of the inspector's leadership.

A multi-agent compliance inspection model (ICARUS - *Inspecting Compliance to mAny RULeS*) was developed. The model is applicable to environments where an inspection agency, via centrally coordinated inspections, examines compliance of organizations which must comply with multiple provisions. ICARUS is based on the concepts from the field of criminology; human rationality models, including the economic model of crime and game theory; and relevant human behaviour models. The model is described according to the ODD+D protocol and implemented in a computer simulation in the NetLogo environment.

The initial parameter estimation/calibration of the model was performed, and the model was verified and validated. The validation was performed in 2 stages. The general validation assessed alignment between empirical data (macro-structures) and behaviour of the model, primarily by comparing the expected patterns and values with the results of a large number of computer simulations of the ICARUS model, for given ranges of parameter values. The specific validation aimed to find a valid combination of input parameters for which computer simulation of the ICARUS model could reproduce the expected quantitative results. The specific validation encompassed 3 case studies: environmental compliance inspection in Denmark, OSHA compliance inspection in the USA and bank supervision in Italy. Genetic algorithm was applied to the search of parameter space. A combination of input parameters was identified for each of the 3 specific validation tests and the ICARUS computer simulation produced quantitative results in line with the results identified in empirical research.

Hypotheses H.1, H.2 and H.4 were tested based on performances of 6 defined inspection strategies: 2 random strategies, 2 cyclic strategies, Stochastic universal sampling (SUS) strategy and SUS strategy with Stackelberg leadership (SUS-Stackelberg). For each of the 3 combinations of input parameters, and for each inspection strategy, simulation of the ICARUS model was run 100 times and the resulting data was collected. The significance of differences between strategies' effectiveness was tested via Kruskal-Wallis test and Nemenyi post-hoc test. Based on the results of those tests, H.1 and H.2 were accepted, and H.4 was rejected.

The research also incorporated an empirical study of the resource requirements needed for compliance with 44 provisions of the „Decision on Appropriate Management of the Information System“ (Decision) and the compliance of credit institutions in the Republic of Croatia with those provisions. Relevant data was collected in 2012, for 31 banks, 1 savings bank and 5 housing savings banks. The data was collected via 2 questionnaires. Credit institutions filled out the questionnaire on resource requirements for compliance. Authorized external auditors, who are required to carry out yearly audits for the needs of the Croatian

National Bank, filled out the questionnaire on compliance of credit institutions with provisions of the Decision. Both questionnaires collected census data, via semantic ordinal scales.

Correlation tests were performed on the collected empirical data, including polychoric correlation, Pearson r and Spearman ρ tests. Taking into account all results, the H.3 hypothesis was accepted.

Implemented computer simulation allows simple input of most parameters. Visualization of the simulation and its quantitative results as well as a graphical representation of the basic statistical indicators, facilitates understanding of the simulation and its results. These characteristics of the computer simulation, as well as extensive description of the ICARUS model should expedite their use and adaptation to other inspection problems.

The research results identified areas for possible improvements in conduct of compliance inspections, which could lead to more effective and efficient inspection strategies, and a reduction in overall noncompliance.

Keywords:

Inspection, compliance, violation, multi-agent, agent, model, simulation, resources, ICARUS, NetLogo

Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Pozadina istraživanja	1
1.2. Područje istraživanja.....	3
1.3. Pregled istraživanja i sadržaj rada	4
2. Konceptualni okvir istraživanja	5
2.1. Kriminologija	5
2.2. Teorija racionalnog odabira.....	9
2.3. Teorija igara.....	14
2.3.1. Osnovni koncepti i primjena.....	15
2.3.2. Igra inspekcije.....	18
2.4. Modeliranje donošenja odluka u kontekstu inspekcije.....	23
2.5. Agentno modeliranje	28
2.5.1. Osnovni koncepti	28
2.5.2. Primjena agentnog modeliranja na inspekciju usklađenosti	31
2.5.3. Kalibracija, verifikacija i provjera valjanosti agentnih modela	32
2.5.4. Analiza osjetljivosti agentnih modela.....	36
2.6. Odluka o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom	38
3. Ciljevi, istraživačka pitanja i hipoteze	40
3.1. Ciljevi istraživanja.....	40
3.2. Istraživačka pitanja	42
3.3. Hipoteze.....	43
4. Pregled literature.....	45

4.1. Agentni modeli inspekcije	45
4.2. Empirijska istraživanja o inspekcijama usklađenosti	47
5. Metode i podaci.....	54
5.1. Empirijsko istraživanje	54
5.1.1. Prikupljanje podataka	54
5.1.2. Heuristike, pristranosti i ograničenja razmatrani pri dizajnu istraživanja	59
5.1.3. Karakteristike prikupljenih podataka	61
5.1.4. Metode analize empirijskih podataka	62
5.2. Višeagentni model usklađenosti	66
5.2.1. Opis modela	66
5.2.2. Metode analize modela	66
5.2.3. Metode analize podataka računalne simulacije	91
5.3. Korišteni alati	93
6. Opis modela	95
6.1. Pregled modela	95
6.1.1. Svrha	95
6.1.2. Agenti, stanja i procesi u modelu.....	96
6.2. Koncepti dizajna modela	99
6.2.1. Teorijska i empirijska pozadina	99
6.2.2. Karakteristike i ponašanje entiteta	99
6.2.3. Karakteristike i ponašanje inspeksijske agencije i inspekcija	104
6.2.4. Opis dodatnih karakteristika modela prema ODD+D protokolu	108
6.3. Implementacija modela u računalnu simulaciju	111
6.3.1. Proces i implementiranom modelu	111
6.3.2. Ulazni parametri i varijable stanja	115
6.3.3. Korisničko sučelje i izlazne vrijednosti	120
7. Rezultati analize modela.....	123
7.1. Verifikacija	123
7.1.1. Parametri sustava	123
7.1.2. Ponašanje entiteta	125
7.1.3. Ponašanje agencije	131

7.2. Provjera valjanosti	137
7.2.1. Općenita valjanost.....	137
7.2.2. Specifična valjanost	149
7.3. Analiza osjetljivosti	152
8. Rezultati simulacije i empirijskog istraživanja	156
8.1. Rezultati empirijskog istraživanja	156
8.1.1. Deskriptivna analiza	156
8.1.2. Korelacijska analiza	158
8.2. Rezultati simulacije	161
8.2.1. Scenarij DK-E.....	161
8.2.2. Scenarij US-W	163
8.2.3. Scenarij IT-B.....	165
9. Rasprava	167
10. Zaključak	175
11. Literatura.....	178
12. Prilozi.....	190
12.1. Prilog A: odredbe Odluke o IS	190
12.2. Prilog B: upitnik za kreditne institucije.....	193
12.3. Prilog C: upitnik za ovlaštene revizore.....	198

Popis akronima

ABM:	(engl. <i>Agent-Based Modelling</i>)
AML:	(engl. <i>Agent Modeling Language</i>)
AUML:	(engl. <i>Agent UML</i>)
BDI:	(engl. <i>Belief-Desire-Intention</i>)
B-P:	(engl. <i>Box-plot</i>)
CGT:	(engl. <i>Classical Game Theory</i>)
DK-E:	Scenarij provjere specifične valjanosti modela: inspekcija usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša u Danskoj
DES:	(engl. <i>Discrete-Event Simulation</i>)
DSM:	(engl. <i>Design Structure Matrix</i>)
FBI:	(engl. <i>Federal Bureau of Investigation</i>)
HNB:	Hrvatska narodna banka
ICARUS:	(engl. <i>Inspecting Compliance to mAny RULeS</i>)
IRS:	(engl. <i>Internal Revenue Service</i>)
IT-B:	Scenarij provjere specifične valjanosti modela: inspekcija usklađenost u okviru bankovne supervizije u Italiji
MABM:	(engl. <i>Multi-Agent Based Modelling</i>)
MAS:	(engl. <i>Multi-Agent Simulation</i>)
ODD:	(engl. <i>Overview, Design concepts, and Details</i>)
ODD+D:	(engl. <i>Overview, Design concepts, and Details + Decision</i>)
OSHA:	(engl. <i>Occupational Safety and Health Administration</i>)
QQ:	kvantil-kvantil
RH:	Republika Hrvatska
SAD:	Sjedinjene američke države
SUS:	(engl. <i>Stochastic universal sampling</i>)
UML:	(engl. <i>Unified Modelling Language</i>)
US EPA:	(engl. <i>United States Environmental Protection Agency</i>)
US-W:	Scenarij provjere specifične valjanosti modela: inspekcija usklađenost s propisima o zaštiti na radu u SAD-u.

Popis tablica

Tablica 5.1 – Sažetak karakteristika anketnih upitnika o Odluci o IS.....	58
Tablica 5.2 – Pokazatelji analizirani u provjeri specifične valjanosti za scenarij DK-E i njihove očekivane vrijednosti.....	86
Tablica 5.3 – Pokazatelji analizirani u provjeri specifične valjanosti za scenarij US-W i njihove očekivane vrijednosti.....	87
Tablica 5.4 – Pokazatelji analizirani u provjeri specifične valjanosti za scenarij IT-B i njihove očekivane vrijednosti.....	89
Tablica 5.5 – Analiza osjetljivosti: ulazni parametri modela ICARUS	91
Tablica 6.1 – Poveznica oznaka i naziva varijabla modela ICARUS.....	115
Tablica 7.1 – Ulazni parametri verifikacijskog testa generiranja resursnih zahtjeva	123
Tablica 7.2 – Ulazni parametri verifikacijskog testa razlika u resursnim zahtjevima entiteta	125
Tablica 7.3 – Ulazni parametri verifikacijskog testa generiranja sklonosti entiteta preuzimanju rizika prema uniformnoj distribuciji.....	126
Tablica 7.4 – Ulazni parametri verifikacijskog testa generiranja sklonosti entiteta preuzimanju rizika prema eksponencijalnoj distribuciji	126
Tablica 7.5 – Ulazni parametri verifikacijskog testa strategije učenja fiktivne igre	127
Tablica 7.6 – Ulazni parametri verifikacijskog testa vremenskog diskontiranja.....	128
Tablica 7.7 – Verifikacija modela: percepcije odabranog entiteta o vjerojatnosti inspekcije zabilježene u danom koraku simulacije (t) za zadanu vrijednost koeficijenta vremenskog diskontiranja (κ)	129
Tablica 7.8 – Ulazni parametri verifikacijskog testa svjesnosti entiteta o inspekcijama sa Stackelbergovim vodstvom.....	130
Tablica 7.9 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira.....	132
Tablica 7.10 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira entiteta.....	133
Tablica 7.11 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije cikličnog odabira.....	134
Tablica 7.12 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja	135
Tablica 7.13 – Ulazni parametri verifikacijskog testa točnosti inspekcije	136

Tablica 7.14 – Verifikacija modela: usporedba zadane i ostvarene točnosti inspekcije; u stupcu „Razlika“ je apsolutna razlika (postotni bodovi) zadane i ostvarene točnosti, a stupac „95% CI“ navodi i 95%-tni interval pouzdanosti, temeljem izračunate standardne greške	136
Tablica 7.15 – Ulazni parametri koji su nepromijenjeni u svim provjerama općenite valjanosti	137
Tablica 7.16 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: porast kazne dovodi do smanjenja kršenja	137
Tablica 7.17 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: više inspekcija dovodi do smanjenja kršenja	138
Tablica 7.18 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: niska kazna ima marginalan utjecaj na kršenje	139
Tablica 7.19 – Provjera valjanosti: usporedba ukupnog broja kršenja te postotnog smanjenja nakon 25 koraka simulacije uz dani kapacitet inspekcijske agencije te iznos kazne, za inspekcijsku strategiju slučajnog odabira entiteta; prikazani apsolutni iznosi su aritmetička sredina ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima.....	140
Tablica 7.20 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: veći resursni zahtjevi dovode do više kršenja	141
Tablica 7.21 – 20 mogućih vrijednosti (konfiguracije) vektora resursnih zahtjeva (parametar simulacije resource-requirements), za 3 razmatrana scenarija promjene resursnih zahtjeva	142
Tablica 7.22 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: porast percipirane vjerojatnosti inspekcije dovodi do smanjenja kršenja.....	144
Tablica 7.23 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: nakon inspekcije manje je kršenja.....	145
Tablica 7.24 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: dulje razdoblje od posljednje inspekcije dovodi do više prekršaja.....	148
Tablica 7.25 – Provjera valjanosti: usporedno prikazani ulazni parametri 3 razmatrana scenarija; sivom bojom označeni ulazni parametri s inicijalno postavljenim vrijednostima.....	150
Tablica 7.26 – Provjera valjanost: očekivani i simulacijom ostvareni rezultati za svaki razmatrani kriterij (pokazatelj), za scenarij DK-E; u stupcu „Ostvareno“ je aritmetička sredina rezultata ($\bar{x}$) 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, u stupcu „Razlika“ je apsolutna razlika (postotni bodovi) ostvarenih i očekivanih rezultata, a stupac „95% CI“ navodi 95%-tni interval pouzdanosti, temeljem izračunate standardne greške.	150
Tablica 7.27 – Provjera valjanost: očekivani i simulacijom ostvareni rezultati za svaki razmatrani kriterij (pokazatelj), za scenarij US-W; u stupcu „Ostvareno“ je aritmetička sredina ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima.....	151
Tablica 7.28 – Provjera valjanost: očekivani i simulacijom ostvareni rezultati za svaki razmatrani kriterij (pokazatelj), za scenarij IT-B; u stupcu „Ostvareno“ je aritmetička sredina ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima.....	152
Tablica 8.1 – Kontingencijska tabela sa odgovorima svih ispitanika za sve odredbe Odluke o IS-u: (ne)usklađenost vs. resursna zahtjevnost; prikazane su apsolutne vrijednosti i postotak u odnosu na ukupan broj odgovora.....	156
Tablica 8.2 – Pragovi intervala polikorične korelacije, pripadajuća standardna pogreška te izračunati centroidi pojedinačnih kategorija, za resursnu zahtjevnost ispunjavanja odredaba	159

Tablica 8.3 – Pragovi intervala polikorične korelacije, pripadajuća standardna pogreška te izračunati centroidi pojedinačnih kategorija, za usklađenost s odredabama	159
Tablica 8.4 – Rezultati Pearson r te Spearman ρ testova provedenih nad prosječnim (aritmetička sredina) vrijednostima ocjena resursne zahtjevnosti i usklađenosti za pojedinačne odredbe Odluke o IS, za 5 razmatranih kombinacija kodiranja varijabla; prva dva segmenta tablice navode načine kodiranja	161
Tablica 8.5 – Usporedba parova rezultata simulacija za scenarij DK-E primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju, za nezavisne uzorke	163
Tablica 8.6 - Usporedba parova rezultata simulacija za scenarij US-W primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju, za nezavisne uzorke	164
Tablica 8.7 - Usporedba parova rezultata simulacija za scenarij IT-B primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju, za nezavisne uzorke	166

Popis slika

Slika 2.1 – Igra inspekcije u ekstenzivnom i normalno obliku (prilagođeno prema [9, p. 280], slika 1.).....	19
Slika 2.2 – Utjecaj indeksa vremenskog diskontiranja.....	28
Slika 3.1 – Grafički prikaz povezanosti, ciljeva, istraživačkih pitanja i hipoteza	40
Slika 6.1 – Stablo modelirane igre (prilagođeno prema [9, p. 284], slika 2.).....	97
Slika 6.2 – Konceptualni dijagram klasa modela ICARUS.....	97
Slika 6.3 – Slijed aktivnosti entiteta u modelu ICARUS	98
Slika 6.4 – Grafički prikaz algoritma stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS).....	106
Slika 6.5 – UML dijagram slijeda modela ICARUS	112
Slika 6.6 – UML dijagram klasa implementiranog modela.....	115
Slika 6.7 – Konceptualni UML dijagram klasa inspeksijske agencije	118
Slika 6.8 – Matrica međuovisnosti ulaznih parametara modela ICARUS	120
Slika 6.9 – Korisničko sučelje računalne simulacije modela ICARUS.....	121
Slika 7.1 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema uniformnoj distribuciji, za zadanu vrijednost ulaznog parametra resource-requirements-param; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za uniformnu razdiobu slučajnih vrijednosti	124
Slika 7.2 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema eksponencijalnoj razdiobi, za zadanu vrijednost ulaznog parametra resource-requirements-param; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za slučajnu varijablu prema eksponencijalnoj razdiobi	124
Slika 7.3 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema uniformnoj distribuciji, za zadane vrijednosti ulaznih parametra resource-requirements-param i max-deviation-resources; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za uniformnu razdiobu slučajnih vrijednosti	125
Slika 7.4 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih sklonosti preuzimanja rizika prema uniformnoj razdiobi, za zadane vrijednosti ulaznih parametra default-risk-attitude i risk-attitude-deviation; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za uniformnu razdiobu slučajnih vrijednosti	127
Slika 7.5 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema eksponencijalnoj razdiobi, za zadane vrijednosti ulaznog parametra default-risk-attitude; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za slučajnu varijablu prema eksponencijalnoj razdiobi	127

Slika 7.6 – Verifikacija modela: promjena percepcije entiteta o vjerojatnosti inspekcije uz stvarnu vjerojatnost provođenja inspekcije od 0,2; na osi x prikazani su koraci simulacije, a na osi y vjerojatnost inspekcije; obojane linije prikazuju percepciju svakog entiteta o vjerojatnost inspekcije (u svakom koraku), a crna vodoravna linija prikazuje stvarnu vjerojatnost provođenja inspekcije.....	128
Slika 7.7 – Verifikacija modela: promjena percepcije entiteta o vjerojatnosti inspekcije za zadanu vrijednost koeficijenta vremenskog diskontiranja u svakom koraku simulacije; os x prikazuje korake simulacije, a os y vjerojatnost provođenja inspekcije	129
Slika 7.8 – Verifikacija modela: usporedba zadanih resursnih zahtjeva ispunjavanja svakog pravila (a) s brojem kršenja pojedinog pravila u konfiguraciji bez Stackelbergovog vodstva (b) i sa Stackelbergovim vodstvom (c).....	131
Slika 7.9 – Verifikacija modela: broj inspekcija svakog pravila (1. red) te broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu (2. red), nakon danog broja koraka simulacije pri primjeni inspekcijske strategije slučajnog odabira	132
Slika 7.10 – Verifikacija modela: broj inspekcija svakog pravila (1. red) te broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu (2. red), nakon navedenog broja koraka simulacije pri primjeni inspekcijske strategije slučajnog odabira entiteta.....	133
Slika 7.11 – Verifikacija modela: broj inspekcija svakog pravila (1. red) te broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu (2. red), nakon navedenog broja koraka simulacije pri primjeni inspekcijske strategije cikličnog odabira.....	134
Slika 7.12 – Verifikacija modela: usporedba zadanih resursnih zahtjeva ispunjavanja pravila (1. red) te broja inspekcija svakog pojedinačnog pravila nakon navedenog koraka simulacije (2. i 3. red) pri primjeni inspekcijske strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja.....	135
Slika 7.13 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz danu vrijednost kazne (os x), za zadanu inspekcijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$	138
Slika 7.14 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz dani kapacitet inspekcijske agencije (os x) te uz iznos kazne 40, za zadanu inspekcijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$	139
Slika 7.15 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz dani kapacitet inspekcijske agencije (os x) te uz iznos kazne 3, za zadanu inspekcijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$	140
Slika 7.16 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju, pri promjeni vektora resursnih zahtjeva prema 1. scenariju (linearno povećanje svih resursnih zahtjeva); središte podatkovnih točaka predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) 100 rezultata simulacije ponavljane s istim parametrima, a gornja i donja granica predstavljaju raspon $\pm 1\sigma$	142
Slika 7.17 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju, pri promjeni vektora resursnih zahtjeva prema 2. scenariju (linearno povećanje dijela resursnih zahtjeva); središte podatkovnih točaka predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) 100 rezultata simulacije ponavljane s istim parametrima, a gornja i donja granica predstavljaju raspon $\pm 1\sigma$	143

- Slika 7.18 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju, pri promjeni vektora resursnih zahtjeva prema 3. scenariju (linearno povećanje i smanjenje resursnih zahtjeva); središte podatkovnih točaka predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) 100 rezultata simulacije ponavljane s istim parametrima, a gornja i donja granica predstavljaju raspon $\pm 1\sigma$143
- Slika 7.19 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz dane prosječne sklonosti svih entiteta u simulaciji kršenju pravila (parametar default-risk-attitude - os x), za zadanu inspekcijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$ 144
- Slika 7.20 – Provjera valjanosti: usporedba broja kršenja odredaba od strane pojedinačnih entiteta koji u prethodnom koraku simulacije nisu bili nadzirani (grupa A – crveni stupac) i entiteta koji su prethodnom koraku simulacije bili nadzirani (grupa B – sivi stupac); svaki stupac prikazuje statistički sažetak o kršenju odredaba u danom koraku računalne simulacije, od 2. do 25. koraka (podaci za 1. korak simulacije nisu prikazani jer u tom trenutku nije postojala povijest inspekcija); svaki grafikon prikazuje podatke za navedenu primijenjenu inspekcijsku strategiju146
- Slika 7.21 – Provjera valjanosti: usporedba broja kršenja odredaba od strane pojedinačnih entiteta koji su u prethodnom koraku simulacije nisu kažnjeni (grupa A – crveni stupac – sadrži podatke entiteta kojima u prethodnom koraku inspekcija nije otkrila kršenje, neovisno o tome je li entitet uopće nadziran, je li entitet nadziran ali su obuhvaćene samo odredbe koje entitet nije kršio ili je inspekcija pogrešno utvrdila da kršenje nije prisutno iako je u stvarnosti entitet kršio relevantnu odredbu) ili su kažnjeni (grupa B – sivi stupac – sadrži podatke entiteta koji su nadzirani i inspekcija je utvrdila kršenje); na osi x prikazani su rasponi sklonosti preuzimanja rizika obuhvaćenih entiteta grupirani u 5 kategorija, a svaki stupac prikazuje statistički sažetak o kršenju odredaba entiteta čija sklonost preuzimanju rizika je unutar zadanog raspona; svaki grafikon prikazuje podatke za navedenu primijenjenu inspekcijsku strategiju147
- Slika 7.22 – Provjera valjanosti: usporedba broja kršenja odredaba od strane pojedinačnih entiteta (os y) koji nisu nadzirani posljednjih x (os x) koraka simulacije; svaki pojedinačni stupac prikazuje statistički sažetak o kršenju odredaba; svaki grafikon prikazuje podatke za navedenu primijenjenu inspekcijsku strategiju148
- Slika 7.23 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije slučajnog odabira entiteta; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka.....152
- Slika 7.24 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije slučajnog odabira; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka.....153
- Slika 7.25 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije cikličnog odabira; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka.....153
- Slika 7.26 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije stohastičkog univerzanog uzorkovanja; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka154
- Slika 7.27 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni SUS strategije sa Stackelbergovim vodstvom; μ je

aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka	154
Slika 8.1 – Mozaik grafikon s odgovorima svih ispitanika za sve odredbe Odluke o IS-u: (ne)usklađenost vs. resursna zahtjevnost	157
Slika 8.2 – Odnos prosječnih (aritmetička sredina) vrijednosti ocjena resursne zahtjevnosti i usklađenosti za pojedinačne odredbe Odluke o IS; svaka podatkovna točka odnosi se na pojedinačnu odredbu Odluke o IS-u, a isti članci su označeni identičnim bojama; na osi x prikazana je resursna zahtjevnost relevantne odredbe, a na osi y razina neusklađenosti, pri čemu veća vrijednost predstavlja višu neusklađenost; naslov svakog grafikona navodi način kodiranja ordinalnih varijabla.....	160
Slika 8.3 – Rezultati simulacije za scenarij DK-E, za 6 inspekcijskih strategija; gornji dio slike prikazuje QQ grafikone, pri čemu je osjenčano područje intervala pouzdanosti 95% za normalnu razdiobu slučajnih vrijednosti; donji dio slike prikazuje pojedinačne rezultate simulacija i pripadajuće B-P dijagrame za danu inspekcijsku strategiju; vodoravni pomak pojedinačnih rezultata na donjem grafikonu napravljen je radi bolje vizualizacije	162
Slika 8.4 – Rezultati simulacije za scenarij US-W, za 6 inspekcijskih strategija; gornji dio slike prikazuje QQ grafikone, pri čemu je osjenčano područje intervala pouzdanosti 95% za normalnu razdiobu slučajnih vrijednosti; donji dio slike prikazuje pojedinačne rezultate simulacija i pripadajuće B-P dijagrame za danu inspekcijsku strategiju; vodoravni pomak pojedinačnih rezultata na donjem grafikonu napravljen je radi bolje vizualizacije	164
Slika 8.5 – Rezultati simulacije za scenarij IT-B, za 6 inspekcijskih strategija; gornji dio slike prikazuje QQ grafikone, pri čemu je osjenčano područje intervala pouzdanosti 95% za normalnu razdiobu slučajnih vrijednosti; donji dio slike prikazuje pojedinačne rezultate simulacija i pripadajuće B-P dijagrame za danu inspekcijsku strategiju; vodoravni pomak pojedinačnih rezultata na donjem grafikonu napravljen je radi bolje vizualizacije	165

1. Uvod

1.1. Pozadina istraživanja

Kodificiranje poželjnih društvenih norma ali i neželjenih obrazaca ponašanja kroz zakone i druge vrste propisa jedan je od preduvjeta postojanja ljudske civilizacije. **Propisima**¹ se definira dozvoljeno i nedozvoljeno ponašanje pojedinaca te organizacija, uključujući i trgovačka društva (poduzeća ili tvrtke), neprofitne organizacije, itd. Osim definiranja dozvoljenog i nedozvoljenog ponašanja, propisi – u pravilu – propisuju i kazne odnosno sankcije za pojedince i organizacije koji se ne pridržavaju zadanih ograničenja. Osnovni cilj kazne je sankcioniranje neželjenog ponašanja, no posredni – a možda i važniji – cilj jest obeshrabrivanje odnosno odvrćanje cjelokupne populacije od neželjenog ponašanja.

Općeniti razlog donošenja propisa koji se odnose na organizacije jest neuspjeh tržišta te društva da samostalno (tj. bez vanjskog utjecaja) postigne društveno poželjne rezultate. Pri tome se propisima mogu sprječavati ili ograničavati negativne posljedice (monopoli i prirodni monopoli, prekomjerna zarada, neželjene eksternalije, neadekvatne informacije, ograničavanje tržišnog natjecanja, moralni hazard) ili poticati poželjni rezultati (nužnost kontinuiteta i dostupnosti usluga, pružanje općekorisnih proizvoda i usluga, alokacija ograničenih dobara, racionalizacija i koordinacija te planiranje) [1].

Primjena propisa obveznicima uobičajeno uzrokuje troškove, i to izravne (primjerice, trošak implementacije) i neizravne (primjerice, smanjenje zarade zbog ograničavanja pružanja usluga, veće konkurencije, povećanja troškova proizvodnje, smanjivanja asimetrije informacija, itd.). Stoga obveznici često žele izbjeći usklađenost s propisima (svima, ili samo

¹ Pravna teorija razlikuje kaznena djela od prekršaja, iako je kriterij razlikovanja dvojben [209], a postoje i značajne razlike između anglosaksonskog i kontinentalnog prava. U kontekstu ovog rada, ove razlike nisu značajne te se radom razmatra inspekcija usklađenosti s bilo kojom relevantnom kodificiranom pravnom normom tj. propisom. Pri tome su pravne norme zahtjevi „*kojima se, postavljanjem pravnih obveza, pravnih ovlasti, pravnih delikata i pravnih sankcija, nastoje ostvariti društveno vladajuće vrijednosti i ciljevi u pravno značajnim društvenim odnosima*“ [210].

onima čija implementacija je skupa), ali žele izbjeći i kaznu za nepridržavanje propisa. Ako mehanizmi koji će detektirati i kazniti neusklađenost s propisima nisu uspostavljeni ili je kazna (materijalna i društvena) manja od troškova usklađenosti, obveznici će se odlučiti na kršenje propisa te se neće ostvariti željeni rezultati. Ovo je posebno značajno u kontekstu propisa koji se odnose na trgovačka društva. Uobičajeno se smatra da je kršenje propisa koje čine trgovačka društva racionalno i situacijski oportunističko; tvrtke propise krše namjerno te odluku donose na temelju odvagivanja očekivanih troškova i očekivanih ekonomskih dobitaka [2, p. 36].

Kršenja propisa koji se odnose na organizacije nisu trivijalna te mogu prouzročiti značajne negativne posljedice za društvo. Primjerice, kršenja propisa u sferi tzv. „kriminaliteta bijelih okovratnika” su u porastu te su u 2006. u Sjedinjenim američkim državama (SAD) prouzročila 18 puta veće troškove od tradicionalnih oblika imovinskog kriminaliteta [3, p. 550]. Analize financijske krize 2007.-2009., koja je imala velike negativne posljedice na cijeli svijet, ukazuju [4] kako je među temeljnim razlozima nastanka krize „moralni hazard“, odnosno sklonost upravljačkih struktura financijskih institucija preuzimanju nerazumno velikih rizika zbog pretpostavke kako neće morati podnijeti „cijenu“ svojih postupaka (odnosno, nekažnjeno kršenje).

Provjera pridržava li se neki **entitet** (organizacija ili pojedinac) propisa često nije trivijalna. Naime, iako se u nekim okruženjima i situacijama usklađenost s propisima može provjeriti jednostavno i uz zanemarive troškove (primjerice, provjerom relevantnih javno dostupnih informacija), često su potrebna specijalizirana znanja i usmjereni trud kako bi se točno utvrdilo je li entitet usklađen s propisima.

Postupak pregledavanja ili nadziranja, koji može označavati i iscrpan službeni pregled, naziva se **inspekcijom** [5, p. 608]. **Inspekcija usklađenosti** postupak je detaljne provjere s ciljem utvrđivanja pridržava li se određena osoba ili organizacija zadanog skupa odredaba (sadržanih u propisima, standardima, poslovnim pravilima, i sl.). Uz izravnu posljedicu otkrivanja te prema potrebi kažnjavanja neusklađenosti, znanje o postojanju i mogućnosti provođenja inspekcije na nadzirane djeluje i kao mehanizam odvraćanja [6]. Naime, empirijska istraživanja pokazuju kako i u okruženjima s općenito niskom neusklađenošću znanje obveznika da sigurno neće biti predmetom inspekcije dovodi do visoke razine neusklađenosti [7]. S druge strane, empirija pokazuje da uvođenje kazne odnosno mogućnosti kažnjavanja dovodi do smanjenja neusklađenosti [8].

Provođenje inspekcije zahtjeva resurse. Stoga se iz skupa svih mogućih kombinacija osoba ili organizacija i odredaba uobičajeno odabire samo manji podskup za inspekciju usklađenosti odnosno **inspekcijski uzorak** [1]. Način određivanja inspekcijskog uzorka ovisi o kapacitetu provođenja inspekcija, informacijama kojima inspektor raspolaže, mogućim posljedicama kršenja propisa, trošku inspekcije, itd. Kako bi se optimizirali ograničeni inspektorski resursi, inspekcije su često centralno-koordinirane od strane inspekcijskih agencija. **Inspekcijske agencije** su organizacije kojima je dodijeljen zadatak provjere usklađenosti s nekim propisom ili grupom propisa. Takve organizacije u svom djelovanju mogu biti ograničene na različite načine: reaktivnim provođenjem inspekcija, malim budžetom i brojem djelatnika, nemogućnošću provođenja objektivnih i pravednih inspekcija te premalim rasponom mogućih kazna [2, p. 97].

Obzirom na njihov značaj za društvo te potrebu postizanja čim veće učinkovitosti, inspekcije usklađenosti bile su predmetom znanstvenih istraživanja u različitim znanstvenim granama te su se razmatrale kroz različite paradigme. Nadalje, obzirom na pravna i etička ograničenja vezana uz provođenje primjenjivih eksperimenata izvan laboratorijskih uvjeta, inspekcije usklađenosti analiziraju se i primjenom različitih modela.

Postojeći modeli odabira inspekcijskog uzorka i provođenja inspekcije imaju različite pristupe, no često ograničenje su suviše idealizirani uvjeti (jedna krajnost) ili vrlo usko područje primjene (druga krajnost) [9]. Provedena istraživanja uglavnom [9] zanemaruju informacije koje bi, sukladno tzv. ekonomskom modelu kriminala [10], mogle biti korisne u odabiru inspekcijskog uzorka i strategije, poput različite resursne zahtjevnosti ispunjavanja različitih odredaba (odnosno pravila sadržanih u propisima). Isto tako, postojeći modeli ne modeliraju situaciju u kojoj centralno koordinirane inspekcije usklađenosti provode inspekciju usklađenosti odabirom kombinacija entiteta i pravila koji će biti predmetom inspekcije.

1.2. Područje istraživanja

Ovim radom analiziran je problem optimalnog odabira organizacija te odredaba za inspekciju u okruženju u kojem se veći broj entiteta (organizacija) mora pridržavati većeg broja odredaba (pravila). Usklađenost tih organizacija sa zadanim odredbama provjeravana je putem centralno koordiniranih inspekcija usklađenosti. Opisano okruženje svojstveno je mnogim

stvarnim situacijama kao što je inspekcija usklađenosti u bankarstvu, usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, propisima o zaštiti na radu, itd.

1.3. Pregled istraživanja i sadržaj rada

Provedeno istraživanje sastojalo se od više cjelina i faza. U prvim fazama prikupljena je i analizirana literatura te su na temelju stečenih saznanja izrađeni probni višeagentni modeli inspekcije usklađenosti koji su i implementirani u računalne simulacije [9][11]. Kroz provedeno empirijsko istraživanje prikupljeni su podaci o razini usklađenosti te resursnoj zahtjevnosti ispunjavanja odredaba „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ [12] od strane kreditnih institucija u Republici Hrvatskoj. U daljnjim fazama istraživanja razvijena je konačna inačica višeagentnog modela inspekcije usklađenosti te je model implementiran u računalnu simulaciju. Implementirani model zatim je analiziran kroz procjenu/kalibraciju parametara, verifikaciju i provjeru valjanosti, a provedena je i analiza osjetljivosti modela. Primjenom računalne simulacije prikupljeni su generirani podaci relevantni za ovo istraživanje. Prikupljeni simulacijski i empirijski podaci su analizirani, testirane su hipoteze, rezultati su raspravljani te su izvedeni zaključci istraživanja.

Disertacija je organizirana na sljedeći način:

U 2. poglavlju ovog rada izložen je konceptualni okvir istraživanja koji sadrži glavna teorijska razmatranja, ideje na kojima se rad temelji te opis okruženja u kojem je istraživanje provedeno. U 3. poglavlju navedeni su ciljevi istraživanja, istraživačka pitanja te postavljene hipoteze. 4. poglavlje sadrži pregled relevantnih modela te pregled zaključaka empirijskih istraživanja koja su relevantna za ovo istraživanje. 5. poglavlje opisuje metode koje su primijenjene u istraživanju. U 6. poglavlju opisan je razvijeni višeagentni model centralno koordinirane inspekcije usklađenosti te njegova implementacija u računalnu simulaciju u okruženju NetLogo. Rezultati verifikacije, provjere općenite i specifične valjanosti te analize osjetljivosti modela izloženi su u 7. poglavlju. 8. poglavlje sadrži prikaz i statističku analizu podataka prikupljenih u okviru empirijskog istraživanja te podataka generiranih kroz računalnu simulaciju, uključujući i rezultate testiranja hipoteza. 9. poglavlje sadrži raspravu, a 10. poglavlje prikazuje zaključke istraživanja.

2. Konceptualni okvir istraživanja

Tema ovog rada je u osnovi interdisciplinarna te je u ovom poglavlju ukratko izložen konceptualni okvir istraživanja, koji u prvom redu obuhvaća teorijsku pozadinu iz nekoliko znanstvenih grana, za koje je procijenjeno da su posebno relevantne za razmatrani problem. Ovo poglavlje stoga sadrži – u osnovnim crtama – glavna teorijska razmatranja vezana uz inspekciju usklađenosti, uključujući: pregled ideja s područja kriminologije; modele temeljene na ljudskoj racionalnosti uključujući ekonomski model kriminala te teoriju igara; i relevantne modele ljudskog ponašanja. U poglavlju se razlažu i osnovne karakteristike agentnog modeliranja i mogućnost primjene agentnog modeliranja na inspekciju usklađenosti. U poglavlju su ukratko opisani i pristupi procjeni parametara, verifikaciji, provjeri valjanosti te analizi osjetljivosti agentnih modela. Konačno, u poglavlju su ukratko opisane osnovne karakteristike „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ [12] (dalje: Odluka o IS), nužne za razumijevanje provedenog empirijskog istraživanja.

2.1. Kriminologija

Kriminologija je znanost o zločinu [13], a opisuje se i kao znanstvena disciplina koja proučava zločin, počinitelje zločina te kazneni sustav [14, p. 3] ili kao studija izrade zakona, kršenja zakona te reakcije društva na kršenje zakona [15, p. 10]. Kriminologija se bavi kršenjem svih propisa za čije kršenje je država predvidjela kaznu [15, p. 16]. Moderna kriminologija zasniva se na interdisciplinarnom objašnjenju kriminala te na analizi učinkovitosti i pravednosti pravosudnog sustava [15, p. 12]. Kriminalitet (odnosno kriminal) kao pojam odnosi se na činjenje teških kažnjivih ponašanja odnosno kaznenih djela [16]. No u svakodnevnoj upotrebi, pojam kriminala ponekad se koristi za opis bilo kojeg kršenja zakona.

Kriminologija se počela razmatrati kao znanstvena disciplina u XVIII. stoljeću [13], na temelju rada ekonomista i pravnika koji su ljudsko ponašanje promatrali i analizirali kroz prosvjetiteljske ideje te su smatrali da su ljudi racionalna bića. Posebno je značajan rad i djelovanje Cesarea Bonesana de Beccarije, talijanskog pravnika i ekonomista koji je 1765. objavio esej „O zločinima i kaznama” [17]. Beccaria se suprotstavio tradicionalnom pristupu prema kojem je osnovna podloga pravnog sustava (kršćanska) religija, a kršenje propisa (odnosno zakona) zapravo posljedica utjecaja nečastivog [15, p. 11]. Tradicionalni pristup implicirao je da su kršitelji opsjednuti zlim nadnaravnim silama čiji utjecaj na pojedinca je nužno prekinuti [18], kako bi se ponovno uspostavilo poželjno stanje. Beccaria je u svom radu iznio ideju da kriminal nastaje kao posljedica izbora prekršitelja te nije posljedica nekakve prinude niti djelovanja nadnaravnih sila [15, p. 11]. Prema Beccariji, pojedinac pažljivo odvaguje nagrade i kazne kršenja te na temelju analize donosi odluku koja je racionalna te kojom pokušava postići najveću moguću razinu hedonističkog zadovoljstva [15, p. 11][18]. Beccaria se zalagao i da kazna odgovara kršenju, odnosno da bude samo onolika koliko je potrebno da bi odvratila od kršenja [15, p. 11]. Drugim riječima, prema Beccariji kazna nije sama sebi svrhom, već je cilj kaznenopravnog sustava odvratanje od kršenja tj. prevencija neželjenog ponašanja [19].

Beccaria je „*začetnik modernog pristupa kaznenomu pravu*“² [19] te „otac” tzv. **klasične kriminologije** prema kojoj kriminal nastaje kao posljedica slobodnog izbora pojedinca, a kriminalno ponašanje je svako ponašanje koje država ograničava i sankcionira [15, p. 11]. Nasuprot takovom pristupu, Cesare Lombroso, talijanski psihijatar, antropolog i kriminolog te začetnik **pozitivističkog pristupa** kriminologiji se 1876. u djelu „Čovjek zločinac“ usredotočio na proučavanje prekršitelja [13]. Uzrok kršenju norma pronašao je u tjelesnim i mentalnim anomalijama i nedostacima svojstvenim kriminalcima [20]. Lombroso je pod utjecajem Darwinovog „Podrijetla vrsta“ (koje je objavljeno 17 godina prije Lombrosovog djela), kriminal objasnio kao ponašanje koje je zaostalo od ranijih razvojnih oblika čovjeka [15, p. 11]. Prema Lombrosu, zločinac se ne stvara nego rađa [13]. Međuodnos i utjecaj klasičnog i pozitivističkog (lombrosijanskog) pristupa kriminologiji na društvenu i vladajuću elitu mijenjao se kroz vrijeme te usmjeravao teoriju i praksu kriminologije, ali i društvenu politiku. Nakon Lombrosa, u studiju kriminologije uključuju se i dodatni pogledi odnosno pristupi poput penologije, antropologije, sociologije, psihologije i statistike [13]. Psihološkim pristupom kriminologiji dominiraju tri teorije: psihodinamička teorija (prema kojoj iskustva iz djetinjstva

² Citati izvornika u ovom su radu označeni kurzivom i navodnicima.

pojedince utječu na sklonost kršenju), bihevioralna teorija (prema kojoj interakcija pojedinaca s društvom utječe na sklonost kršenju) te kognitivna teorija (prema kojoj percepcija svijeta pojedinca utječe na sklonost kršenju) [21, p. 271]. U okviru psihološkog pristupa, razmatra se i utjecaj mentalnih poremećaja, bolesti i poremećaja ponašanja na sklonost kršenju, kao i utjecaj osobnosti i inteligencije pojedinca [21]. Ranije razvijeni obrasci ponašanja utječu na razvoj tzv. nesocijalnog ponašanja [22, p. 2], neuklopljenost pojedinaca u društvo te njihovu posljedičnu nemoralnost, impulzivnost i nedostatak osjećaja krivnje [23]. U okviru kriminologije razmatraju se i mnogobrojni drugi utjecaji na kršenje norma, uključujući obrazovanje, etničku pripadnost, društveni status, vjeru, spol, dob, itd. [24].

U skladu s navedenim, kršenje propisa promatra se kao posljedica ranije uspostavljenih faktora ili obrazaca ponašanja (sociološki pristup) [23], kao posljedica više ili manje racionalnih odluka pojedinaca u specifičnim okolnostima (ekonomski pristup) [23] ili kroz pristupe koji povezuju ljudsku osobnost i racionalnost [25]. Promatrajući razloge odnosno motive za pridržavanje propisa (tj. usklađenost), moguće ih je podijeliti na normativne („ispravno je pridržavati se propisa“), društvene (na temelju interakcije s drugim entitetima) te kalkuliране (temeljene na ljudskoj racionalnosti) [26].

Preklapajuća te donekle međusobno zamjenjiva potpodručja kriminologije koja se, između ostaloga, posebno fokusiraju na regulatornu usklađenost su ekonomski kriminalitet, gospodarski kriminalitet, korporativni kriminalitet te tzv. kriminalitet „bijelih okovratnika“ (engl. *white-collar crime*). Simpson [2, p. 7] **kriminalitet „bijelih okovratnika“** opisuje kao ponašanje poduzeća – ili zaposlenika koji djeluju u ime poduzeća – koje dovodi do kršenja zakona ili administrativnih propisa, pri čemu kršenje nastaje zbog zadovoljavanja ciljeva organizacije, a ne osobnih ciljeva zaposlenika [27]. Prema Kovčo Vukadin [28, p. 438], **korporativni kriminalitet** su „*nelegalna ponašanja i propusti kažnjivi prema upravnom, građanskom ili kaznenom zakonodavstvu, koji su rezultat svjesnog donošenja odluka ili kažnjivog nemara (culpable negligence) u okviru legitimne formalne organizacije*“. Pojavnosti ovih podtipova kriminaliteta su brojne te značajno ovise o ekonomsko-pravno-političkom okruženju. Neki primjeri su kršenje propisa o zaštiti okoliša, kršenje propisa o vrijednosnim papirima, utaja poreza, prevare potrošača, primanje mita, itd. [28][3][29][30]. Neusklađenost s propisima ne mora biti posljedica svjesne, racionalne odluke odnosno politike organizacije već i nenamjerna posljedica izbjegavanja zaduženja te nemara zaposlenika [120].

Najznačajniji problemi u kontroli ovakvih pojava kriminaliteta su detekcija te visoki troškovi istraživanja i procesiranja kršenja propisa [3, p. 551]. Stoga se regulatorne kontrole (tj.

nadzorne odnosno regulatorne agencije) smatraju djelotvornijim i efikasnijim mehanizmom kontrole ovakvih pojavnosti od klasičnog istražnog i represivnog sustava, obzirom na njihove specijalizirane kompetencije, veće istraživačke ovlasti te veću fleksibilnost i diskreciju [3, p. 552]. S druge strane, kazne koje regulatorne agencije mogu izreći najčešće su financijske te kritičari smatraju da imaju manji odvrćajući utjecaj od zatvorskih kazna [3, p. 552]. U prevenciji pojave ekonomskog kriminaliteta važnu ulogu ima i provođenje periodičkih inspekcija [28, p. 436].

Kriminologija se tradicionalno oslanja na kvalitativne (intervjui, promatranje i etnografija) i kvantitativne (ankete, statistička analiza) istraživačke metode s područja sociologije, a sve češće se primjenjuju i kvazi-eksperimentalna te eksperimentalna istraživanja [14, p. 30][31]. Uočljiv je rastući konsenzus istraživača koji djeluju na tom području da su eksperimentalna istraživanja u laboratorijskim, a posebice u stvarnim uvjetima, nužna za daljnji napredak kriminologije [31, p. 420]. Međutim, uz provođenje eksperimenata – posebice u stvarnom okruženju – vezani su i visoki troškovi kao i etička, politička, praktična [31, p. 420] te pravna ograničenja. Kvantitativna istraživanja na području kriminologije stoga se često temelje na sekundarnim empirijskim podacima poput statističkih podataka i izvješća o kriminalu [32]. Prikupljanje i upotreba sekundarnih empirijskih podataka izloženi su poteškoćama koje uključuju upitnu mogućnost prikupljanja opsežnih i vjerodostojnih podataka te neusporedivost sekundarnih podataka. Dodatan problem vezan uz empirijska istraživanja na području kriminologije jest teškoća tumačenja podataka odnosno utvrđivanja kauzalnosti – primjerice: uzrokuje li viši kriminal veće kazne ili visina kazne utječe na povećanje stope kriminala? [33]

Istraživanja na području kriminologije konstruiraju te primjenjuju i modele kojima se opisuju motivi, procesi donošenja odluka te ponašanje prekršitelja, djelovanje kaznenopravnog sustava, utjecaj kršenja propisa na društvo, itd. **Model** je (uobičajeno pojednostavljen) prikaz nekog fenomena tj. stvarnosti [34], a postupak izrade modela – **modeliranje** – moguće je opisati kao razvoj apstrakcije sustava za određenu namjenu [35]. Razvijeni modeli imaju različite forme – od konceptualnih, preko analitičkih do simulacijskih.

2.2. Teorija racionalnog odabira

Klasična kriminologija, odnosno **Teorija racionalnog izbora** (engl. *Rational Choice Theory*) koristi se za razumijevanje širokog spektra kršenja te je jedna od najopćenitijih teorija kriminologije [36, p. 243][37]. Temelji se na ideji da se mnogi socijalni fenomeni mogu shvatiti primjenom modela ekonomskih transakcija i pretpostavka o ljudima kao racionalnim bićima [37, p. 201]. Ovakav pristup naziva se i **ekonomskim pristupom**, odnosno pristupom utemeljenom na ekonomskom pogledu na svijet u kojem su ljudi ekonomski agenti čije ponašanje treba promatrati kroz njihove motive [38]. Ekonomski način razmišljanja primjenjuje se i na pravni sustav, kako bi se pojasnila logika interakcije pojedinaca i društva [38]. Prema ekonomskom pristupu, osnovni motivi svakog pojedinca su maksimizacija zadovoljstva i minimizacija nelagode [37, p. 201]. Ekonomski pristup kršenju uključuje i **Ekonomski model odvrćanja** [39][36, p. 236]. Naime, obzirom da su pojedinci racionalni agenti koji se ponašaju hedonistički te žele maksimizirati svoj užitak a minimizirati neugodu, pridržavaju se zakona jer žele izbjeći neugodu sankcija koje bi podnijeli kad bi kršili zakon [2, p. 9]. Odnosno, strah od kazne je uzrok djelotvornosti odvrćanja. Eksperimentalna istraživanja pokazuju da odvrćanje djeluje te da se ljudi u odlučivanju o kršenju propisa u značajnoj mjeri ponašaju sukladno očekivanjima Ekonomskog modela odvrćanja [37, p. 205].

Ekonomski pristup temelji se na pretpostavci o racionalnosti pojedinca (agenta) [38] te na pretpostavci o slobodnoj volji pojedinca, odnosno njegovoj mogućnosti da samostalno odluči o svojim akcijama [36, p. 237]. Racionalnost agenata formalno se analizira i modelira kroz **teoriju koristi** (engl. *Utility theory*) kojom se mjere preferencije agenata [40]. Kvantifikacija stanja svijeta te preferencija agenata provodi se putem **funkcije koristi** (engl. *Utility function*). U kontekstu donošenja odluka, racionalnost je moguće definirati kao želju za maksimizacijom dobitka [41] odnosno maksimizacijom vrijednosti funkcije korisnosti. **Racionalni donositelj odluke** odabire onu opciju iz skupa svih mogućih alternativa koja mu osigurava najbolji **povrat** (engl. *payoff*), u skladu s njegovim preferencijama [38]. Odnosno, odabrana opcija je ona za koju funkcija korisnosti donositelju odluke daje maksimalnu vrijednost [38]. Ako akteri imaju dvojbe o stanju svijeta ili mogu birati između više mogućih akcija, koje će im dati različite povrate, tada se razmatra njihova **očekivana korist** (engl. *Expected utility*), odnosno očekivana vrijednost njegove funkcije koristi u odnosu na odgovarajuću distribuciju vjerojatnosti po mogućim stanjima [40]. Dakle, ako aktera *A* može

zadesiti n stanja, pri čemu je vjerojatnost pojave i -tog stanja p_{Ai} , a očekivani povrat vezan uz to stanje je k_{Ai} , tada se očekivana korist aktera A može izraziti kao:

$$\pi_A = \sum_{i=1}^n p_{Ai} \cdot k_{Ai} \quad (1)$$

Pri tome korist i financijska vrijednost povrata često nisu linearno povezane [40]. Odnosno, preferencije aktera često se ne mogu kvantificirati isključivo kroz maksimizaciju financijske vrijednosti očekivane koristi.

Teorija racionalnog izbora u kriminologiji primjenjuje ideju očekivane koristi na proces odlučivanja (potencijalnog) prekršitelja: pojedinac razmatra moguće povrate (benefite i cijenu – kaznu, tj. sankciju) kršenja propisa te donosi proračunatu odluku utemeljenu na vlastitoj procjeni koja akcija će mu donijeti maksimalnu korist [37, p. 201].

Primjenu teorije odlučivanja te teorije racionalnog izbora na kriminalitet popularizirao je 60-ih godina XX. stoljeća Gary Becker³ [42]. Becker je kriminalnu aktivnost opisao kao posljedicu racionalnih odluka temeljenih na usporedbi očekivane koristi kršenja zakona, vjerojatnosti da će počinitelj biti uhvaćen u kršenju i cijene (tj. sankcije) te formalno prikazao teoriju racionalnog izbora kao **ekonomski model kriminala** (poznat i kao **ekonomika kriminala**) sljedećom formulom [42][33]:

$$\pi = c(y - p) + (1 - c)y \quad (2)$$

gdje je: π : očekivana korist (potencijalnog) prekršitelja

c : vjerojatnost kažnjavanja

y : povrat prekršitelja (ako krši)

p : kazna

U Beckerovom Ekonomskom modelu kriminala [18], (potencijalni) prekršitelj (tj. agent) pokušava maksimizirati vrijednost svoje funkciju korisnosti. Odnosno, postupa racionalno, tj. „sebično”. Institucija, odnosno provoditelj zakona nastupa nesebično, te je zainteresirana za opće dobro [43]. Provoditelj zakona promatra se kao egzogeni faktor modela – model ne razmatra povratnu vezu prema provoditelju zakona. Odnosno, ne razmatra se na koji način interakcija između provoditelja i agenta utječe na vjerojatnost kažnjavanja (c) [33]. π se naziva i **subjektivnom očekivanom koristi** jer je odraz specifičnih očekivanja i

³ Za primjenu ekonomske analize odnosno ekonomskog pristupa na područja poput kriminala, G. Becker je 1992. godine nagrađen Nagradom Švedske narodne banke za ekonomske znanosti u sjećanje na Alfreda Nobela.

preferencija agenta [37, p. 204], te mu je svojstven. Odnosno, pri primjeni teorije racionalnog odabira i ekonomskog modela kriminala treba uzeti u obzir da preferencije različitih pojedinaca mogu biti različite [37, p. 206].

Veća sklonost pojedinca preuzimanju rizika također povećava i subjektivnu očekivanu korist kršenja propisa [37, p. 207], obzirom da smanjuje subjektivnu procjenu vjerojatnosti kazne. Pri tome se sklonost preuzimanju rizika i samokontrola mogu konceptualizirati i kao stabilne karakteristike pojedinca [37, p. 207].

Iz Beckerovog modela (2) proizlazi da će agent kršiti propis ako je $y - cp > 0$, a bit će usklađen ako $y - cp < 0$. Pri tome korist kršenja može biti i izbjegavanje troška usklađenosti.

Becker [42] smatra da bi zakonodavci i političari trebali prilagođavati iznos kazne (p) i vjerojatnost kažnjavanja (c), kako bi se postiglo optimalno rješenje za društvo. Sukladno ekonomskom modelu kriminala, ako se želi smanjiti razina kršenja propisa potrebno je poduzeti jednu ili više sljedećih radnja [36, p. 241]:

1. Povećati cijenu kršenja, odnosno kaznu ($\uparrow p$);
2. Povećati benefite usklađenosti;
3. Smanjiti benefite kršenja ($\downarrow y$);
4. Smanjiti cijenu usklađenosti.

Ekonomski model kriminala primjenjiv je i na organizacije. Primjena teorije racionalnog izbora na poduzeća – a posebice na dionička društva – može biti posebno prikladna [39] obzirom da te organizacije imaju jasnu vlastitu funkciju koristi: maksimizaciju financijskog dobitka vlasnika. Pri tome, prema Beckeru [44], ekonomski pristup kriminalu (i životu) ne znači samo maksimizaciju materijalnog dobitka, već maksimizaciju percipirane dobrobiti za donositelja odluke.

Primjena ekonomskog modela kriminala omogućuje izvođenje daljnjih zaključaka. U kompleksnim okruženjima poput bankarstva, proizvodnim i prerađivačkim aktivnostima s velikim utjecajem na okoliš i slično, poduzeća se moraju pridržavati velikog broja propisa. Kršenje propisa će, ukoliko je otkriveno, rezultirati sankcijama i kaznama, koje mogu ovisiti o pravilu koje je prekršeno. Kazne za neusklađenost mogu biti jedinstvene za grupu odredaba u regulativi, pa čak i za sve odredbe u nekom zakonskom aktu [45], a mogu biti i varijabilne – primjerice mogu ovisiti o ozbiljnosti prekršaja te njegovom negativnom utjecaju na društvo [46]. S druge strane, usklađenost s odredbama propisa možda neće imati nikakve izravne

benefite za organizaciju, no postizanje usklađenosti će gotovo sigurno uzrokovati troškove. Troškovi mogu varirati, ovisno o zahtjevima specifične odredbe i karakteristikama organizacije. Postizanje usklađenost s odredbama može biti vrlo jeftino (primjerice, promjena redoslijeda određenih administrativnih postupaka), zahtijevati srednje resurse (primjerice, uspostavljanje specifičnih procesa ili organizacijskih funkcija) ili biti vrlo zahtjevno (primjerice, osiguravanje dodatnog kapitala, uspostavljanje alternativnih mogućnosti i kapaciteta procesiranja podataka, smanjivanje emisije štetnih tvari, itd.). U takvim okolnostima, organizacije će, prema ekonomskom modelu kriminala, procijeniti troškove postizanja usklađenosti, kaznu i vjerojatnost kažnjavanja te donijeti racionalnu odluku hoće li se i u kojoj mjeri uskladiti s relevantnim odredbama. Iz navedenoga proizlazi da, sukladno ekonomskom modelu kriminala, troškovi usklađenosti imaju bitan, ako ne i ključan utjecaj na usklađenost organizacije s propisima, što naglašava i May [47] u svom empirijskom istraživanju o usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša u Danskoj.

U kontekstu inspekcije usklađenosti, ekonomski model kriminala moguće je primijeniti i na modeliranje odnosa inspeksijske (tj. nadzorne ili regulatorne) agencije koja provjerava usklađenost s određenom grupom propisa te entiteta (organizacija ili pojedinaca) koji su dužni pridržavati se tih propisa. Cohen [46] navodi kako većina autora u svojim modelima i analizama polaze od pretpostavke da regulatori, odnosno inspeksijske agencije, žele maksimizirati usklađenost s propisima. S druge strane, inspeksijske agencije uobičajeno raspolažu ograničenim resursima koje mogu posvetiti nadzoru odnosno inspekciji usklađenosti. Stoga je cilj inspeksijske agencije moguće definirati i kao: postizanje najviše razine usklađenosti, uz zadani budžet [48]. Ekonomska analiza kriminala alokaciju resursa za nadzor usklađenosti identificira kao važan problem [49]. Očekivanja entiteta koji mogu biti predmetom inspekcije također ovise o postupanju inspeksijske agencije i alokaciji inspeksijskih resursa. Naime, entiteti žele maksimizirati svoju subjektivnu očekivanu korist, važan dio čega je i procjena vjerojatnosti hoće li će inspeksijska agencija provesti inspekciju.

Iznos i tip kazne imaju, sukladno opisanom modelu, velik utjecaj na odluku o kršenju ili usklađenosti. U skladu s teorijom racionalnog izbora, kazne ne bi trebale biti drakonske već samo dovoljno velike da odvrate od kršenja [37, p. 202]. U kontekstu ekonomskog modela kriminala, Becker [42] naglašava poželjnost novčanih kazna te zaključuje kako bi novčane kazne trebalo preferirati nad drugim vrstama kažnjavanja, kad god je to izvedivo, obzirom da je lakše modelirati odluke agenata zbog predvidljivosti funkcije koristi. Uz navedeno, financijske kazne trebalo bi kombinirati s visokom vjerojatnošću primjene [49]. Becker [42]

također navodi da drakonske kazne mogu biti kontraproduktivne jer se u okruženju s takvim kaznama prekršitelji često neće kažnjavati. S druge strane, visoka kazna za kršenja s nižim štetnim utjecajem na društvo može počinitelja potaknuti na eskalaciju, tj. na daljnje kršenje kako bi se prikrio inicijalni događaj (primjerice, ubojstvo radi prikrivanja krađe) [49]. Nadalje, organizacijska kultura tvrtke i ekonomska klima okruženja mogu imati veći utjecaj na kršenje nego što je odvraćajući utjecaj pravnog okruženja [2, p. 38]. S druge strane, Pradiptyo [43] navodi kako empirija pokazuje da su male financijske kazne zapravo neučinkovite zbog problema njihove naplate.

Odvraćajući utjecaj kazna može biti općenit i specifičan [36, p. 237]. **Specifično odvraćanje** razmatra utjecaj koji je akcija provoditelja zakona (nadzornika, regulatora, inspektora i slično) imala na entitet koji je kažnjen, dok **općenito odvraćanje** razmatra utjecaj koji je akcija provoditelja zakona nad jednim entitetom imala na druge relevantne entitete [50].

Pretpostavka o ljudskoj racionalnosti u donošenju odluka podloga je ekonomske analize te omogućuje postavljanje analitičkih modela, no ujedno je i vrlo zahtjevna. Naime, **savršena racionalnost** zahtjeva savršeno poznavanje okruženja. U kontekstu ekonomskog modela kriminala, savršena racionalnost pretpostavlja da agent ima potpune i točne informacije o očekivanim koristima kršenja te iznosu kazne, kao i potpune i točne informacije o vjerojatnosti kažnjavanja, ako agent odluči kršiti propis. Nadalje, savršena racionalnost pretpostavlja da agent savršeno zna vlastite preferencije (odnosno njihov redoslijed i kvantifikaciju), da je nepristran u odlučivanju te da može nepogrešivo računati, u stvarnom vremenu (engl. *real-time*) [51]. Ove zahtjeve je teško (a često i nemoguće) ispuniti te se uvjet savršene racionalnosti u modelima često ublažuje primjenom koncepta ograničene racionalnosti.

Ograničena racionalnost (engl. *Bounded rationality*) naziv je za pretpostavku da ljudi u donošenju odluka nisu savršeno racionalni, obzirom na posjedovanje nepotpunih informacija, kognitivna ograničenja te konačno vrijeme u kojem moraju donijeti odluke [10]. Ovaj pojam prvi je opisao i definirao Simon⁴ [52] koji smatra da ljudi, iako pokušavaju biti potpuno racionalni, griješe u donošenju odluka zbog vlastitih heuristika i pristranosti (engl. *bias*), ne mogu savršeno izračunati vjerojatnosti, čine logičke pogreške te djeluju u okolnostima s nesavršenim i nepotpunim informacijama.

⁴ Za svoj rad na analizi načina donošenja odluka, uključujući i razmatranja o ograničenoj racionalnosti, H. Simon je 1978. godine nagrađen Nagradom Švedske narodne banke za ekonomske znanosti u sjećanje na Alfreda Nobela.

I Becker [42] kritizira (ne)realnost pretpostavke o savršenoj racionalnosti, odnosno o posjedovanju savršenih informacija i mogućnosti „izračuna brzinom svjetlosti“. Teorija racionalnog izbora ne zahtjeva da su ljudi savršeno racionalni u donošenju odluka – oni mogu raspolagati ograničenim informacijama te raditi pogreške u izračunu – no teorija racionalnog izbora bit će primjenjiva ako ljudi posjeduju dovoljnu racionalnost da prikupe dio informacija, razmotre posljedice mogućih odluka prije samog donošenja odluke te postupe u skladu s tim [36, p. 238]. Empirijske studije s područja ekonomike kriminala podupiru ideju da je ljudska racionalnost ograničena [53].

Teorija racionalnog izbora prožimlje te predstavlja temelj većine promišljanja o kaznenopravnom sustavu [36, p. 241]. Tako Ko i koautori [39] na temelju sekundarnih empirijskih podataka zaključuju kako ekonomski poticaji nesumnjivo imaju utjecaj na odluke poduzeća hoće li biti usklađena s propisima o sigurnosti na radu ili će ih kršiti. Winter i May [26] u analizi sekundarnih empirijskih podataka o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša u Danskoj motivaciju za usklađenošću promatraju, sukladno ekonomskom modelu kriminala, kao kombinaciju percipirane vjerojatnosti kažnjavanja te troška usklađenosti. Teorija racionalnog izbora predstavlja i temelj mnogobrojnih općenitih modela inspekcije [53][54], kao i specifičnih modela inspekcije usklađenosti s poreznim propisima (tzv. porezna evazija) [7][55], inspekcije usklađenosti se s propisima o zaštiti okoliša [39], itd.

2.3. Teorija igara

Proširenje primjene teorije odlučivanja, pretpostavke o racionalnosti donositelja odluka te pretpostavke maksimizacije subjektivne očekivane koristi i na nadzornike (tj. inspeksijske agencije) dovodi do teorije igara. Odnosno – pojednostavljeno – teorija odlučivanja modelira probleme u kojima racionalni donositelj odluka postupa strateški, a teorija igara modelira probleme u kojima oba (ili više) donositelja odluka postupaju strateški [23]. Nasuprot ekonomskom modelu kriminala (koji je usredotočen na samog prekršitelja), teorija igara i – specifično – igra inspekcije [6], fokusira se na strateški odnos (potencijalnog) prekršitelja i inspektora.

2.3.1. Osnovni koncepti i primjena

Teorija igara sažeto se može opisati kao formalna studija konflikata i suradnje koja pruža metodologiju za strukturiranu analizu problema strateškog izbora [41]. Rubinstein [38] navodi da je teorija igara skup formalnih modela koji omogućuju analizu strateških i racionalnih odluka ekonomskih agenata. Strategija, u kontekstu teorije igara, predstavlja skup pravila za ponašanje donositelja odluka u svim situacijama koje mogu nastati. Nadalje, u kontekstu teorije igara, donositelj odluke još se naziva i **igračem** [38].

U ovom poglavlju izloženi su osnovni koncepti teorije igara što uključuje tipove igara, karakteristike informacija te karakteristike strategija igrača. Izloženi pojmovi nužni su za razumijevanje primjene teorije igara na inspekciju usklađenosti te za razumijevanje opisa razvijenog modela koji je sadržan u daljnjim poglavljima rada. Ekstenzivni pregled teorije igara moguće je pronaći u [56][57][58][59], a suženi u [41][60] te, posebice relevantno za ovaj rad, u [33].

Formalna definicija igre (u kontekstu teorije igara) obuhvaća igrače, njihove preferencije, informacije s kojima raspolažu te moguće akcije [41]. Igrači, kao i u teoriji racionalnog odabira, žele maksimizirati svoju očekivanu korist, koja nije nužno financijska, pa čak niti materijalna, već obuhvaća ukupnu očekivanu dobrobit. Želja za maksimizacijom očekivane koristi smatra se racionalnim ponašanjem igrača. Pretpostavka da su igrači racionalni jest temeljna pretpostavka teorije igara. Otpuštanjem te pretpostavke, modeli postaju manje preskriptivni, a više deskriptivni [41].

Tipovi igara:

1. Kooperativne/nekooperativne. U **nekooperativnim igrama** (engl. *non-cooperative games*) svi igrači odluke donose samostalno, bez usklađivanja (tj. koordinacije) s drugim igračima. **Kooperativne igre** (engl. *cooperative games*) uključuju i dogovore odnosno koalicije igrača.
2. Koordinacija/natjecanje. Igre, u krajnjim varijantama, mogu biti **igre čiste koordinacije** (engl. *pure coordination game*) u kojima igrači nemaju suprotstavljene interese ili **igre čistog natjecanja** (engl. *pure competition games*) u kojima su interesi igrača potpuno suprotni. Primjer igara čistog natjecanja su igre koje su **sumarno u nuli** (engl. *zero-sum games*), u kojima je dobitak jednog igrača ujedno i gubitak drugog igrača [40].

3. Istovremene/slijedne. U **istovremenim igrama** (engl. *simultaneous games*), igrači djeluju istovremeno te odluke donose bez znanja kakve odluke su donijeli drugi igrači. U **slijednim** tj. sekvencijalnim **igramama** (engl. *sequential games*) igrači slijedno djeluju te imaju određene informacije o prethodnim postupcima drugih igrača.
4. Ponavljane/jednopotezne. **Ponavljane igre** (engl. *repeated games*) se više puta ponavljaju s istim igračima, pri čemu broj ponavljanja može biti **konačan** ili **beskonačan**. **Jednopotezne igre** (engl. *one-off games*) odvijaju se samo jednom.

Igre se mogu prikazati u **strateškom obliku** (engl. *strategic form*) tj. **normalnom obliku** (engl. *normal form*) ili u **ekstenzivnom obliku** (engl. *extensive form*). Igre u normalnom obliku prikazuju povrate igrača u tabličnoj formi odnosno u obliku **matrice povrata** (engl. *payoff matrix*), a ekstenzivni oblik prikazuje **stablo igre** (engl. *game tree*). Stablo igre posebno je prikladno za prikaz igara koje se mijenjaju kroz vrijeme.

Informacije s kojima igrači raspolazu mogu biti:

1. Savršene/nesavršene. **Savršene informacije** (engl. *perfect information*) podrazumijevaju da svi igrači znaju sve poteze koji su nastali do tog trenutka. **Nesavršene informacije** (engl. *imperfect information*) podrazumijevaju da igrači nemaju sve informacije te se pojavljuju u istovremenim igrama.
2. Potpune/nepotpune. **Potpune informacije** (engl. *complete information*) podrazumijevaju da igrači imaju sve informacije o strukturi igre i povratima drugih igrača. Igrači poznaju stablo igre u kojoj sudjeluju. **Nepotpune informacije** (engl. *incomplete information*) podrazumijevaju da igrači imaju određene nepoznanice o strukturi igre, povratima drugih igrača te ne mogu sa sigurnošću predvidjeti njihove postupke.
3. Simetrične/asimetrične. **Simetrične informacije** (engl. *symetric information*) podrazumijevaju da igrači imaju iste informacije. **Asimetrične informacije** (engl. *asymetric information*) podrazumijevaju da igrači imaju različite informacije.

Karakteristike strategija igrača:

1. Čista/miješana. **Čista strategija** (engl. *pure strategy*) podrazumijeva da igrač deterministički odabire jednu od mogućih strategija te je provodi. **Miješana strategija**

(engl. *mixed strategy*) podrazumijeva da igrač s određenom vjerojatnošću (stohastički) odabire nekoliko mogućih (čistih) strategija.

2. Dominantna/dominirana. **Dominantna strategija** (engl. *dominant strategy*) je ona za koju će igrač dobiti najbolji povrat, neovisno o strategiji drugog igrača. Analogno tome, **dominirana strategija** (engl. *dominated strategy*) je ona koja je za igrača lošija od neke druge (njegove) strategije, neovisno o akciji drugog igrača.
3. Maximin/minimax. **Maximin strategija** igraču osigurava najbolji povrat u slučaju da njegovi protivnici igraju strategije koje mu najmanje odgovaraju (ovakva strategija je razuman izbor konzervativnog agenta koji ne želi nagađati što će njegov protivnik napraviti). **Minimax strategija** osigurava da ostali igrači imaju najlošiji povrat.

Nashev⁵ ekvilibrij je ravnotežna točka u kojoj svaki igrač igra svoju čistu ili miješanu strategiju te ne može jednostranim postupanjem popraviti svoj povrat. Ako eliminacija dominiranih strategija dovede do jednoznačne kombinacije strategija, ta kombinacija strategija je Nashev ekvilibrij te igre. U igri ne mora postojati Nashev ekvilibrij (ako igra nije konačna) ili može postojati jedan ili više Nashevih ekvilibrija. Ako je rješenje igre miješani Nashev ekvilibrij, tada vjerojatnost odabira čistih strategija ovisi isključivo o povratima drugih igrača.

U određenim igrama jedan igrač može preuzeti ulogu **vođe** (engl. *leadership*), ako može igrati prvi (tj. ako je riječ o slijednim igrama) ili ako se može vjerodostojno jednostrano obvezati (signalizirati) da će igrati određenu strategiju. Time vođa može „prisiliti“ drugog igrača na igranje specifične strategije ili podskupa mogućih strategija. Takove igre nazivaju se i igrama sa **Stackelbergovim vodstvom** [61] te će u njima uvijek postojati ravnotežno stanje, odnosno ekvilibrij. Stackelbergovo vodstvo temelji se na ideji signalizacije odnosno vjerodostojnog obvezivanja, te bi umjesto „vodstva“ prikladniji termin mogao biti „mogućnost obvezivanja“ [60].

Analitička rješenja teorije igara često su matematički vrlo zahtjevna [60]. Teorija igara uglavnom analizira ravnotežno stanje (ekvilibrij). Međutim, do postizanja ravnotežnog stanja može proći puno vremena, odnosno koraka igre, što može biti neprihvatljivo u praktičnim primjenama.

⁵ Za svoj rad na izradi koncepta Nashevog ekvilibrija, John F. Nash je 1994. godine nagrađen Nagradom Švedske narodne banke za ekonomske znanosti u sjećanje na Alfreda Nobela.

Teorija igara primjenjiva je na širok raspon problema. Samo u kontekstu odlučivanja, primjenjivana je na odluke od makro-razine (npr. analiza geostrateških odluka), preko odlučivanja u poslovnom okruženju, pregovaranja, i primjene zakona do modeliranja na mikro razini (npr. ponašanje pojedinaca u intimnim vezama) [62][63][64].

Neki autori utjecajnih radova s područja teorije igara poput Rubinsteina [38] i Shubika [65] vrlo su skeptični prema analitičkim rješenjima različitih igara te primjenjivosti tih rješenja na ponašanje ljudi u stvarnosti. Dodatno, eksperimenti pokazuju da stvarno ponašanje ljudi u nekim vrlo poznatim igrama (primjerice, „Ultimatum”) nije u skladu s očekivanjima teorije igara [38].

2.3.2. Igra inspekcije

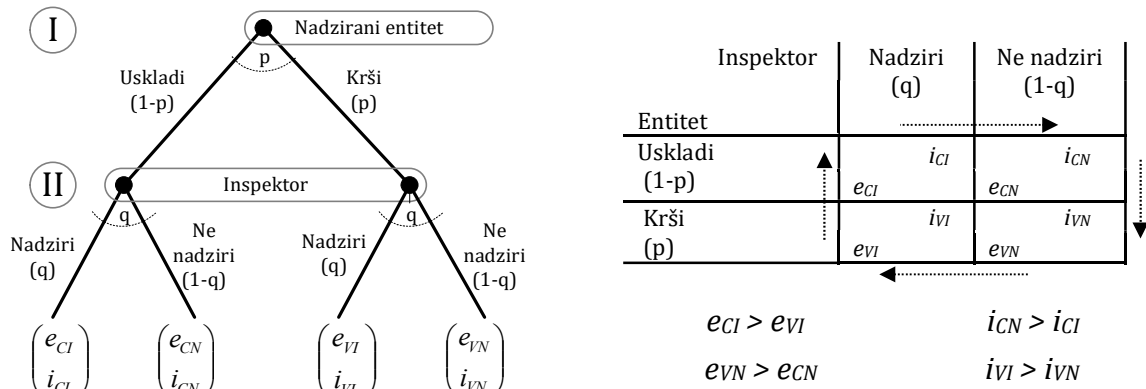
Inspekcija usklađenosti se, u kontekstu teorije igara, razmatra kroz posebnu klasu nekooperativnih igara pod zajedničkim nazivom **igra inspekcije**. Primjenjivost takve igre na problem inspekcije Deutsch i Golany [66] tumače činjenicom da igra inspekcije učestalo ima hijerarhijsku strukturu. Nadzornik, odnosno inspekcijska agencija želi provjeriti usklađenost entiteta s relevantnim propisima, korištenjem inspekcija. Obzirom da su resursi inspekcijske agencije ograničeni, provjera može biti samo djelomična. Ako se agencija i podređeni entiteti ponašaju strateški, njihov odnos može se modelirati kao nekooperativna igra.

Teoriju igara je na problem inspekcije prvi primijenio Dresher 1962. godine [67]. Inicijalno, igra inspekcije primjenjivana je na probleme nuklearnog razoružanja, odnosno probleme koje karakterizira visoka cijena inspekcije, mali broj nadziranih, i slično [67][68]. Dresherova igra je tako ograničena na samo jednu inspekciju [60], ali i pretpostavlja da nadzirani agent može samo jednom odlučiti kršiti uspostavljena pravila. Maschler [69] je generalizirao Dresherov model poopćavanjem mogućeg iznosa kazne. Daljnji autori su iterativno usložnjavali inicijalne modele i/ili ih rješavali za posebne slučajeve. Igra inspekcije naknadno je primjenjivana na raznovrsne probleme poput nadzora nuklearnog razoružanja, nadzora kupovine karata u javnom prijevozu [70], inspekcijskog nadzora u visoko reguliranim industrijama [71], nadzor radnika [72], bankovne supervizije [73], porezne inspekcije, inspekcije zaštite okoliša, odnos političara i birokrata, krijumčarenje, itd. [6][9].

Pregled literature o igri inspekcije može se naći u [60][68][74][23].

Slika 2.1 prikazuje igru inspekcije u ekstenzivnom i normalnom obliku. Entitet koji se mora pridržavati određenog pravila odlučuje (I. korak) hoće li se uskladiti s predmetnim

pravilom ili će ga kršiti. U trenutku donošenja odluke, entitet ne zna sa sigurnošću hoće li inspektor provoditi nadzor usklađenosti s pravilom. U II. koraku inspektor odlučuje hoće li nadzirati usklađenost entiteta s pravilom. U trenutku donošenja odluke, inspektor ne zna hoće li entitet kršiti pravilo ili neće.



Slika 2.1 – Igra inspekcije u ekstenzivnom i normalno obliku (prilagođeno prema [9, p. 280], slika 1.)

Matrica povrata (Slika 2.1) prikazuje odnose povrata za entitet i inspektora. Iz prikazanog je vidljivo da igra nema stacionarni ekvilibrij, obzirom da oba igrača uvijek imaju razlog promijeniti svoju strategiju. Naime, ako je početno stanje – na primjer – uskladi/nadziri s povratima (e_{CI}, i_{CI}) , inspektor neće htjeti provoditi inspekciju te će imat razlog promijeniti strategiju u uskladi/ne nadziri, obzirom da je $i_{CN} > i_{CI}$ te su povrati za oba igrača (e_{CN}, i_{CN}) . Međutim, u tom stanju entitet će imati razlog promijeniti strategiju u krši/ne nadziri, obzirom da je $e_{VN} > e_{CN}$ te su povrati za oba igrača sad (e_{VN}, i_{VN}) . Sad inspektor ima razlog promijeniti strategiju u krši/nadziri obzirom da je $i_{VI} > i_{VN}$ te su povrati za oba igrača (e_{VI}, i_{VI}) . U ovom stanju, entitet ima razlog promijeniti strategiju u uskladi/nadziri, obzirom da je $e_{CI} > e_{VI}$, te je igra sada opet u početnom stanju s povratima (e_{CI}, i_{CI}) . Strelice u matrici povrata označavaju slijed preferencija igrača.

Iz navedenoga proizlazi da igra inspekcije nema dominantne, pa čak niti dominirane strategije te je ekvilibrij igre u miješanoj strategiji [33].

George Tsebelis [43][23][75] primijenio je igru inspekcije na problem inspekcije kriminala te pokazao kako, za racionalne igrače, strategija prekršitelja ovisi isključivo o povratima inspektora, a strategija inspektora ovisi isključivo o povratima prekršitelja. Naime, ako je p vjerojatnost kršenja propisa, a q vjerojatnost inspekcije usklađenosti, tada je optimalna miješana strategija, odnosno ravnotežna točka [23] dana s:

$$p^* = \frac{i_{VN} - i_{VI}}{i_{CI} - i_{CN} + i_{VN} - i_{VI}} \quad q^* = \frac{e_{CN} - e_{VN}}{e_{CN} - e_{VN} + e_{VI} - e_{CI}} \quad (3)$$

Vrijednosti p^* i q^* daju sukus primjene teorije igara na problem inspekcije. Naime, teorija igara omogućuje analizu strateških interakcija između igrača. Odluke svakog igrača prvenstveno ovise o njegovom vjerovanju o daljnjim postupcima (potezima) suparnika. U skladu s tim, ravnotežna vjerojatnost kršenja propisa (p^*) od strane entiteta ovisi isključivo o povratima inspektora. Analogno tome, ravnotežna vjerojatnost inspekcije (q^*) ovisi isključivo o povratima entiteta.

Ovi rezultati dovode do razmjerno kontroverznih zaključaka. Jedan od najznačajnijih jest da visina sankcije (e_{VI}) nema utjecaj na ponašanje entiteta, odnosno na njegovu odluku o kršenju ili usklađenosti (p^*), što je u suprotnosti s ekonomskim modelom kriminala, ali i s rezultatima eksperimenata [53]. Uz navedeni, analiza igre inspekcije ukazuje i na daljnje zaključke [23][33]: veći poticaji inspektorima dovode do manje kršenja, poticaji inspektorima ne utječu na razinu inspekcije te više kazne dovode do manjeg broja inspekcija.

Tsebelisova igra inspekcije ovisi o nekim vrlo zahtjevnim pretpostavkama – posebno je značajna pretpostavka o potpunim informacijama, odnosno pretpostavka da entiteti znaju točne povrate inspektora, a inspektori znaju točne povrate entiteta. Međutim, obzirom na strukturu igre te opisane utjecaje povrata na odluke igrača, svaki igrač bit će motiviran sakriti svoje povrate od protivnika. Stoga pretpostavka da igrači savršeno znaju povrate svojih suparnika nije realna [53]. Nadalje, u Tsebelisovom modelu inspektor nastupa racionalno, tj. pokušava maksimizirati svoju funkciju korisnosti [43]. Odnosno, inspektor se ne promatra kao predstavnik inspeksijske agencije koji je zainteresiran za opće dobro ili za ispunjavanje nekog drugog cilja inspeksijske agencije (odnosno nekakvog centralno upravljanog ili koordiniranog entiteta), već je vođen svojim – individualnim – interesima. Beckerov model mnogo bolje opisuje okruženje u kojem jedna inspeksijska agencija centralizirano koordinira veći broj inspektora i inspekcija nego Tsebelisov modela [43].

Zbog jednostavnosti modela i kontraverznosti rezultata, Tsebelisova igra i njeni rezultati ekstenzivno su analizirani i proučavani iako su eksperimentalne provjere rijetko provedene [76, p. 156]. Andreozzi [77] zaključuje da su analitički rezultati modela ispravni, no reflektiraju vrlo jednostavne pretpostavke modela – jednopotezna igra s dva igrača i potpunim informacijama – koje ne odgovaraju stvarnosti. Laboratorijski eksperimenti [53][72] te analiza sekundarnih empirijskih podataka [78][50] pokazuju rezultate koji su djelomično u skladu, a djelomično

suprotni sa Tsebelisovim zaključcima. Tako Rauhutovi [33] eksperimenti pokazuju da viša kazna dovodi do manjeg broja inspekcija (što je u skladu s predviđanjima igre inspekcije), ali i do manje kriminala (što je u suprotnosti s predviđanjima igre inspekcije, ali u skladu s predviđanjima ekonomskog modela kriminala). Nosenzo i koautori [72] eksperimentalno su utvrdili da ljudi mijenjanju svoju strategiju s promjenom svojih povrata, što bi bilo u suprotnosti sa Tsebelisovim zaključcima. Ovu razliku objašnjavaju bihevioralnim teorijama poput **nesklonosti preuzimanju rizika** (tzv. *risk aversion*) te činjenici da su povrati često asimetrični (ne vrijede jednako i jednoj i drugoj strani). Primjerice, financijska kazna može više vrijediti nadziranom koji je mora platiti nego inspektoru koji neće imati izravnu korist od naplaćene kazne. Ograničena racionalnost igrača često se navodi kao razlog učinkovitosti kazna na (potencijalne) prekršitelje [53]. Dodatno, laboratorijski eksperimenti pokazuju kako ljudi odluke o budućem ponašanju donose na temelju iskustava [53], odnosno ne zanemaruju povijest.

U okruženjima u kojima jedna inspekcijska agencija usmjerava više inspektora (konstantan broj odnosno kapacitet inspekcija) na više nadziranih entiteta, inspekcijski problem može se promatrati i kao **problem optimalne dodjele** (engl. *optimal assignment problem*) resursa [74].

Stackelbergovo vodstvo je, u kontekstu igre inspekcije, prvi razmatrao Machler [69]. U igri s **inspektorovim vodstvom** (engl. *Inspector leadership*), inspektor može unaprijed najaviti svoju miješanu strategiju inspekcije. Strategija mora biti miješana, jer bi čiste strategije nužno bile neoptimalne. Samo inspektor se može obvezati na igranje određene strategije, obzirom da je obvezivanje na specifičnu strategiju besmisleno za nadzirani entitet. Inspektorovo vodstvo pomaže inspektoru, obzirom da u ekvilibriju igre s inspektorovim vodstvom entitet igra „usklađi” [69][61].

Igra inspekcije se, kao i ekonomski model kriminala, primjenjuje na probleme inspekcije prvenstveno zbog jasne teorijske osnove i analitičke rješivosti. Međutim, razvijeni modeli igre inspekcije često se oslanjaju na vrlo „odvažne” pretpostavke koje su u suprotnosti s velikom većinom stvarnih slučajeva. Primjerice, pretpostavka o posjedovanju savršenih informacija [79], pretpostavka o posjedovanju savršenih informacija o povratima protivnika [43][23], 100%-tna točnost u detekciji kršenja propisa [43], itd. Nadalje, realističnost poznavanja povrata drugog igrača te sposobnost identifikacije „točke indiferentnosti”, koja je

nužna za pravilno određivanje vjerojatnosti odabira čistih strategija, u kontekstu miješane strategije je, u najmanju ruku, dvojbena [53].

Većina stvarnih scenarija (primjerice, porezna inspekcija, inspekcija usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, inspekcija usklađenosti s propisima o zaštiti na radu, itd.) ovise o uvođenju kompleksnijih pretpostavka i parametara:

1. Igra je ponavljana.
2. Veći broj inspektora i/ili entiteta (primjerice, scenariji 1-inspektor-n-entiteta ili m-inspektora-n-entiteta).
3. Igrači su ograničeno racionalni.
4. Igrači imaju nesavršene i/ili nepotpune informacije.
5. Igrači su heterogeni (primjerice, entitete karakteriziraju različite matrice povrata, posjeduju različite informacije, racionalnost im je ograničena na drugi način, itd.)
6. Igrači uče te se prilagođavaju okruženju.

Usložavanjem modela uvođenjem okolnosti kakve se pojavljuju u stvarnosti, modeli postaju realističniji, no često postaju i analitički nerješivi. Čak i recentno razvijeni modeli igre inspekcije koji uvode dodatnu složenost sukladnu realno očekivanim okolnostima i dalje moraju zadržati vrlo ograničavajuće pretpostavke kako bi bili analitički rješivi. Primjerice, Deutsch i Golany [66] opisuju model konačno ponavljanih inspekcija s jednim inspektorom i više entiteta gdje inspektor pokušava optimalno alocirati svoje (ograničene) inspeksijske resurse. Međutim i ovaj model ima vrlo ograničavajuće pretpostavke poput potpunih informacija.

Iako uvođenje kompleksnosti u igru inspekcije može biti ograničavajuće (ako se želi očuvati analitička rješivost modela), elementi igre inspekcije i općenito okruženje koje igra inspekcije opisuje mogu se uspješno koristiti u simulacijskim modelima poput modeliranja diskretnih događaja te agentnog modeliranja. Nadalje, okvir teorije igara ima veliku vrijednost i primjenu u naglašavanju strateškog odnosa između igrača.

Recentne publikacije [43][53][66] koje modeliraju inspekcijski problem često koriste elemente ekonomskog modela kriminala i/ili igre inspekcije, ali i uvode dodatnu složenost sukladnu realno očekivanim okolnostima te rezultatima eksperimenata i empirijskih istraživanja.

2.4. Modeliranje donošenja odluka u kontekstu inspekcije

Prethodna poglavlja naznačila su neke probleme u primjeni ekonomskog modela kriminala i igre inspekcije na problem inspekcije usklađenosti – u prvom redu u odnosu na (ograničenu) racionalnost donositelja odluka. Naime, dok većina ekonomske literature povezuje učenje i ponašanje ljudi s racionalnom optimizacijom [80], sekundarni empirijski i eksperimentalni podaci iz istraživanja s područja socijalne psihologije ne podupiru uvijek pretpostavku da su ljudi racionalni u donošenju odluka [81]. Stoga se postavlja pitanje kako modelirati proces donošenja odluka koji će u bitnim odrednicama odgovarati stvarnosti?

Modeliranje mehanizama donošenja odluka ljudi u ekonomskoj literaturi može se grupirati na sljedeće pristupe: klasična teorija igara, evolucijska teorija igara te pristupi temeljeni na učenju [82]. Donošenje odluka utemeljeno u **klasičnoj teoriji igara** (engl. *Classical Game Theory* - CGT), zasniva se na konceptu maksimizacije očekivane koristi, uključuje pretpostavke savršene racionalnosti i savršenih informacija te predviđanja ekvilibrija [82][83]. Ovaj pristup je ukratko razložen u poglavljima 0 i 2.3. **Evolucijska teorija igara** (engl. *Evolutionary Game Theory*) primjenjuje mehanizme biološke evolucije: selekciju, replikaciju i mutaciju [83][82]. Evolucijska teorija igara „otpušta“ pretpostavke savršene racionalnosti, daje osnovu za donošenje racionalnih odluka i u situacijama u kojima agenti ne posjeduju savršene informacije te ju je moguće promatrati i kao model učenja podrškom [83].

Klasična teorija igara modelira igrače kao **dalekovidne** (engl. *farsighted*) agente koji svoje odluke donose na temelju poznavanja povrata drugih igrača te posljedično, točnog predviđanja njihovih budućih postupaka. Ako se odustane od pretpostavke „hiper-racionalnosti“, modeli učenja ljudi temelje se na prošlosti, odnosno agenti mijenjaju svoje namjere i vjerovanja na temelju iskustava i drugih informacija iz **prošlosti** (engl. *backward-looking*). Modeli učenja na temelju prošlosti mogu uzimati u obzir uži (primjerice, samo informacije o posljednjoj akciji) ili širi skup informacija o nastalim događajima [76]. Eksperimentalni podaci potvrđuju da su očekivanja ljudi o budućnosti utemeljena na informacijama o prošlosti. [84, p. 984]

Teorije učenja moguće je podijeliti na **deskriptivne teorije učenja** koje opisuju kako akteri uče u stvarnosti i na **preskriptivne teorije učenja** koje opisuju kako bi akteri trebali učiti [40]. Na učenje agenata često se primjenjuju algoritmi **strojnog učenja** [85] koji uključuju

nadzirano učenje (engl. *supervised learning*) u kojem agentu neki vanjski entitet daje smjernice odnosno upute, **nenadzirano učenje** (engl. *unsupervised learning*) u kojem agent samostalno uči, te **učenje podrškom** (engl. *reinforcement learning*) u kojem agent uči kroz svoju interakciju s okolinom [86]. Učenje podrškom, tj. reaktivno učenje ne modelira eksplicitno strategiju protivnika već agent, na temelju svojih iskustava, donosi odluke. Odnosno, agenti promatraju samo svoje povrate te nemaju nikakve pretpostavke o ponašanju drugih igrača [87]. Modeli učenja podrškom ne zahtijevaju niti *a priori* pretpostavku racionalnosti agenata [88]. Pristupe učenju moguće je podijeliti i na:

1. Učenje utemeljeno na logici, reaktivno učenje te društveno učenje [85].
2. Nesvjesno učenje, učenje utemeljeno u rutini (engl. *Routine-based learning*) te **učenje utemeljeno u vjerovanju** (engl. *Belief-based learning*) [80].

U okviru svakog od navedenih pristupa postoji više različitih modela učenja te odabir odgovarajućeg modela predstavlja značajan problem. Brenner [80] predlaže sljedeći algoritam za donošenja odluka o primjeni određenog modela učenja:

1. Ako je situacija nevažna ili dobro poznata, primjenjivi su modeli nesvjesnog učenja.
2. Ako je situacija važna ili neuobičajena, ali je samo učenje rutinirano, primjenjivi su modeli utemeljeni u rutini.
3. Ako je situacija važna ili neuobičajena, a vjerovanje agenata ima značajnu ulogu, primjenjivi su modeli utemeljeni u vjerovanju.

Jednostavni i popularni modeli učenja utemeljenog u vjerovanju su fiktivna igra i učenje na pravilima [80]. **Učenje na pravilima** (engl. *Rule-based Learning*) slično je učenju podrškom, no umjesto podržavanja određenog tipa ponašanja, agent na temelju iskustva određuje vjerojatnost primjene specifičnih pravila ponašanja [89].

Fiktivna igra (engl. *Fictitious play*) je jednostavan model koji očito ne predstavlja u potpunosti realno ljudsko učenje [40], no zbog svoje jednostavnosti i prikladnosti često se koristi kao model učenja agenata te se primjenjuje i u složenijim višeagentnim modelima [40][82][87][80]. U fiktivnoj igri agent uči iz povijesti te sukladno naučenom prilagođava svoje vjerovanje o strategijama drugih igrača. Odnosno, agent vjeruje da protivnik igra miješanu strategiju te prilagođava svoju procjenu vjerojatnosti budućih akcija protivnika na temelju empirijskih distribucija njegovih prethodnih postupaka [40]. Fiktivna igra je osjetljiva na

inicijalne pretpostavke agenta [40]. Koristi se i za modeliranje učenja u modelima inspekcije [76] te se može prikazati sljedećim pseudokodom:

```
Inicijaliziraj vjerovanje o strategiji protivnika;  
Ponovi u svakom koraku igre:  
    Igraj najbolji odgovor na pretpostavljenu strategiju protivnika;  
    Prouči kako je protivnik stvarno igrao;  
    Prilagodi svoju strategiju novim saznanjima;
```

Kompleksniji model učenja je **Bayesovo učenje** (engl. *Bayesian learning*) koji pretpostavlja da su igrači svjesni strateškog konteksta igre odnosno da imaju vjerovanja o postupanju protivnika [82]. Model Bayesovog učenja omogućuje postavljanje puno „bogatijih“ pretpostavki o ponašanju protivnika, odnosno o strategijama protivnika od, primjerice, fiktivne igre [40]. Bayesovo učenje još se naziva i **racionalnim učenjem**, obzirom da pretpostavlja visoku razinu racionalnosti i informiranosti agenta, za razliku od jednostavnih modela **ograničeno racionalnog učenja**. Primjer modela ograničeno racionalnog učenja je fiktivna igra. Ponašanje inteligentnih agenata često [90] se opisuje i pomoću modela **vjerovanje-želja-namjera** (engl. *belief-desire-intention* - BDI).

Modele racionalnog i ograničeno racionalnog učenja moguće je, u kontekstu inspekcije, podijeliti na modele u kojima nadzirani agenti promatraju **samo svoju povijest** (engl. *Self-regarding learners*), modele u kojima nadzirani agenti promatraju **povijest drugih agenata** (engl. *Others-regarding learners*) [76] te kombinaciju ova dva pristupa. Učenje podrškom primjer je modela učenja u kojem nadzirani agenti promatraju samo svoju povijest inspekcija. Fiktivnu igru moguće je oblikovati kao model u kojem entiteti promatraju samo svoju povijest ili kao model u kojem entiteti uključuju i druge informacije iz okruženja. Značajno ograničenje primjene modela u kojima nadzirani agenti promatraju povijest inspekcija drugih agenata jest upitna realnost pretpostavke posjedovanja informacija o povijesti inspekcija drugih agenata. S druge strane, uspješne i vidljive strategije drugih agenata također mogu biti podloga za učenje, odnosno učenje se može odvijati kroz **kopiranje ponašanja uspješnih agenata** [91].

Dostupan je velik broj radova koji uspoređuju prikladnost razvijenih modela učenja na različite situacije [84]. Na temelju provedene meta studije Duffy [84, p. 984] zaključuje da modeli koji inkorporiraju učenje utemeljeno u vjerovanju ili učenje podrškom puno bolje predviđaju ljudsko ponašanja od modela koji se oslanjaju na klasičnu teoriju igara.

Eksperimentalni podaci podupiru odabir fiktivne igre kao jednostavnog modela učenja agenata [80, p. 941]. Isto tako, analiza sekundarnih empirijskih podataka o recidivizmu [37, p. 203] pokazuje da pojedinci počinju s inicijalnom subjektivnom procjenom vjerojatnosti da će biti uhvaćeni u kršenju koju zatim ažuriraju sukladno vlastitom iskustvu te novo stečenim informacijama (kroz osobno iskustvo ili posredno), što je u skladu s algoritmom fiktivne igre. Zanimljivo, saznanja iz psihologije ne podupiru primjenu Bayesovog učenja [80]. U inspekcijskoj praksi uočeno je da entiteti primjenjuju i jednostavne strategije koje se mogu opisati kao modeli učenja na pravilima ili učenja podrškom – primjerice, uočena [33] je primjena određene vrste reverzne *tit-for-tat*⁶ strategije prema kojoj entiteti ne krše propise ako su nedavno nadzirani, a krše ih ako nisu nedavno nadzirani.

Analogno teorijama i modelima učenja, ograničena racionalnost također se opisuje različitim modelima, obzirom da se ljudske pristranosti, pogreške u izračunu te vrednovanje informacija također razlikuju, ovisno o situaciji te karakteristikama pojedinca.

Ograničenja ljudske racionalnosti modeliraju se kao **posjedovanje nesavršenih i/ili nepotpunih informacija**, kao **nedostatak kapaciteta** agenata **za savršen izračun** [88], kao **pogreške u odlučivanju** (engl. *Bounded decisionmaking*) [53], kao **pogreške u učenju** (engl. *Bounded learning*) [53], itd. S druge strane, eksperimenti i empirijski podaci pokazuju da ljudi u stvarnosti u neke odluke ulažu puno truda i značajnu pažnju, no podloga tim odlukama može biti pogrešna zbog različitih heuristika i **pristranosti** (engl. *bias*) pojedinaca [88]. Rabin [88] navodi sljedeće značajne izvore pristranosti odnosno „kvazi-maksimizacijskih“ pogrešaka:

1. **Usko ograničavanje** (engl. *Narrow bracketing*): agenti maksimiziraju svoj očekivani povrat, ali u obzir ne uzimaju sve moguće ishode već samo njihov (manji ili veći) podskup;
2. **Pristranost prema sadašnjosti i hiperbolno diskontiranje** (engl. *Present bias and Hyperbolic discounting*): agenti maksimiziraju svoj očekivani povrat, ali preveliku težinu odnosno važnost daju sadašnjosti te događajima u bliskoj prošlosti ili budućnosti u odnosu na vremenski udaljenije događaje;

⁶ *Tit-for-tat* je jednostavna strategija reciprociteta primjenjiva na ponavljaju igru zatvorenika (engl. *Prisoner's dilemma*) prema kojoj igrač surađuje s protivnikom ako je protivnik surađivao u prethodnom potezu, odnosno ne surađuje ako protivnik u prethodnom potezu nije surađivao. Strategiju je popularizirao R. Axelrod [211] zbog njene uspješnosti u usporedbi s drugim strategijama na simulacijskom turniru ponavljane igre zatvorenika.

3. **Pristranost projekcije** (engl. *Projection Bias*): zbog trenutnog fokusa, agenti pogrešno procjenjuju budući povrat.

Ograničena racionalnost ljudi objašnjava se (i modelira) i njihovim neobjektivnim pogledom na rizik. Kahneman i Tversky [92][93] kroz **teoriju očekivanog izbora**⁷ (engl. *Prospect theory*) tumače da očekivani gubitak za ljude ima veću vrijednost odnosno težinu od očekivanog dobitka. Stoga ljudi – kad odlučuju o mogućem dobitku – pokazuju sklonost **preuzimanju rizika** (engl. *Risk taking*), a u odlukama o mogućem gubitku sklonost **izbjegavanju rizika** (engl. *Risk avoidance*). Teorija očekivanog izbora oslanja se na premisu da je **sklonost riziku** (tzv. **apetit za rizik**) pojedinca, odnosno sklonost preuzimanju ili izbjegavanju rizika razmjerno nekonzistentna, odnosno da ovisi o situaciji u kojoj se donositelj odluke nalazi. S druge strane, istraživanje Highhousea i Yüce [94] ukazuje da sklonost riziku prvenstveno ovisi o preferencijama i percepcijama pojedinca, odnosno da je razmjerno stabilna za pojedinca, neovisno o situaciji. Osobnost pojedinca razmatra se kao čimbenik s najvećim utjecajem na sklonost riziku [95]. Rezultati istraživanja Nicholsona i koautora [95] sugeriraju da sklonost riziku ne bi trebalo promatrati kao jednodimenzionalnu varijablu. Naime, iako dio populacije pokazuje konzistentnu sklonost preuzimanju rizika, a dio sklonost izbjegavanju rizika, postoji i segment populacije koji pokazuje „domenski-specifično” ponašanje vezano uz rizik, odnosno njihova sklonost riziku ovisi o specifičnoj situaciji [95][96].

Modeli ograničene racionalnosti često ne dolaze u ravnotežnu točku (ekvilibrij), što ograničava mogućnost njihove analize „tradicionalnim“ pristupom modeliranju [97].

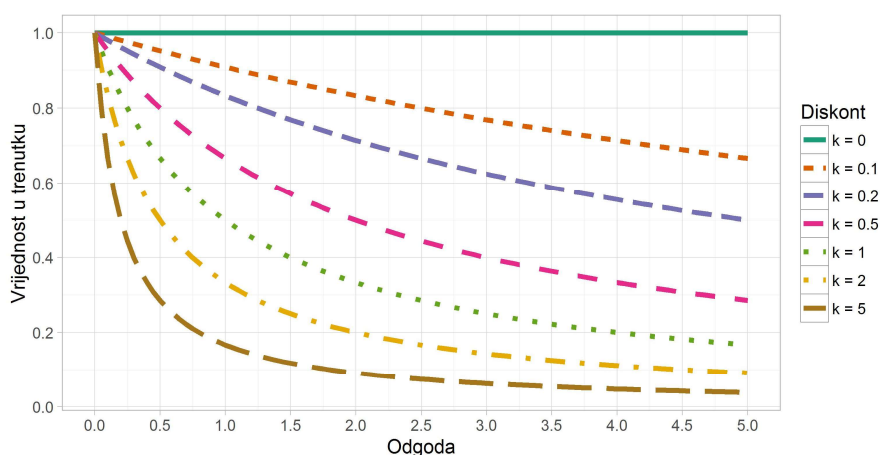
U modele učenja, kao i u modele ograničene racionalnosti može se uključiti i parametar vremenskog diskontiranja. **Vremensko diskontiranje** je naziv za sklonost (odnosno pristranost) ljudi da događajima daju tim manju vrijednost odnosno „težinu”, što su ti događaji vremenski više udaljeni od sadašnjosti. Odnosno, postoji negativna, decelerirana diskontna funkcija [98]. Na primjeru fiktivne igre, primjena vremenskog diskontiranja može značiti da informacije o recentnim događajima imaju veći utjecaj na vjerovanje igrača o pretpostavljenoj strategiji protivnika od starijih informacija te, posljedično, na njegove odluke. Vremensko diskontiranje često [98] se modelira **hiperbolnom funkcijom**:

$$V = \frac{A}{1 + kD} \quad (4)$$

⁷ D. Kahneman je 2002. godine nagrađen Nagradom Švedske narodne banke za ekonomske znanosti u sjećanje na Alfreda Nobela zbog razvoja teorije očekivanog izbora te drugih doprinosa razvoju teorije odlučivanja.

gdje je: V : sadašnja (subjektivna) vrijednost (povrata)
 A : nominalna vrijednost (povrata)
 D : odgoda
 k : indeks vremenskog diskontiranja odnosno mjera osjetljivosti na odgodu

Viši k implicira pridavanje veće važnosti sadašnjosti u odnosu na prošlost ili budućnost. Critchfield [98] navodi kako je indeks k identificiran i kod ljudi te zaključuje kako je k stabilan za osobu. Slika 2.2 prikazuje utjecaj različitih vrijednosti indeksa vremenskog diskontiranja na nominalnu vrijednost.



Slika 2.2 – Utjecaj indeksa vremenskog diskontiranja

Primjena diskontiranja na ponavljane igre, odnosno diskontiranje ostvarenih povrata ima značajno drugačije implikacije na odvijanje igre i njeno rješenje od uprosječivanja ostvarenih povrata [40].

2.5. Agentno modeliranje

2.5.1. Osnovni koncepti

U prethodnim poglavljima razmatrani su uglavnom konceptualni i analitički (matematički) modeli. Analitičke modele moguće je formalizirati te daju jasne rezultate. Međutim, rješenje takvih modela ne postoji uvijek ili ga nije lako pronaći [34]. Naime, uvođenje kompleksnijih pretpostavka u modele poput nesavršenih i nepotpunih informacija, asimetrije informacija, ograničene racionalnosti, heterogenosti agenata, različitih modela učenja te

prilagodbe ponašanja i slično značajno ograničava ili onemogućava analitičku rješivost modela. To dovodi do primjene simulacijskog modeliranja [99]. **Simulacijski modeli** sadrže skup pravila koja opisuju kako će se model promijeniti, uz zadane uvjete [34]. Simulacijske tehnike obuhvaćaju modeliranje diskretnih događaja, modeliranje kontinuiranih događaja (primjerice, sistemna dinamika), Monte-Carlo simulacije i agentno modeliranje [100][101]. Simulacijski modeli uobičajeno se pomoću računala implementiraju u **računalne simulacije**. Nužno je zamijetiti kako matematički modeli i računalna simulacija nisu alternativni, pa čak niti suprotni, već komplementarni pristupi formalnoj studiji društvenih sustava [35].

Modeliranje diskretnih događaja (engl. *Discrete-event simulation - DES*) posebno je prikladno kad se modeli razvijaju od konceptualne razine prema detaljima (engl. *top-down*), kad su agenti pasivni te kad se modelira makro-ponašanje [101]. Nasuprot tome, **agentno modeliranje** (engl. *Agent-based modelling - ABM*) posebno je prikladno kad se model razvija od elemenata prema sustavu (engl. *bottom-up*), kada su agenti aktivni te kad se modelira mikro-ponašanje agenata [102]. Agentno modeliranje omogućuje prikaz kompleksnijih situacija, bolje modeliranje na razini pojedinca te je posebno prikladno kad se želi modelirati individualno ponašanje, odnosno kad model reprezentira aktivne elemente na individualnoj razini (ljudi, organizacije i slično) [34]. Agentno modeliranje ima ključnu ulogu u premošćivanju pretpostavki o ponašanju pojedinačnih agenata (mikro-razina) te obrazaca ponašanja cjelokupne populacije (makro-razina) [81]. Epstein [103] agentno modeliranje opisuje kao tzv. **generativnu znanosti** [103], koja omogućuje „treći put” između analize empirijskih podataka i A/B testiranja⁸ [81], obzirom da omogućuje stvaranje podataka kakve bi inače trebalo prikupiti opažanjem ili eksperimentima. Razvoj područja agentnog modeliranja u najvećoj mjeri je posljedica razvoja na područjima adaptivnih kompleksnih sustavima (engl. *Adaptive complex systems*) i umjetnog života (engl. *Artificial Life*) [86].

Osim pojma agentnog modeliranja koriste se i pojmovi **višeagentno modeliranje** (engl. *multi-agent based modelling - MABM*) te **višeagentna simulacija** (engl. *multi-agent simulation - MAS*). Macal [100] navodi da ne postoji jasna distinkcija između ovih termina te se u literaturi koriste kao sinonimi, posebice u recentnim publikacijama. S druge strane, Nikolić i koautori [104] navode kako se agentno i višeagentno modeliranje često koriste kao sinonimi, no među njima postoji razlika. Naime, iako se oba pojma odnose na sustave s diskretnim, autonomnim komponentama (agentima), višeagentni sustavi usmjereni su na rješavanje određenog (zadanog) problema, dok agentni sustavi nemaju ciljano stanje, već opisuju

⁸ „A/B testiranje” je naziv za kontrolirani eksperiment u kojem se kontrolirano uspoređuju dvije varijante odnosno mogućnosti (primjerice, dva različita izgleda *web* stranice). Odnosno, testira se određena hipoteza na dva uzorka.

ponašanje agenata te istražuju moguća makro-stanja modela. Shoham i K. Leyton-Brown [40] navode kako se u višeagentnom okruženju uobičajeno ne traži optimalno rješenje već samo zadovoljavajuće rješenje (engl. *satisficing*). U ovom radu agentno i višeagentno modeliranje koriste se kao ravnopravni, međusobno zamjenjivi pojmovi.

Temeljne odrednice agentnih sustava su agenti, veze agenata te interakcija agenata s okolinom, pri čemu je ključno svojstvo agenta autonomnost [86]. **Agenti** su samostalni – uobičajeno softverski implementirani – entiteti koji imaju određene karakteristike, poprimaju stanja ovisno o određenim uvjetima te utječu jedni na druge [97]. Agente uobičajeno karakterizira jedinstvenost, heterogenost, autonomnost, ciljevi, fleksibilnost, eksplicitni prostor, lokalnost te ograničena racionalnost [105].

Agentni modeli mogu imati različitu složenost; od minimalističkih modela koji koriste visoko idealizirane pretpostavke i prikazuju samo osnovne karakteristike sustava, pa do složenih modela za podršku odlučivanju kojima je cilj dati odgovor na stvarna pitanja i situacije te koji se temelje na stvarnim podacima i nad kojima je provedena iscrpna provjera valjanosti [86]. Mnogobrojni su izvori koji opisuju kada [97], kako [40] i zašto [97] koristiti agentno modeliranje.

Agentno modeliranje koristi se na području društvenih znanosti zbog jedinstvenih mogućnosti opisa kompleksnih sustava, otkrivanja znanja te testiranja hipoteza [106][107]. Ovaj pristup posebno je relevantan u slučajevima kad zbog etičkih ili pravnih prepreka nije moguće provoditi eksperimente kako bi se testirali određeni društveni fenomeni. Nadalje, cijena razvoja modela te izvršavanja simulacije uglavnom je značajno niža od troškova provođenja eksperimenata kojima bi se testirali određeni društveni fenomeni [108][34]. Agentno modeliranje koristi se, primjerice, i zato jer omogućuje nadvladavanje suviše idealiziranih pretpostavaka klasičnih ekonomskih modela [86]. Naime, agentno modeliranje se u mnogim karakteristikama značajno razlikuje od teorije igara [97][105]. Dok je teorija igara strukturirana, analitična i visoko zahtjevna u oblikovanju i rješavanju modela, agentno modeliranje omogućuje veliku fleksibilnost u osmišljavanju modela i postavljanju parametara. Pri tome agentno modeliranje može, na jednostavan način, uključiti ideje i koncepte iz teorije igara, ekonomskog modela kriminala, itd. Agentno modeliranje omogućuje analizu modela koji, često, ne dolaze u ravnotežno stanje te velika većina višeagentnih modela u sebi sadrži pretpostavke o ograničenoj racionalnosti agenata [97].

Najznačajniji nedostatak agentnog modeliranja jest težina provođenja cjelovite i rigorozne provjere valjanosti modela [108][109]. Stoga je većina razvijenih agentnih modala vrlo specifična, a njihova valjanost se uobičajeno provjerava (ako se uopće i provjerava) na ograničenom skupu podataka primjenjivih samo na usko područje [109].

Standardizirani način opisa višeagentnih modela dugo nije postojao [110]. Grimm i koautori [111] publicirali su 2005. godine **ODD protokol** (engl. *Overview, Design concepts, and Details*) s namjerom standardizacije opisa *individual-based* i *agent-based* modela te olakšavanja razumijevanja, ali i replikacije modela. Inicijalni protokol nadograđen je 2010. godine [112]. ODD protokol inicijalno je namijenjen primjeni na ekološke modele [113]. No, popularnost protokola dovela je i do daljnjih nadogradnja, poput **ODD+D protokola** [113], kojim se pokušava olakšati opis modela koji uključuju ljude koji donose odluke.

U cilju standardizacije opisa višeagentnih modela koriste se i dobre te primjenjive prakse s područja dizajna softvera, kao što su izrada **UML** (engl. *Unified Modelling Language*) dijagrama klasa i vremenskog slijeda [105, p. 346] [110]. UML je „*de facto* grafički vizualizacijski standard za razvoj softvera“ [114], a primjena UML-a na višeagentne modele [115] detaljnije je razložena u poglavlju 5.2.1. Izrađena su i proširenja odnosno prilagodbe standardnih UML dijagrama kako bi se bolje prikazale specifičnosti višeagentnog modeliranja poput AUML (engl. *Agent UML*) [116] ili AML (engl. *agent modeling notation*) [117]. Međutim takve nadogradnje su u praksi ponekad teško razumljive [118] ili se rijetko koriste.

2.5.2. Primjena agentnog modeliranja na inspekciju usklađenosti

Agentno modeliranje se razmjerno često primjenjuje na analizu pojave, uzroka, posljedica i načina ograničavanja kriminalnih aktivnosti [119][55], kao i na inspekciju usklađenosti [120][121][53][11]. Naime, agenti se mogu dizajnirati na temelju saznanja o motivima pojedinaca ili organizacija te se njihovo ponašanje može proizvoljno oblikovati, primjenom – primjerice – ekonomskog modela kriminala i saznanja iz teorije igra, ograničene racionalnosti kao i drugih opažanja iz eksperimenata i analize sekundarnih podataka (primjerice, vremensko diskontiranje). Oblikovanjem ponašanja na mikro-razini (tj. određivanjem ponašanja samih agenata), postavljaju se preduvjeti za analizu ponašanja na makro-razini (primjerice, analiza razine usklađenosti u sustavu te analiza utjecaja promjena parametara na mikro-razini na ukupnu razinu usklađenosti u sustavu). Time se iskorištava tzv.

„generativni” aspekt agentnog modeliranja te se zaobilaze etičke i pravne prepreke u provođenju eksperimenata vezanih uz inspekciju usklađenosti.

Agentno modeliranje također omogućuje usložavanje modela inspekcije, odnosno uvođenje parametara koji modele čine kompleksnijima te bolje opisuje stvarnost, pri čemu je modele i dalje moguće analizirati te testirati hipoteze [105]. Sljedeće karakteristike agenata posebno su relevantne u kontekstu inspekcije usklađenosti i modela kojima se ona prikazuje [103][122][81][54]:

1. **Jedinstvenost.** Svaki agent zasebna je jedinka te ga se može razlikovati od ostalih agenata.
2. **Heterogenost.** Svaki agent može se od ostalih agenata razlikovati prema nizu parametara (primjerice, pravila ponašanja, ciljevi i slično).
3. **Autonomnost.** Agenti samostalno (autonomno) donose odluke.
4. **Ciljevi.** Agenti imaju ciljeve koje žele ostvariti.
5. **Fleksibilnost.** Agenti mogu prilagođavati svoje ponašanje, odnosno učiti na temelju prethodnih iskustava.
6. **EksPLICITNI prostor.** Događaji nastaju u jasno definiranom, ograničenom prostoru.
7. **Lokalnost.** Interakcije između agenata uglavnom su lokalne.
8. **Ograničena racionalnost.** Agenti uglavnom donose odluke na temelju jednostavnih pravila zasnovanih na ograničenim („lokalnim“) informacijama.

2.5.3. Kalibracija, verifikacija i provjera valjanosti agentnih modela

Definicije i načini provođenja procjene/kalibracije parametara, verifikacije, provjere valjanosti i analize osjetljivosti modela nisu konzistentni na području agentnog modeliranja [110][123][124][125]. Stoga se značenje tih pojmova, pa čak i redoslijed provođenja razlikuju od slučaja do slučaja. Pri tome se kao najznačajnije prepreke veće rasprostranjenosti i šire primjene agentnih modela često navode upravo poteškoće vezene uz verifikaciju i provjeru valjanosti modela [126]. Dodatno, obzirom da se agentni modeli nerijetko koriste u situacijama gdje eksperimenti nisu prikladni, jasno je da često nedostaju ili su ograničeni empirijski podaci kojima bi se modeli verificirali i provjerila njihova valjanosti.

Kalibracija, u kontekstu agentnih modela, označava postupak pronalaženja (ulaznih) parametara za koje model (odnosno izlazni podaci) daje rezultate koji su prihvatljivi, odnosno koji odgovaraju stvarnosti [105]. Osim kalibracije koristi se i pojam **procjena** (engl. *estimation*) parametara, obzirom da postupak obuhvaća postavljanje parametara i ograničavanje parametarskog prostora [110]. Bloomquist [127] navodi kako se u okviru kalibracije pokušava pronaći kombinacija (ili kombinacije) parametara koji blisko podudaraju empirijskim podacima. Richiardi [110] povezuje procjenu parametara i kalibraciju u jedan postupak koji je ključni početni korak odnosno pred-korak provjere valjanosti modela.

Pretraživanje parametarskog prostora te pronalaženje kombinacija (ili kombinacije) parametara koji se blisko podudaraju empirijskim podacima može biti resursno zahtjevno, zbog čega se primjenjuju različiti optimizacijski algoritmi. Detaljno objašnjenje ovih algoritama i njihove primjene je izvan obuhvata rada, no u nastavku je u osnovnim crtama opisan način djelovanja 2 često korištena algoritma.

Simulirano kaljenje (engl. *simulated annealing*) je algoritam optimizacije odnosno pronalaženja optimalnog rezultata inspiriran fizičkim procesom kristalizacije metala zbog manipulacije temperaturom pri kaljenju [128, p. 25]. Algoritam se temelji na uvođenju kontrolnog parametra koji imitira temperaturu te kojim se sustav pokušava dovesti do željenog stanja, odnosno željenog rezultata [128, p. 25].

Genetski odnosno **evolucijski algoritam** (engl. *genetic algorithm*) inspiriran je mehanizmom prirodne selekcije [128, p. 77], pri čemu rezultati optimizacije (simulacije) predstavljaju pojedince. Više rezultata simulacije (pojedinci) čini populaciju, koja se promatra kroz generacije. Na rezultate se utječe putem ulaznih parametara simulacije. U svakoj generaciji pojedinci se reproduciraju, preživljavaju ili nestaju iz populacije, ovisno o utjecaju operatora odabira i zamjene te operatora mutacije i križanja [128, p. 78]. Pojedinci s boljom vitalnošću (engl. *fitness*) – odnosno, rezultati bliži željenoj vrijednosti – imaju veću šansu „preživljavanja“ te pojavljivanja u sljedećoj generaciji.

Verifikacija modela je provjera odgovara li razvijeni model ciljanom konceptualnom modelu, odnosno provjera je li model ispravno implementiran [105, p. 311]. Verifikacija „*provjerava jesu li svi relevantni entiteti i veze iz konceptualnog modela ispravno preneseni*“ u računalnu simulaciju [104, p. 98]. Verifikaciju je moguće promatrati i kao provjeru „interne“ valjanosti modela koja potvrđuje da se model ponaša kako su autori to i zamislili [35].

Provjera **valjanosti** modela (**validacija**) je „*proces kojim se utvrđuje da li razvijeni model odgovara i objašnjava neki stvarni fenomen*“ [105, p. 311]. Provjeru valjanosti moguće

je opisati i kao proces procjene koliko je razvijen model koristan za određenu svrhu [35]. Provjera empirijske valjanosti modela obuhvaća procjenu u kojoj mjeri model dobro reprezentira (nepoznati) proces koji je generirao prikupljene empirijske podatke [123]. Valjanost modela jest razina homomorfizma između razvijenog sustava (modela) i sustava koji taj model predstavlja [110]. Provjera valjanosti nije proces s dihotomnim rezultatom „valjano” ili „nevaljano” [105]. Valjanost modela potrebno je protumačiti uzimajući u obzir karakteristike i ograničenja modela, kao i karakteristike podataka koji se koriste za provjeru valjanosti. Naime, modeli mogu u jednoj krajnosti prikazivati krajnje pojednostavljenje („karikaturu”) stvarnosti, a u drugoj krajnosti realističan prikaz stvarnosti [105]. Između tih krajnosti je „srednji put” odnosno modeli temeljni na obrascima (engl. *Pattern-oriented modeling*) [129], koji pokušavaju rekreirati čim veći broj obrazaca koji su uočeni u stvarnosti [105]. Postupci provjere, kao i ocjenjivanje valjanosti ovise o karakteristikama modela.

Analizu osjetljivosti moguće je opisati kao analizu „*utjecaja promjene parametara modela na rezultate*“ [105, p. 323]. Analizom osjetljivosti utvrđuje se koliko je model osjetljiv ili robustan u odnosu na inicijalne parametre [105, p. 321].

Nikolić i koautori navode [104, p. 100] kako se verifikacija agentnih modela sastoji od 4 postupka: bilježenja i praćenja ponašanja agenata, testiranja pojedinačnog agenta, testiranja interakcija u „minimalnom modelu“ te testiranja u okruženju s više agenata. Ovi postupci uključuju analizu programskog kôda, pronalaženje grešaka (engl. *debugging*), bilježenje izlaznih vrijednosti modela i njihovu analizu, utvrđivanje granica očekivanog ponašanja agenata, itd. Verifikacija modela može uključiti i pisanje jediničnih testova (engl. *Unit test*) kojima se testira odvijanje određenih dijelova programskog koda [105, p. 317].

Valjanost agentnih modela moguće je provjeriti na različite načine. Windrum i koautori [123] te Moss [125] identificiraju 3 češće korištene metode provjere valjanosti agentnih modela: provjeru valjanosti temeljem povijesti, indirektnu kalibraciju te Werker-Brenner provjeru valjanosti. Pri tome proces provjere valjanosti često obuhvaća i kalibraciju, verifikaciju te analizu osjetljivosti modela.

Provjera valjanosti temeljem povijesti [123][125] primjenjiva je na modele koji prikazuju specifičnu situaciju odnosno slučaj, uobičajeno na temelju provedene studije slučaja. Modelar u fazi razvoja modela pokušava kreirati model koji će biti čim sličniji zadanoj situaciji. Zatim se pokušavaju identificirati inicijalni uvjeti i parametri koji će odgovarati zabilježenim

empirijskim podacima. Konačno, u fazi provjere valjanosti uspoređuju se rezultati računalne simulacije sa stvarnim, povijesnim podacima.

Indirektna kalibracija [123][125] je razmjerno često korištena metoda provjere valjanosti agentnih modela koja se sastoji od 4 koraka, koji obuhvaćaju kalibraciju, verifikaciju i provjeru valjanosti modela:

1. U prvom koraku modelar određuje tzv. stilizirane činjenice (koje su, primjerice, uočene u stvarnosti) koje se žele objasniti ili reproducirati razvijenim modelom.
2. U drugom koraku se razvija model, pri čemu se pokušava postići da su mikro-stanja modela čim sličnija dostupnim empirijskim i eksperimentalnim podacima.
3. U trećem koraku ograničava se parametarski prostor modela primjenom empirijskih podataka – primjerice, primjenom Monte Carlo analize.
4. Posljednji korak obuhvaća analizu parametara, odnosno analizu osjetljivosti modela.

Werker-Brenner provjera valjanosti [123][125] sastoji se od sljedećih koraka:

1. U prvom koraku se na temelju postojećih empirijskih podataka kalibriraju inicijalne vrijednosti ulaznih parametara.
2. U drugom koraku se prikupljaju rezultati simulacije za svaki skup ulaznih parametara.
3. Zatim se odbacuju svi skupovi ulaznih parametara koji ne daju rezultate koji u najvećoj mjeri odgovaraju empirijskim podacima.
4. U posljednjem koraku se preostale („preživjele“) grupe ulaznih parametara još dodatno ograničavaju primjenom ekspertnog znanja.

Werker-Brenner provjera valjanosti koristi Bayes-ovu analizu (tzv. ABC metoda) za procjenu parametara.

Opisani pristupi u većoj ili manjoj mjeri koriste empirijske podatke za provjeru valjanosti modela na mikro i makro razini. Treba naglasiti da su kalibracija (procjena) te provjera valjanosti agentnih modela usko povezane. Isto tako, analiza osjetljivosti modela često je ključan postupak u okviru provjere valjanosti [108].

Bloomquist opisuje [55, p. 136] **4 razine valjanosti** agentnog modela (nastavno na prijedlog Axtella i Epsteina), pri čemu svaka sljedeća razina daje višu razinu uvjerenja u valjanost modela:

0. razina: Model je „karikatura“ stvarnosti. Modeli valjani na 0-toj razini pokazuju samo osnovne karakteristike stvarnosti. Primjerice, smjer kretanja promjena je identičan u modelu i u stvarnosti.
1. razina: Model je kvalitativno usklađen s empirijskim makro-strukturama. Primjerice, osnovne karakteristike populacija u modelu usklađene su s karakteristikama populacija u stvarnosti.
2. razina: Model je kvantitativno usklađen s empirijskim makro-strukturama. Primjerice, model može generirati kvantitativne rezultate koji su usporedivi sa stvarnim rezultatima.
3. razina: Model je kvantitativno usklađen s empirijskim mikro-strukturama. U praksi, to bi značilo da model može predvidjeti ponašanje pojedinačnih agenata.

Prema Wilenskom [105], provjeru valjanosti moguće je podijeliti prema **razinama** (mikro-valjanost i makro-valjanosti) te prema **detaljima** (pojavna valjanost i empirijska valjanost). **Mikro-valjanost** odnosi se na ponašanje agenata, a **makro-valjanost** na ponašanje sustava [105]. **Pojavna valjanost** (engl. *face validation*) zasniva se i na vizualnoj analizi rezultata modela [130]. Prema Wilenskom [105], valjanost se u praksi uglavnom provjerava primjenom kombinacije navedenih metoda. Mogući problem vezan uz provjeru valjanosti jest što ponekad različiti modeli mogu podupirati iste empirijske podatke [109].

Provjera valjanosti modela često – zbog uobičajeno stohastičke prirode agentnog modeliranja – ovisi o ponavljanom izvođenju računalnih simulacija implementiranih modela [105, p. 312]. Nikolić i koautori navode [104, p. 111] navode kako nema jednoznačnog odgovora koliko ponavljanja s istim parametrima bi trebalo provesti, no kako se, ako nema razloga za drugačiju odluku, može odrediti provođenje 100 ponavljanja s istim parametrima.

2.5.4. Analiza osjetljivosti agentnih modela

Analize osjetljivosti agentnih modela moguće je podijeliti na sljedeće pristupe [131][132][133]: globalna analiza osjetljivosti, lokalna analiza osjetljivosti i metode probira (engl. *Screening*). **Metode probira** rangiraju parametre prema njihovoj (relativnoj) važnosti, no ne mogu kvantificirati razlike utjecaja [133]. **Lokalna analiza osjetljivosti** kvantificira utjecaj malih varijacija ulaznih parametara na rezultate modela [131]. **Globalna analiza osjetljivosti** mijenja ulazne parametre kroz širi raspon vrijednosti te kvantificira njihov utjecaj

na rezultate modela, pri čemu se razmatraju i promjene više parametara istovremeno [133][131].

Analizom osjetljivosti provjerava se koliko su rezultati modela osjetljivi na ulazne parametre [105], odnosno koliki je utjecaj ulaznih parametara na izlazne parametre modela. Njome se mogu identificirati parametri koji imaju najveći utjecaj na model, što može olakšati identifikaciju najznačajnijih procesa u modelu [131].

U nastavku je opisana **Morrisova metode pregleda osnovnih učinaka** (engl. *Morris' elementary effects screening*) [134], koja je – prema Thieleu i koautorima [131] – posebno primjenjiva na agentne modele i simulacije. Opsežniji opis Morrisove metode može se naći u [134, pp. 110–112] i [131].

Metodom se procjenjuje utjecaj promjena pojedinačnih ulaznih parametara na rezultate modela (tzv. Osnovni učinci – engl. *Elementary effects*). U modelu s k ulaznih parametara, vrijednost svakog ulaznog parametra $X_i, i \in \{1, \dots, k\}$ može poprimiti jednu od p vrijednosti. Odnosno, raspon mogućih vrijednosti svakog ulaznog parametra inicijalno se konvertira u diskretnu ljestvicu s p razina. Slučajnim odabirom postavlja se vrijednost inicijalnog vektora ulaznih parametara $(X_1, \dots, X_k)$ te se za danu ulaznu konfiguraciju računa vrijednost tražene izlazne varijable Y . Zatim se za određenu promjenu (slučajna varijabla) jednog ulaznog parametra (X_i) analizira promjena tražene izlazne varijable (Y). Nakon što se analizira utjecaj promjena vrijednosti svake pojedinačne ulazne varijable na izlaznu varijablu (nakon promjena, vrijednost varijabla se ne vraća na početnu), cijeli postupak se ponavlja za novu, slučajno odabranu, vrijednost inicijalnog vektora ulaznih parametara. Analizom se utvrđuje je li utjecaj pojedinačnih ulaznih parametara na rezultate modela zanemariv, linearan i pribrojjiv, nelinearan ili povezan s drugim ulaznim parametrima.

Osnovni učinci statistički se analiziraju te se rezultati prikazuju putem pokazatelja μ (aritmetička sredina osnovnog učinka) kojim se procjenjuje ukupni učinak ulaznog parametra te putem pokazatelja σ (standardna devijacija osnovnog učinka) kojim se procjenjuju učinci višeg reda. Uz μ uobičajeno se računa i prikazuje i μ^* koji predstavlja procjenu aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti elementarnih učinaka. μ^* se primjenjuje kako bi se izbjegle greške tipa II (odnosno zaključak da utjecaj ne postoji iako u stvarnosti postoji), u slučajevima kad su rezultati pozitivni i negativni te se sumarno poništavaju. Usporedba μ i μ^* daje informaciju o predznaku učinka. Ako su μ i μ^* visoki, znači da parametar ima velik utjecaj na rezultat modela, te da je predznak tog utjecaja uvijek isti. S druge strane, niski μ uz visoki μ^* naznačuje da utjecaj analiziranog parametra ima različiti predznak, ovisi o vrijednostima drugih

parametara. Visoka vrijednost σ naznačava da utjecaj analiziranog parametra na rezultate modela značajno varira, odnosno da veličina učinka analiziranog parametra ovisi o vrijednostima drugih ulaznih parametara. S druge strane, niska vrijednost σ ukazuje da je utjecaj analiziranog parametra na izlaz modela neovisan od vrijednosti drugih parametara.

2.6. Odluka o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom

Odluka o IS-u je podzakonski akt donesen na temelju članka 101., stavka 2. pod 1) „Zakona o kreditnim institucijama“ [45] te se sastoji od 41 članka grupiranog u XII. glava. Odluka o IS-u sadrži niz očekivanja kojih se moraju pridržavati sve kreditne institucije kojima je Hrvatska narodna banka (HNB) dala odobrenje (licencu) za rad u RH. Zahtjeve sadržane u Odluci o IS-u moguće je podijeliti u 44 odredbe⁹ koje su priložene u poglavlju 12.1. Odredbe Odluke o IS-u imaju različite karakteristike te mogu, između ostaloga, utjecati na:

1. Uspostavu formalnih odgovornosti; Primjerice, čl. 3.: *„Uprava kreditne institucije dužna je odrediti člana uprave koji će biti nadležan za uspostavu i nadzor procesa upravljanja informacijskim sustavom.“*
2. Uspostavu ili promjenu sustava/procesa; Primjerice, čl. 19.: *„Kreditna institucija je dužna uspostaviti sustav upravljanja korisničkim pravima pristupa koji obuhvaća procese evidentiranja, autorizacije, identifikacije i autentifikacije te nadzora korisničkih prava pristupa.“*
3. Nabavku resursa informacijskog sustava; Primjerice, čl. 31.: *„Kreditna institucija je dužna, u skladu s procjenom rizika i procijenjenim utjecajem neraspoloživosti pojedinih procesa odnosno resursa informacijskog sustava potrebnih za odvijanje tih procesa na poslovanje kreditne institucije, osigurati raspoloživost pričuvnoga računalnog centra s odgovarajućom opremljenošću, funkcionalnošću i razinom sigurnosti koji je na odgovarajućoj udaljenosti od primarnoga računalnog centra.“*

Obzirom na različite karakteristike zahtjeva koji proizlaze iz odredaba Odluke o IS, kao i različite karakteristike kreditnih institucija (veličina, poslovni fokus, pripadnost međunarodnoj bankovnoj grupaciji, naslijeđe, itd.) i troškovi te ulaganja nužna za postizanje i

⁹ Neki članci Odluke isključivo su formalno-pravne prirode (primjerice, prijelazne i završne odredbe), dok drugi članci sadrže više zahtjeva koji su povezani u jednu logičku cjelinu. Stoga je neke članke – u slučajevima kad sadrže više jasno delineiranih zahtjeva – moguće podijeliti u odgovarajući broj odredaba.

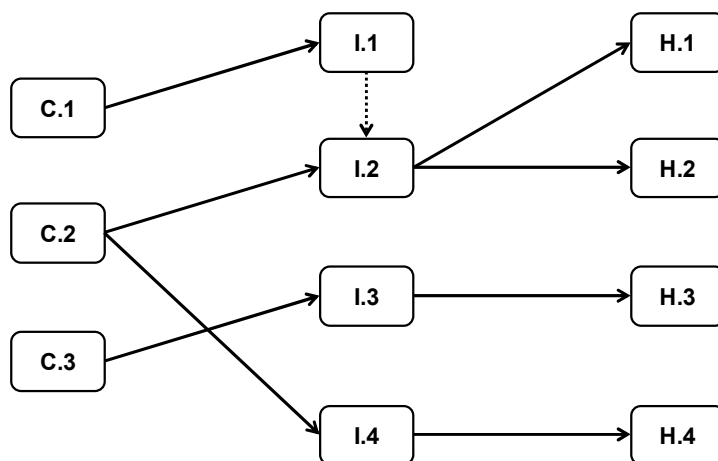
održavanje usklađenosti s odredbama Odluke o IS-u mogu se značajno razlikovati. Dodatno, odredbe Odluke o IS-u čine zasebne logičke cjeline te usklađenost s nekom od odredaba često nema izravan utjecaj na usklađenost s drugim odredbama Odluke o IS-u.

Odluka o IS-u donesena je sredinom 2007. godine. Odredbe Odluke o IS-u stupale su na snagu s odgodom, no do sredine 2010. godine sve su odredbe bile na snazi.

Nadzor na primjenom Odluke o IS-u provodi HNB koja, u okviru provođenja svojih zadataka, prikuplja i podatke od institucija koje nadzire. Pri tome se najčešće prikupljaju financijski podaci, no prikupljaju se i druge vrste podataka. Naime, HNB, sukladno članku 29. Zakona o Hrvatskoj narodnoj banci, „...obavlja superviziju i nadzor poslovanja kreditnih institucija, obavlja druge poslove koji su joj zakonom dani u nadležnost i donosi podzakonske propise kojima se uređuje bankarsko poslovanje i utvrđuju standardi stabilnoga i sigurnog poslovanja kreditnih institucija“. Nadalje, sukladno članku 30. istog Zakona, „...kreditne institucije moraju pružiti Hrvatskoj narodnoj banci informacije i podatke o svom poslovanju i financijskom položaju navedene u podzakonskim propisima, a na zahtjev Hrvatske narodne banke i druge podatke potrebne za izvršavanje njezinih zadataka.“

3. Ciljevi, istraživačka pitanja i hipoteze

Poglavlje prikazuje zadane ciljeve istraživanja, proizlazeća istraživačka pitanja te postavljene hipoteze. Slika 3.1 grafički prikazuje povezanost odnosno slijed razvoja ciljeva u istraživačka pitanja, na temelju kojih su zatim postavljene hipoteze.



Slika 3.1 – Grafički prikaz povezanosti, ciljeva, istraživačkih pitanja i hipoteza

3.1. Ciljevi istraživanja

Istraživanje ima sljedeće ciljeve:

- C.1** Razviti višeagentni model centralno-koordinirane inspekcije usklađenosti u sustavu s više nadziranih organizacija, svaka od kojih se mora pridržavati više odredaba, a na temelju saznanja iz teorijskih istraživanja te empirijskih podataka.
- C.2** Kroz simulaciju uspostavljenog modela istražiti je li i pod kojim uvjetima, primjenom različitih strategija odabira odredaba za inspekciju, moguće smanjiti ukupnu razinu neusklađenosti u sustavu.

C.3 Istražiti povezanost resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine njihova kršenja.

Temeljem pregleda provedenih istraživanja i relevantne teorijske podloge odlučio sam primijeniti (više)agentno modeliranje na problem optimalnog odabira organizacija te odredaba za inspekciju u okruženju u kojem se veći broj entiteta mora pridržavati većeg broja pravila. Višeagentno modeliranje sam odabrao obzirom da takvi modeli omogućuju modeliranje ljudskog ponašanja na individualnoj razini te opisivanje kompleksnih situacija s različitim utjecajima i karakteristikama. Višeagentno modeliranje omogućuje uključivanje „bogatih“ pretpostavka o karakteristikama entiteta, njihovom ponašanju i načinu donošenja odluka kakve bi bilo vrlo teško uključiti u analitički model. Nadalje, razvijeni višeagentni model moguće je implementirati putem računalne simulacije, što omogućuje kalibraciju, verifikaciju i provjeru valjanosti primjenom dostupnih empirijskih podataka. Višeagentni modeli se razmjerno ekstenzivno primjenjuju u modeliranju inspekcije usklađenosti, što je detaljnije razloženo u poglavlju 2.5.2.

Drugi cilj ovog rada jest utvrditi je li moguće smanjiti ukupan broj prekršaja u sustavu primjenom različitih inspekcijskih strategija, i pod kojim uvjetima. Naime, osnovna mjera uspješnosti inspekcije nije ukupan broj kršenja utvrđenih inspekcijama, pa čak niti točnost inspekcija u otkrivanju kršenja već ukupan broj kršenja u sustavu. Inspekcijske strategije koje uspješno utječu na smanjenje ukupnog broja kršenja u sustavu uistinu postižu cilj inspekcija usklađenosti te se mogu smatrati učinkovitima. Stoga se u okviru ovog rada istražuje učinkovitost nekoliko različitih strategija inspekcije usklađenosti te uvjeti pod kojima su učinkovite.

Treći cilj rada jest istražiti povezanost resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine njihova kršenja. Naime, teorijska razmatranja o ekonomskom modelu kriminala (poglavlje 0) te empirijska istraživanja (poglavlje 4.2) sugeriraju da je trošak postizanja i održavanja usklađenosti s pravilom jedna od ključnih odrednica odluke entiteta hoće li se uskladiti s tim pravilom. Postojanje takve povezanosti dalo bi potporu primjeni odgovarajućih inspekcijskih strategija.

3.2. Istraživačka pitanja

Na temelju postavljenih ciljeva istraživanja, konstruirana su sljedeća istraživačka pitanja:

- I.1** Može li višeagentni model centralno-koordinirane inspekcije usklađenosti u sustavu s više nadziranih organizacija, svaka od kojih se mora pridržavati više odredaba, razvijen na temelju saznanja iz teorijskih istraživanja te empirijskih podataka, vjerno reproducirati obrasce identificirane analizom sekundarnih podataka o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, inspekcijama u bankarstvu te zaštite na radu?
- I.2** Hoće li razvijeni višeagentni model inspekcije usklađenosti pokazati da su strategije inspekcije koje se oslanjaju na pretpostavku različite učestalosti kršenja različitih odredaba, a na temelju ekonomskog modela kriminala, učinkovitije od često korištenih strategija inspekcije?
- I.3** Podržavaju li empirijski podaci pretpostavku postojanja povezanosti između resursne zahtjevnosti ispunjavanja odredaba i kršenja tih odredaba?
- I.4** Hoće li saznanje nadziranih o primjeni inspekcijske strategije koja pretpostavlja različitu učestalost kršenja različitih odredaba utjecati na učinkovitost provođenja te strategije?

U poglavlju 2.5.3 naglašeno je da provjera valjanosti modela predstavlja najveću poteškoću vezanu uz primjenu višeagentnih modele. Stoga se u ovom radu velika pozornost posvećuje primjerenoj verifikaciji i provjeri valjanosti modela, pri čemu je ključno istražiti može li model na odgovarajući način reproducirati obrasce identificirane analizom sekundarnih podataka o inspekcijama usklađenosti. Razvijeni model inspekcije usklađenosti, iako nije vezan samo za jedno specifično područje, ograničen je na područja inspekcije usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, inspekcije usklađenosti u bankarstvu te inspekcije usklađenosti s propisima o zaštiti na radu. Navedena područja odabrana su zbog određenih međusobnih sličnosti u načinu organizacije i provođenja inspekcije usklađenosti, kao i zbog dostupnosti empirijskih podataka o inspekcijama usklađenosti.

Drugo istraživačko pitanje dalje razrađuje drugi cilj ovog rada, odnosno propituje jesu li inspekcijske strategije koje u obzir uzimaju (ili pretpostavljaju) da su troškovi postizanja i održavanja usklađenosti različiti za različita pravila uspješnije od drugih, često korištenih strategija inspekcije.

Treće istraživačko pitanje propituje je li povezanost resursne zahtjevnosti ispunjavanja odredaba i kršenja tih odredaba – čije postojanje sugerira ekonomski model kriminala i neka empirijska istraživanja navedena u poglavlju 4.2 – moguće identificirati i u prikupljenim empirijskim podacima.

Posljednje istraživačko pitanje propituje hoće li saznanje entiteta da inspeksijska agencija provodi inspekcije temeljem pretpostavke da su troškovi postizanja i održavanja usklađenosti različiti za različita pravila, utjecati na učinkovitost te strategije. Naime, to saznanje utječe i na odluke entiteta o kršenju ili usklađenosti s pojedinačnim pravilima, što će u konačnici vjerojatno imati utjecaj i na učinkovitost cjelokupne inspeksijske strategije.

3.3. Hipoteze

Iz istraživačkih pitanja izvedene su sljedeće hipoteze:

- H.1** Odabirom odredaba za inspekciju usklađenosti razmjerno resursnoj zahtjevnosti njihova ispunjavanja, u simulaciji se postiže manji broj neusklađenosti u odnosu na korištenje slučajnog odabira.
- H.2** Odabirom odredaba za inspekciju usklađenosti razmjerno resursnoj zahtjevnosti njihova ispunjavanja, u simulaciji se postiže manji broj neusklađenosti u odnosu na korištenje cikličnog odabira.
- H.3** Između resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba postoji barem srednje velika, pozitivna korelacija.
- H.4** Primjenom inspektorovog vodstva (*Stackelberg*-ovo vodstvo) na provođenje inspekcije u kojoj se odabir odredaba za inspekciju usklađenosti provodi razmjerno resursnoj zahtjevnosti njihova ispunjavanja, u simulaciji se postiže manji broj neusklađenosti u odnosu na inspekciju bez primjene inspektorovog vodstva.

Hipoteze proizlaze iz postavljenih istraživačkih pitanja te omogućuju objektivnu provjeru. 1., 2. i 4. hipoteza testirane su na simulacijskim podacima, a 3. hipoteza je testirana nad podacima prikupljenima u okviru empirijskog istraživanja.

1. i 2. hipoteza proizlaze iz prvog istraživačkog pitanja. Strategije slučajnog i cikličnog odabira entiteta i pravila koja će biti obuhvaćena inspekcijom identificirane su kao referentne odnosno često korištene strategije inspekcije obzirom na njihovu primjenu u praksi, što je

detaljnije razloženo u poglavlju 4.2. Strategija cikličnog odabira znači obuhvaćanje inspekcijom cjelokupne populacije (svih nadziranih entiteta) te dijela ili svih pravila u zadanom razdoblju. Strategija slučajnog odabira potpuno slučajno odabire entitete koji će biti predmetom inspekcije te u tim entitetima provodi inspekciju usklađenosti svih pravila ili, opet, slučajno odabranog skupa pravila.

U okviru empirijskog istraživanja, prikupljeni su podaci o: (a) resursnoj zahtjevnosti ispunjavanja odredaba i (b) (ne)usklađenosti kreditnih institucija s odredbama „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ [12] koje su se dužne pridržavati sve kreditne institucije u RH. Trećom hipotezom provjerava se postoji li barem srednje velika, pozitivna korelacija između tih podataka.

Saznanje entiteta da inspeksijska agencija koristi određenu inspeksijsku strategiju moguće je formalno uključiti u model primjenom koncepta *Stackelberg*-ovog vodstva (pojašnjeno u poglavljima 2.3.1 i 2.3.2).

4. Pregled literature

Poglavlje daje pregled relevantnih agentnih modela primijenjenih na inspekcijske probleme, s naglaskom na inspekciju usklađenosti. Uz navedeno, u poglavlju je prikazan i pregled zaključaka empirijskih istraživanja o inspekciji usklađenosti koja su relevantna za ovo istraživanje.

4.1. Agentni modeli inspekcije

Agentni modeli inspekcije često koriste pretpostavke i modele teorije igara, teoriju racionalnog odabira, ali i pretpostavku ograničene racionalnosti agenata.

Rauhut je s koautorima u više članaka razmatrao primjenu višeagentne simulacije na problem inspekcije [53][54][76]. Višeagentna simulacija koristi se jer je razmatrani analitički model suviše kompleksan za rješavanje [53]. Rauhut i Jud [76] prikazuju višeagentni model inspekcije u kojem je učenje modelirano kao fiktivna igra, pri čemu agenti u jednostavnijoj varijanti u obzir uzimaju samo posljednji potez, a u složenijoj varijanti sve do sad provedene poteze. Pri tome su povijesna iskustva agenta vremenski diskontirana, odnosno recentnija iskustva imaju veći utjecaj na ponašanje agenta. Model se međutim temelji na pretpostavci da su rezultati svih do sada provedenih inspekcija poznati svim agentima. Rauhut i Junker [53] u višeagentnom modelu inspekcije razmatraju strategiju učenja koja se temelji na iskustvu agenata. Agenti su u donošenju odluka ograničeno racionalni, pri čemu se ograničena racionalnost modelira na dva načina: kao „ograničeno učenje” (engl. *Bounded learning*) – agenti griješe u učenju, ali besprijeckorno računaju pri odlučivanju ili kao „ograničeno odlučivanje” (engl. *Bounded decision making*) – agenti griješe u izračunu pri odlučivanju. Rezultati eksperimenata koje su Rauhut i Junker proveli podupiru primjenu modela ograničenog odlučivanja.

Nadzor nad poreznim prijavama i kontrola utaje poreza često se analiziraju putem višeagentne simulacije [135][136][137][55][138]. Razmatrani modeli imaju različite pretpostavke, različitu kompleksnost, različite metode provjere valjanosti, te su razvijeni u različitim okolinama. Međutim, zajedničko im je da kreću od jednostavnih modela koji se zatim nadograđuju sve složenijim pretpostavkama te obrascima ponašanja. Ključan doprinos razmatranih modela jest omogućavanje analize utjecaja različitih parametara na povećanje odnosno smanjenje poreznih prevara. Pri tome se modeli uglavnom temelje na dostupnim, razmjerno detaljnim empirijskim podacima o prijavama poreza te poreznim prijevarama. Osnovni model ponašanja agenata u takvim modelima uobičajeno [7] je „Model odvrćanja od porezne evazije”, koji se temelji na teoriji racionalnog izbora.

Antunes i koautori [139] prikazuju 4 modela inspekcije usklađenosti s poreznim propisima u kojima kreću od najjednostavnijeg, modela racionalnog izbora (standardna teorija), te progresivno dodaju kompleksnost uključivanjem individualnosti agenata (i različite sklonosti preuzimanju rizika), prilagodljivosti strategije ovisno o povijesti inspekcija te društvenosti agenata. Bloomquist [55][127] opisuje nekoliko višeagentnih modela inspekcije porezne evazije, koristeći i Markovljeve procese kao jednostavan model odlučivanja poreznih obveznika. Ovi modeli oslanjaju se na teoriju racionalnog izbora, ali i pretpostavku da je značajan broj ljudi „patološki iskren“ (25% u modelu), koji su uvijek usklađeni s propisima [55]. Bloomquist provjerava valjanost modela na ekstenzivnom skupu podataka o poreznoj usklađenosti i inspekciji u SAD-u.

Asselt i koautori [140] primijenili su višeagentnu simulaciju na analizu usklađenosti proizvođača poljoprivrednih proizvoda u Nizozemskoj s relevantnim propisima. Agenti (poljoprivrednici) u obzir uzimaju vlastitu ocjenu rizika i koristi kršenja odnosno usklađenosti, ali na njih utječe i okolina, pri čemu se agenti međusobno razlikuju prema sklonosti preuzimanju rizika. Verwaart i Valeeva [141] analiziraju moguće komunikacijske strategije usmjerene na povećanje usklađenosti proizvođača hrane s propisima o sigurnosti hrane pomoću višeagentne simulacije. McPhee-Knowles [120] primjenjuje višeagentnu simulaciju na inspekciju sigurnosti hrane te razmatra koji je optimalan broj inspektora, obzirom na primijenjenu inspekcijsku strategiju.

Višeagentno modeliranje primjenjuju se i na simuliranje inspekcija usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša. Liu i Ye [142] modeliraju različite obrasce ponašanja kineskih poduzeća u postizanju usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša.

Malleson je samostalno [143] i s koautorima [119] primijenila višeagentnu simulaciju na modeliranje kriminalne aktivnosti te načina donošenja odluka kriminalaca, a autor ove disertacije je višeagentnu simulaciju primijenio na regulatornu inspekciju banaka odnosno na izravne nadzore u okviru bankovne supervizije [144][11].

Većina modela navedenih u ovom poglavlju temelji se (u osmišljavanju, kalibraciji ili provjeri valjanosti) na sekundarnim empirijskim podacima prikupljenima i relevantnima za usko područje primjene modela te uglavnom ne razmatraju okruženja u kojima se obveznik mora uskladiti s više pravila (ili tipova pravila) u kojima inspektor može odabrati neki uzorak pravila za inspekciju.

4.2. Empirijska istraživanja o inspekcijama usklađenosti

Javno su dostupni razmjerno opsežni empirijski podaci o inspekcijama usklađenosti. Primarni izvor podataka su javne objave inspeksijskih agencija i drugih nadzornih tijela o pristupu inspekciji te, nadalje, o rezultatima inspekcija. Međutim, objavljeni podaci često ostavljaju nedoumice o metodama rada inspektora te ih uobičajeno nije moguće izravno uspoređivati zbog razlika u području primjene, zakonskom okviru, inspeksijskim praksama, kulturološkim razlikama i slično. Dodatno, inspeksijska i nadzorna tijela namjerno ne objavljuju dio podataka kojima raspolažu. Naime, ti podaci mogli bi razotkriti detalje metoda rada inspektora, nadziranima entitetima omogućiti izbjegavanje inspekcija te posljedično smanjiti njihovu učinkovitost.

Način odabira entiteta koji će biti predmetom inspekcije, kao i odabir područja inspekcije ovise o nizu kriterija, uključujući veličinu organizacije, kompleksnost poslovanja, kompleksnost područja inspekcije, implementirane kontrole, itd. [78]. Nadalje, način odabira entiteta i područja koja će biti predmetom inspekcije uobičajeno se oslanjaju na ciklus i/ili slučajnost inspekcija.

Ciklus inspekcija označava vremenski period u kojem će svi obveznici ili svi obveznici u nekoj pod-grupi biti (barem jednom) predmetom inspekcije. Mnoge inspeksijske agencije imaju propisima uvjetovan inspeksijski ciklus ili su ga samostalno definirale. Tako smjernice o dinamici inspekcije usklađenosti entiteta s propisima o čistoći zraka i čistoći vode u SAD-a preporučuju da se inspekcije velikih zagađivača provode svake dvije godine, a inspekcije srednje velikih zagađivača svakih 5 godina [50]. Supervizori kreditnih institucija u Europskoj

uniji morat će određenom periodikom nadzorima obuhvatiti sve kreditne institucije, pri čemu će duljina ciklusa ovisiti o sistemskom značaju kreditne institucije [145]. Sistemski važne institucije morat će se nadzirati svake godine, a male institucije bez sistemskog značaja morat će se nadzirati barem jednom u 3 godine. Inspekcije usklađenosti s propisima o zaštiti na radu u SAD-u koje provodi OSHA (engl. *Occupational Safety and Health Administration*) trebale bi svakog obveznika obuhvatiti barem jednom u dvije godine [39]. Postojanje inspekcijskog ciklusa ponekad je indirektno vidljivo – primjerice, na području usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša u SAD-u, entiteti koji su nedavno nadzirani imaju manju vjerojatnost da će ponovno biti predmetom inspekcije [146]. Kvantitativni podaci o inspekcijama banaka (koje se provode u okviru supervizije banaka) pokazuju velike razlike, od zemlje do zemlje, što ukazuje na različite prakse. Delis i Staikouras [147] na usporedbi podataka o superviziji u 17 zemalja u 9 godina pokazuju velike varijacije u prosječnom broju nadzora po instituciji (od 0,14 do 9,86). Ovi podaci sugeriraju da postoje i velike razlike u inspekcijskom ciklusu od države do države.

Empirijski podaci vezani uz usklađenost s propisima o zaštiti okoliša, kao i studije inspekcije usklađenosti s poreznim propisima pokazuju da je određena razina **slučajnih** i raznolikih inspekcija nužna za maksimizaciju usklađenosti [50]. Slučajnost osigurava da će inspekcijom biti obuhvaćena cijela domena, što je nužno za obeshrabrivanje kršenja [55]. Slučajne inspekcije ponekada su i dominantan, ili čak i jedini način odabira entiteta za inspekciju – primjerice, IRS (engl. *Internal Revenue Service*) u SAD-u je 25 godina provodila samo slučajne inspekcije usklađenosti s poreznim propisima [7]. Teorijsku podlogu za provođenje inspekcije strategijom slučajnog odabira moguće je naći i u igri inspekcije [60, p. 10].

Intenzitet i način provođenja inspekcija mogu se razlikovati od područja do područja, pa čak i od slučaja do slučaja. Primjerice, na području inspekcije usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša inspekcije niskog intenziteta mogu se zasnivati na samo vizualnoj provjeri, inspekcije srednjeg intenziteta mogu uključivati pregled funkcioniranja entiteta, održavanja, uzorkovanja i izvješćivanja, dok inspekcije visokog intenziteta uključuju ekstenzivno uzorkovanje i testiranje od strane inspektora [148]. Općenito govoreći, formalne i strukturirane inspekcije rezultiraju boljom usklađenošću s propisima [26].

Međutim, inspekcija nije jedini mehanizam nadzora. Mogu postojati i dopunski – uglavnom signalni – mehanizmi koji utječu na ukupnu razinu usklađenosti. Primjerice, inspekcijska agencija informaciju o porezu na osobni dohodak može dobiti i od radnika i od poslodavca [7]. U takvim okolnostima, moguće je i uz vrlo nisku razinu inspekcije postići

visoku razinu ukupne usklađenosti. Primjerice, IRS u SAD-u revidira svega 2% domaćinstava, no procjenjuje da je 91,7% poreza točno prijavljeno [139]. S druge strane, procijenjena razina neplaćanja poreza čije izbjegavanje je vrlo teško otkriti jest 90% [7]. Bloomquist [55] navodi da je izbjegavanje plaćanja poreza 1% u okolnostima kad inspektor ima izrazito mnogo sekundarnih informacija o usklađenosti, 8-11% u okolnostima kad je takvih informacija „dosta“ te čak 56% kad je takvih informacija malo ili ih uopće nema. Nadzor poslovanja banaka također se oslanja na ekstenzivno prikupljanje i analizu podataka, uključujući analizu financijskih izvješća samih banaka, analizu izvješća vanjskih revizora [149] i internih kontrolnih mehanizama [150] kao i samu inspekciju [151].

Mehanizmi odabira entiteta koji će biti nadzirani mogu se značajno razlikovati i unutar iste države. Shimshack [148] tako navodi da je u istom razdoblju u američkoj saveznoj državi Sjeverna Karolina nadzirana usklađenost s propisima o čistoći zraka u čak 95% relevantnih organizacija, dok je u saveznoj državi New York nadzirano samo 10% relevantnih organizacija. Ista studija navodi slične raspone i za inspekciju usklađenosti s propisima o čistoći vode.

Pri **odabiru područja inspekcije**, nadzorni entiteti mogu se voditi raznolikim saznanjima.

May i Winter [47] navode kako je literatura o represivnim mehanizmima i mjerama razmjerno konzistentna u zaključku kako je nadzor potrebno usredotočiti na kategorije propisa uz koje je povijesno utvrđena viša razina kršenja. Nadalje, isti autori zaključuju kako će, uz pretpostavku ograničenih nadzornih resursa, fokus na prekršaje manjeg značaja smanjiti ukupnu razinu usklađenosti.

Heyes i Rickman [152] na temelju empirijskih podataka zaključuju kako US EPA (engl. *United States Environmental Protection Agency*) tolerira višu razinu neusklađenosti na nekim područjima, s pretpostavljenom namjerom postizanja više razine usklađenosti na drugim područjima ili više ukupne razine usklađenosti. Odnosno, veća tolerancija prema kršenju propisa na određenim područjima predstavlja strateški izbor US EPA-e, a ne slučajnost niti dosluh s prekršiteljima.

Slemrod [7] navodi da je sklonost preuzimanju rizika organizacije povezana s razinom (ne)usklađenosti, obzirom da je razina neusklađenosti s poreznim propisima viša u organizacijama u kojima je rukovodstvo nagrađeno višim bonusima (tj. u kojima se nagrađuje preuzimanje rizika). Stoga je moguća preporuka fokusiranje inspekcija na takve organizacije.

Odabir područja inspekcije u okviru supervizije banaka u obzir uzima više faktora, uključujući veličinu banke, kompleksnost područja, informacije o implementiranim kontrolama, itd. [78].

Ukupnu razinu usklađenosti s propisima teško je procijeniti, obzirom na: interese obveznika propisa; uobičajeno ograničeni skup podataka (uzorak) nad kojima se provodi procjena; te otežano određivanje reprezentativnog uzorka, obzirom na različite karakteristike obveznika. Primjerice, Magat i Viscusi [153] navode kako je prosječna usklađenost papirne industrije u SAD-u s propisima o zaštiti okoliša 75%. Službeni podaci usklađenost s propisima o zaštiti okoliša u SAD-u procjenjuju na 86%, ali i upozoravaju da su ti podaci vjerojatno suviše optimistični [120]. Gray i Shimshack [50] navode kako je ukupna razina usklađenost s propisima o čistoći zraka 38%, a ukupna razina usklađenosti s propisima o čistoći vode 75%.

U 2001. godini ukupan nenaplaćeni porez u SAD-u procijenjen je na 16,3% ukupno naplaćenog poreza [7]. No, neusklađenost s poreznim propisima značajno varira, ovisno o području primjene, od 8% [139] do 90% [7]. Razina usklađenosti s propisima također varira od zemlje do zemlje. Slemrod [7] navodi kako je procijenjeni ukupan nenaplaćeni porez u Novom Zelandu svega 5,1%, dok je u Peruu čak 68,2%.

Delis i Staikouras [147] na usporedbi podataka o superviziji u 17 zemalja u 9 godina pokazuju velike varijacije u prosječnom broju kazna po instituciji (od 0,02 do 4,06), što sugerira moguće velike razlike u ukupnoj razini usklađenosti ili u pristupu supervizora.

Analizirana empirijska istraživanja u velikoj većini slučajeva podržavaju hipotezu da **provođenje inspekcija utječe na povećanje usklađenosti s propisima.**

Gray i Shimshack u meta studiji [50] koja obuhvaća studije inspekcije usklađenosti organizacija s propisima o čistoći zraka i voda, toksičnih tvari te zaštite na radu u SAD-u, zaključuju kako postoji jasna povezanost između provođenja inspekcija usklađenosti te naknadne niže razine kršenja propisa. Iz meta studije proizlazi da je nakon inspekcije usklađenosti organizacije karakterizirala 10% viša usklađenost s propisima o čistoći zraka, te 20% niža razina zagađivanja voda.

Corman i Mocan [154] na temelju podataka o kriminalu u New Yorku u razdoblju od 1970. do 1996. zaključuju kako postoji povezanost između policijskih resursa i razine kriminala. Povećanje broja policajaca, kao i njihov veći fokus na teža kaznena povezani su sa smanjenjem ukupnog broja kaznenih djela.

Empirijske studije vezane uz zaštitu okoliša razmjerno konzistentno pokazuju da inspekcije imaju pozitivan utjecaj na daljnju usklađenost, odnosno da inspekcije, sankcije, kao i veća prijetnja inspekcijama ili sankcijama utječu na ponašanje organizacija i njihovu daljnju (veću) usklađenost [148][120]. Viša razina porezne inspekcije također ima za posljedicu višu razinu usklađenosti, pri čemu je izražen i utjecaj općenitog odvracanja [155].

Više razine inspekcije usklađenosti s poreznim propisima smanjuju razinu neusklađenosti – povećanje razine inspekcije za jedan postotni bod smanjuje izbjegavanje plaćanja poreza za 0,5% [155]. Međutim, percepcija obveznika o vjerojatnosti inspekcije usklađenosti s poreznim propisima ima mnogo veći utjecaj na usklađenost od stvarne vjerojatnosti inspekcije [155]. Bloomquist [55] navodi kako je percipirana vjerojatnost porezne inspekcije čak devet puta veća od stvarne (9% u odnosu na 1%).

Studije inspekcija usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, također naglašavaju da prijetnja inspekcijom, odnosno percipirana veća vjerojatnost inspekcije povećava usklađenost [120]. Međutim, greške u detekciji smanjuju odvracajući učinak [148].

Podaci o smjeru učinka inspekcije usklađenosti s propisima o sigurnosti na radu su jednoznačni, no podaci o veličini učinka nisu posve konzistentni. Analize empirijskih podataka pokazuju da provođenje inspekcije na tom području nema toliko velik utjecaj na usklađenost kao što ima na usklađenost s propisima o zaštiti okoliša [155]. Scholz i Gray [156] pokazuju da povećanje razine inspekcije sigurnosti na radu od 10% dovodi do 1% manje ozljeda na radu. Gray i Mendeloff [157] zaključuju kako odvracajući utjecaj inspekcija pada kroz vrijeme, od 19% do 1%. Kontrolirani eksperiment koji je proveo Levine sa suradnicima [158] pokazuje da su inspekcije imale sljedeći utjecaj (u odnosu na kontrolnu grupu): 9% manje ozljeda na radu i 26% manji troškovi kao posljedica tih ozljeda.

Utjecaj inspekcija na usklađenost nije nužno linearan. Podaci o inspekciji usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša [39][50], poreznoj inspekciji [55, p. 25], zaštiti na radu [157] i bankovnoj superviziji [78] pokazuju opadajući utjecaj inspekcija na usklađenost. Odnosno, nakon prve inspekcije nastaje značajan pada neusklađenosti, a svaka daljnja inspekcija ima sve manji utjecaj na neusklađenost.

Ko i koautori [39] navode da produljenje razdoblja bez inspekcije povećava broj neusklađenosti.

Empirijska istraživanja sugeriraju da **povećanje vjerojatnosti i/ili visine kazne utječe na povećanje usklađenosti s propisima.**

Grogger [159] na temelju uzorka od petnaestak tisuća kažnjenika u američkoj saveznoj državi Kalifornija pokazuje da sigurnost kažnjavanja odnosno veća percipirana vjerojatnost kazne od strane (potencijalnog) prekršitelja ima značajan odvraćajući učinak na počinjenje kaznenog djela. Prema istoj studiji, strogost kazne također ima odvraćajući utjecaj, ali manji od percipirane vjerojatnosti kazne. Podaci o bankovnoj superviziji pokazuju postojanje linearne negativne povezanosti kazna i rizika kojima su banke izložene [160].

Empirijski podaci o inspekcijama usklađenosti s propisima o sigurnosti na radu pokazuju da inspekcije koje ne kažnjavaju neusklađenost imaju malen ili nikakav odvraćajući učinak [157]. Različite vrste kazna imaju različiti odvraćajući učinak. Padajuće prema učinku su: zatvorska kazna, visoka globa, osuda, sudski postupak, identifikacija odgovornih osoba kao kršitelja [161]. Dodatno, empirija pokazuje da značajne novčane kazne imaju visok odvraćajući učinak, dok neformalne kazne bez financijskog učinka na prekršitelja nemaju utjecaj na usklađenost [155]. S druge strane, učinkovitost financijskih kazna kao mehanizma kažnjavanja može biti dvojbeni zbog poteškoća u njihovu prikupljanju, odnosno niske razine naplativosti [43].

Sukladno očekivanjima ekonomskog modela kriminala, u okruženjima s niskom vjerojatnosti materijalizacije kazne, odvraćajući utjecaj kazne je nizak [26]. U takvim slučajevima, trošak usklađenosti može imati značajno veći utjecaj na ukupnu razinu usklađenosti nego strah od kazne [26].

S druge strane, podcjenjivanje vjerojatnosti kazne dovodi do više razine neusklađenosti – Slemrod [7] pokazuje da organizacije koje promoviraju kulturu preuzimanje rizika, (engl. *risk-taking*), što je vidljivo iz, primjerice, većih bonusa, imaju i višu razinu neusklađenosti s propisima.

Analizirana istraživanja sugeriraju da **provođenje inspekcija ima odvraćajući utjecaj na kršenje** propisa. Općenito odvracanje može imati značajan utjecaj – primjerice, prema Shimshacku [148] 10-40% organizacija navode da provode promjene vezane uz usklađenost kad dobiju informaciju da je neka druga organizacija kažnjena zbog neusklađenosti s propisima. Opće odvracanje je vidljivo i u laboratorijskim eksperimentima inspekcije porezne evazije, no značajan postotak pro-socijalnog ponašanja koje je vidljivo u laboratorijima, nije vidljivo u stvarnosti [55, p. 24].

U skladu s pretpostavkama igre inspekcije, prijetnja kaznom mora biti vjerodostojna. Stoga bolje razumijevanje inspekcijaskog odnosa i shvaćanje da su stvarne vjerojatnosti

inspekcije i kažnjavanja manje od inicijalno percipiranih, dovodi do smanjenja odvraćajućeg utjecaja kazne [26].

Administrativne kazne mogu smanjiti recidivizam u tvrtkama (odnosno, na djelu je specifično odvraćanje) te je percepcija sigurnosti otkrivanja kršenja veća ako je tvrtka već bila u kontaktu s regulatorom [2, p. 97]. Stavovi rukovoditelja o negativnim etičkim i moralnim dimenzijama vezanima uz neusklađenost mogu imati značajan odvraćajući utjecaj. Rukovoditelji koji vjeruju da će doživjeti poslovni uspjeh kao posljedicu kršenja propisa su najvjerojatniji prekršitelji [2, p. 151]. Stoga Simpson [2, p. 152] zaključuje kako je prijetnja kaznama nužna za kontrolu ponašanja dijela rukovoditelja te kao podsjetnik za ostale rukovoditelje. Simpson [2, p. 42] također upozorava kako prijetnja formalnim sankcijama ima mali utjecaj na populacije koje su predane kršenju zakona.

Analizirana istraživanja ukazuju da postoji **negativna povezanost između cijene (troška) postizanja usklađenosti i ukupne razine usklađenosti**. Empirijski podaci o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša u papirnoj industriji ukazuju da entiteti koji često krše pravila imaju viši trošak usklađenosti, te je stoga manje vjerojatno da će reagirati na aktivnosti inspektora [50]. Odnosno, represivne mjere neće imati željeni učinak. Značajan učinak mogu imati i kapitalna ulaganja potrebna za postizanje usklađenosti [153]

May i Winter [47] u svom empirijskom istraživanju o usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša u Danskoj kao glavni razlog neusklađenosti identificiraju troškove. Nadalje, trošak postizanja usklađenosti može imati veći utjecaj na (ne)usklađenost nego strah od inspekcije i kazne [26]. Visoki troškovi usklađenosti mogu biti i znak tehnološke zaostalosti tvrtke te u takvim slučajevima prekršaji koje je određena organizacija napravila mogu biti dobar indikator budućih prekršaja [146].

Podaci i zaključci navedeni u ovom poglavlju ukazuju na postojanje nekih pravilnosti u utjecaju inspekcija, kazna, troška usklađenosti i nekih drugih faktora na ukupnu razinu usklađenosti, a koje su prisutne u različitim zemljama, područjima i industrijama. Međutim, vidljivo je i da postoje velike razlike u inspekcijskim praksama u svijetu, ovisno o zemlji, ekonomskoj grani, karakteristikama nadziranih entiteta i inspekcijskih agencija, itd.

5. Metode i podaci

Poglavlje opisuje primijenjene metode, što uključuje metode kojima je provedeno empirijsko istraživanje, metode opisa razvijenog modela i računalne simulacije kao i metode verifikacije, provjere valjanosti i analize osjetljivosti implementiranog modela. U poglavlju su opisana i očekivana svojstva podataka koji su prikupljeni kroz empirijsko istraživanje te metode statističke obrade tih podataka. Opisane su i metode statističke obrade podataka generiranih računalnom simulacijom u okviru verifikacije, provjere valjanosti, analize osjetljivosti modela te testiranja postavljenih hipoteza.

U radu se primjenjuje mješoviti istraživački pristup (više izvora podataka, više metoda u prikupljanju i istraživanju, upotreba više teorijskih perspektiva te upotreba kvalitativnih i kvantitativnih metoda).

5.1. Empirijsko istraživanje

U nastavku je opisan način provođenja empirijskog istraživanja kojim su prikupljeni podaci o resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti sa svim Odluke o IS te podaci o razini usklađenosti svake kreditne institucije u Republici Hrvatskoj (RH) sa svakom odredbom Odluke o IS-u.

5.1.1. Prikupljanje podataka

Empirijski podaci prikupljeni su putem pisanih upitnika (metoda ankete). Za potrebe provođenja supervizije informacijskih sustava kreditnih institucija koje posluju u RH, Hrvatska narodna banka (HNB) je u 2012. godini prikupila podatke o usklađenosti kreditnih institucija s odredbama Odluke o IS te resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti s

odredbama. Autor ove disertacije zaposlen je u HNB-u na poslovima supervizije informacijskih sustava kreditnih institucija te je sudjelovao u definiranju, usmjeravanju i provođenju tog istraživanja.

U trenutku prikupljanja podataka kreditne institucije imale su iskustvo u postizanju i održavanju usklađenosti s odredbama Odluke o IS-u te su trebale biti usklađene sa svim odredbama. Odluka o IS-u je odabrana kao osnova za prikupljanje podataka o resursnoj zahtjevnosti i usklađenosti obzirom na različite karakteristike odredaba navedene u poglavlju 2.6, jasno određene odgovornosti u kreditnim institucijama za upravljanje navedenim područjem te uspostavljene mehanizme neovisne procjene usklađenosti od strane ovlaštenih revizora.

Način prikupljanja podataka obuhvaćenih ovim istraživanjem određen je u skladu s mehanizmima i praksama prikupljanja podataka od kreditnih institucija koji su već uspostavljeni u HNB-u, ali i uzimajući u obzir potrebu mogućnosti testiranja hipoteze H.3.

Podaci su prikupljeni posredstvom dva upitnika (odnosno ankete) o odredbama Odluke o IS-u. Nužno je naglasiti da ovi **upitnici prikupljaju** objektivne **informacije** te nisu psihometrijski instrumenti. Prvi upitnik upućen je kreditnim institucijama (Upitnik o resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti), a drugi upitnik upućen je ovlaštenim vanjskim revizorima kreditnih institucija (Upitnik o usklađenosti s odredbama). Zajedničke karakteristike anketa opisane su u nastavku ovog poglavlja, a razlike u daljnjim potpoglavljima.

Oba upitnika imaju tablični izgled (sadržaj upitnika priložen u je poglavljima 12.2 i 12.3). Nakon popunjavanja, ispitanici su popunjene upitnike u elektroničkom i fizičkom (papirnatom) obliku dostavili HNB-u. Za svaku pojedinačnu odredbu (ukupno 44) Odluke o IS, ispitanici su morali odabrati jedan od ponuđenih odgovora (tzv. „zatvorena pitanja“). Uz svako pitanje detaljno je razloženo što bi trebalo uzeti u obzir prilikom odgovaranja, kako bi se osiguralo ujednačeno shvaćanje te, posljedično, usporedivost odgovora. Pitanja u upitnicima imaju „prirodan“ redoslijed – identičan sadržaju Odluke o IS-u. Svi ispitanici morali su odgovoriti na sva pitanja. Ponuđeni odgovori oblikovani su kao semantičke ordinalne skale koje nalikuju pitanjima Likertova tipa [162]. Prilikom sastavljanja ponuđenih odgovora u obzir su uzete dobre prakse pri sastavljanju čestica (tj. pitanja) Likertova tipa [163]: ponuđeni odgovori su balansirani, nisu korišteni brojevi već jasni i jednostavni termini, upotrijebljeni termini su centralno simetrični, a „suprotstavljeni“ termini su, koliko je to moguće, izraženi na usporediv način. Izbor boja i vizualni prikaz usklađeni su kako bi bili neutralni (primjerice, nisu korištene boje koje bi mogle implicitno sugerirati što je željeni, a što neželjeni odgovor poput zelene i

crvene). Ispitanici nisu imali mogućnost unosa dodatnog teksta odnosno komentara uz pojedinačna pitanja u upitnicima.

Uzimajući u obzir povjerljivost podataka te etička načela i principe vezane uz korištenje podataka, autor je od HNB-a dobio formalnu suglasnost za korištenje prikupljenih podataka u disertaciji.

5.1.1.1. Anketa kreditnih institucija

Anketa kojom je propitivana resursna zahtjevnost ispunjavanja i održavanja usklađenosti s odredbama Odluke o IS-u upućena je svim kreditnim institucijama 6. veljače 2012. godine. Upitnik je dostavljen u pisanom i elektroničkom obliku predsjednicima uprava svih kreditnih institucija. Kreditne institucije bile su dužne dostaviti popunjene upitnike do 15. ožujka 2012. godine. Primatelji su upoznati sa sadržajem i ciljem upitnika, priložene su detaljne upute za popunjavanje te su predložene osobe koje bi trebale popuniti upitnik (voditelj organizacijske jedinice informacijske tehnologiji i/ili član uprave kreditne institucije zadužen za informacijsku tehnologiju, uz koordinaciju s voditeljem sigurnosti informacijskog sustava). Posjedovanje traženih informacija od strane ispitanika osigurano je kroz zahtjeve za uspostavom primjerene unutarnje organizacije kreditnih institucija, odgovarajuću podjelu ovlasti i odgovornosti te prethodnu komunikaciju HNB-a s kreditnim institucijama o sadržaju Odluke o IS-u.

Resursna zahtjevnost promatrana je kao koncept koji je potrebno operacionalizirati, obzirom na postojanje izravnih, ali i neizravnih troškova koje nije jednostavno kvantificirati. Naime, resurse potrebne za usklađivanje s određenom odredbom bi – načelno – trebalo moći iskazati putem njihove financijske vrijednosti, što bi omogućilo prikupljanje podataka omjernog tipa. Međutim, osim izravnih troškova (poput troškova hardvera i softvera, konzultantskih usluga, plaća djelatnika koji su sudjelovali na implementaciji i/ili održavanju usklađenosti s određenom odredbom), postoje i drugi resursni zahtjevi vezani uz implementaciju odredaba Odluke koje nije jednostavno kvantificirati (primjerice, troškovi vezani uz implementaciju i održavanje usklađenosti s odredbama koje zahtijevaju uspostavu procesa poput upravljanja promjenama) i/ili koji su u određenoj mjeri već bili uspostavljeni u kreditnim institucijama. Širok obuhvat pitanja o resursima potrebnima za ispunjavanje određene odredbe Odluke vidljiv je iz pojašnjenja uz pitanje koje je uključeno u upitnik koji je poslan kreditnim institucijama (sadržano u prilogu, u poglavlju 12.2).

U skladu s navedenim, kreditnim institucijama je uz svaku odredbu Odluke (navedene u tabeli 1.) postavljeno sljedeće pitanje: „*Koliki resursi su potrebni za ispunjenje i održavanje usklađenosti s ovom odredbom?*“, pri čemu je omogućen odabir samo jednog od sljedećih odgovora: *vrlo mali, mali, osrednji, veliki i vrlo veliki*.

5.1.1.2. Anketa vanjskih revizora

Anketa kojom je propitivana usklađenost kreditnih institucija s odredbama Odluke o IS-u upućena je ovlaštenim vanjskim revizorima kreditnih institucija. Naime, obzirom na moguće posljedice neusklađenosti (pokretanje prekršajnog postupka, povećanje kapitalnih zahtjeva i slično), nije bilo razumno očekivati da će kreditne institucije objektivno i iskreno procijeniti vlastitu usklađenost s odredbama Odluke o IS-u. Stoga je iskorišten već uspostavljen mehanizam provođenja redovitih godišnjih vanjskih revizija informacijskih sustava u kreditnim institucijama u RH. Naime, sukladno „Odluci o sadržaju revizije u kreditnim institucijama“ [149], ovlašteni revizori dužni su, u okviru godišnje revizije financijskih izvješća, provesti i reviziju za potrebe HNB-a koja uključuje i provjeru te ocjenu „*stanja IS i adekvatnosti upravljanja IS*“. Nadalje, u okviru spomenutih postupaka revizorska društva dužna su „*provjeriti pridržava li se kreditna institucija podzakonskih akata donesenih na temelju Zakona o kreditnim institucijama a koji se odnose na IS*“ [149]. Obzirom na navedene obveze, revizorskim društvima koja su provodila reviziju financijskih izvješća kreditnih institucija za financijsku godinu 2011. te su bila odgovorna i za provođenje revizije informacijskog sustava upućen je upitnik u kojem se od svakog društva zatražila procjena usklađenosti kreditne institucije koju su revidirali sa svim odredbama Odluke o IS-u. Upitnici su ovlaštenim vanjskim revizorima upućeni 11. travnja 2012. godine, s rokom za dostavu popunjenih upitnika do 15. svibnja 2012. godine.

Upitnik je dostavljen u pisanom i elektroničkom obliku odgovornim osobama u društvima ovlaštenih revizora (glavnim partnerima za reviziju financijskog sektora). Primatelji su upoznati sa sadržajem i ciljem upitnika, priložene su detaljne upute za popunjavanje te su predložene osobe koje bi trebale popuniti upitnik („*Upitnik bi trebala popuniti osoba koja je bila odgovorna za provedbu revizije informacijskog sustava kreditne institucije*“). Svako revizorsko društvo trebalo je popuniti po jedan upitnik za svaku kreditnu instituciju u kojoj su provodili reviziju informacijskog sustava.

Nastavno na razmatranja u poglavlju 5.1.1, ponuđeni odgovori oblikovani su kao semantičke ordinalne skale. Pri tome ljestvica ima paran broj kategorija (6), kako bi se smanjio rizik biranja centralnog (neutralnog) položaja, omogućilo nijansiranje odgovora te omogućila (ako se ukaže potreba) transformacija odgovora u dihotomnu varijablu za potrebe statističke analize [163]. Naime, umjesto svođenja stanja usklađenosti na dihotomiju usklađen/neusklađen te prikupljanja takvih primarnih podataka, usklađenost je, sukladno preporukama Mazura [164], „indeksirana“ odnosno definirano je više mogućih razina usklađenosti, kako bi se omogućila bolja usporedba.

U skladu s navedenim, za svaku kreditnu instituciju te uz svaku odredbu Odluke o IS-u postavljeno je sljedeće pitanje: „*U kojoj mjeri je kreditna institucija ispunila odredbe Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom?*“, te je omogućen odabir samo jednog od sljedećih odgovora: *u potpunosti neispunjeno, velikom većinom neispunjeno, uglavnom neispunjeno, uglavnom ispunjeno, velikom većinom ispunjeno i u potpunosti ispunjeno*.

Tablica 5.1 prikazuje usporedni sažetak karakteristika anketnih upitnika koji su poslani kreditnim institucijama i ovlaštenim revizorima.

Tablica 5.1 – Sažetak karakteristika anketnih upitnika o Odluci o IS

Upitnik upućen:	Svim kreditnim institucijama	Revizorskim društvima koja obavljaju godišnje revizije informacijskih sustava kreditnih institucija.
Upitnik se odnosi na:	Svaku pojedinačnu odredbu „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ (Odluka o IS)	
Prikupljeni podaci:	Resursi potrebni za postizanje i održavanje usklađenosti sa svakom odredbom Odluke o IS	Usklađenost kreditne institucije sa svakom odredbom Odluke o IS
Način mjerenja:	Semantička ordinalna skala	
Broj mogućih odgovora:	5	6
Ponuđeni odgovori:	vrlo mali mali osrednji veliki vrlo veliki	u potpunosti neispunjeno velikom većinom neispunjeno uglavnom neispunjeno uglavnom ispunjeno velikom većinom ispunjeno u potpunosti ispunjeno

5.1.2. Heuristike, pristranosti i ograničenja razmatrani pri dizajnu istraživanja

Obzirom na sadržaj ankete te karakteristike odnosa ispitanika i HNB-a, moguće je da prikupljeni podaci sadrže određene pomake tj. heuristike i pristranosti (engl. *bias*) te ograničenja. U nastavku su ukratko opisane identificirane pristranosti i ograničenja te načini njihova ovladavanja, kroz dizajn istraživanja ili kroz postupke statističke analize prikupljenih podataka.

Očita moguća pristranost ankete koju regulator šalje institucijama koje nadzire, kao i ovlaštenih revizora čiji rad, posredno, nadzire je **pristranost društvene prihvatljivosti** (engl. *social desirability bias*) [165]. Odnosno, bilo je razumno pretpostaviti da će ispitanici htjeti odgovoriti na način za koji procjenjuju da će regulator smatrati poželjnim. Međutim, za pitanja vezana uz resursnu zahtjevnost postizanja i održavanja usklađenosti nije očito kakav tip odgovora bi kreditne institucije vjerovale da regulator smatra poželjnim. Stoga nije pretpostavljeno da će ta vrsta pristranosti imati značajniju ulogu u anketi.

Bilo je upitno je u kojoj mjeri će ovlašteni revizori iskreno odgovoriti na pitanja o usklađenosti poslovanja kreditne institucije s regulatornim odredbama. Naime, bilo je moguće pretpostaviti da ovlašteni revizor neće biti sklon neopravdano značajno uljepšavati stanje zatečeno u kreditnim institucijama te procijeniti stanje kao usklađeno, iako je stvarna situacija nezadovoljavajuća. Time bi se izložio riziku kazne od strane supervizora i narušavanja reputacije u slučaju da usporedna procjena usklađenosti supervizora (putem izravnih i/ili neizravnih nadzora) dâ značajno lošije rezultate ili u slučaju pojave naknadnih povezanih incidenata. S druge strane, kreditna institucija bira i plaća ovlaštenog revizora te može pokušati utjecati na ublažavanje posebno loših ocjena. Stoga su ekstremne ocjene (*u potpunosti ispunjeno* i *u potpunosti neispunjeno*) razmjerno rizične za vanjskog revizora u kontekstu njegovog odnosa s kreditnom institucijom, s jedne, i s HNB-a, s druge strane. Odnosno, bilo je moguće pretpostaviti da bi vanjski revizori mogli odgovarati u skladu s **pristranošću izbjegavanja ekstremnih stavova** (engl. *central tendency bias*; također, engl. *end-aversion bias*) [166][167, p. 130]. Odnosno, mogli bi izbjegavati davanje ekstremnih odgovora na zadanoj semantičkoj ordinalnoj skali kojom se procjenjuje usklađenost poslovanja kreditne institucije s regulatornim odredbama. Nadalje, moguće je pretpostaviti da ova pristranost neće biti podjednaka za sve ovlaštene revizore, već će ovisiti o korporativnoj kulturi, načinu upravljanja informacijskim sustavom te poviješću odnosa ovlaštenog revizora i HNB-a. Postojanje ove pristranosti nije moguće ukloniti, no zbog parnog broja kategorija odgovora te

nepostojanja neutralne pozicije, ispitanici ipak moraju odlučiti [168] je li revidirana institucija usklađena ili neusklađena sa svakom od odredaba Odluke o IS-u.

U prethodnim potpoglavljima objašnjeno je da svi ispitanici moraju odgovoriti na sva pitanja, a ponuđeni odgovori ne ostavljaju mogućnost izbjegavanja odgovora (odnosno, nema mogućnosti davanja odgovora poput „ne znam“ ili „nemam mišljenje“). Takove ankete s „**prisilnim odabirom**“ (engl. *forced choice*) mogu dovesti do iskrivljenih rezultata, ako ispitanici doista ne znaju odgovor ili nemaju mišljenje o predmetnoj materiji [163]. Međutim, obzirom na sadržaj anketa, ispitanike, njihovu motivaciju i kontekst istraživanja, moguće je pretpostaviti da takove situacije nisu realno očekivane.

Daljnje identificirano ograničenje jest **opsežnost upitnika**. Naime, popunjavanje upitnika zahtjeva donošenje velikog broja razmjerno kompleksnih prosudaba. Bilo je moguće pretpostaviti da će u manjim kreditnim institucijama s manjim brojem zaposlenika u organizacijskim jedinicama informacijske tehnologije (te samim tim i manjim mogućnostima delegiranja popunjavanja dijelova upitnika na više osoba), a posebice u društvima vanjskih revizora koja su obavljala reviziju većeg broja kreditnih institucija, doći do zamora popunjavanja te samim time i do davanja podoptimalnih odgovora.

Povezano s prethodnim ograničenjem, teško je odrediti koliko kvalitetno kreditne institucije mogu procijeniti resurse potrebne za postizanje i održavanje usklađenosti s određenom regulatornom odredbom. Naime, postizanje i održavanje usklađenosti s odredbama poput – primjerice – one o upravljanju softverskim promjenama, zahtijevaju angažman većeg broja djelatnika različitih organizacijskih jedinica u kreditnoj instituciji kroz dulje vremensko razdoblje. Stoga je upitno hoće li osobe koje popunjavaju upitnik imati cjelovite i točne informacije o resursnoj zahtjevnosti. Navedeno je posebno relevantno u većim kreditnim institucijama, obzirom na inherentnu veću specijaliziranost njihovih djelatnika (čak i na rukovodećim pozicijama).

I konačno, sam dizajn upitnika mogao je utjecati na pojavu određenih pristranosti. Naime, kao što je već navedeno, obje ankete se sastoje od velikog broja slijednih pitanja, odgovaranje na koja može zahtijevati prikupljanje opsežnih podataka ili davanje kompleksnih procjena. U takvim okolnostima, odgovori na prethodna pitanja mogli bi utjecati na odgovore na daljnja pitanja odnosno kontekst bi mogao utjecati na odgovore ispitanika [169][170]. Tourangeau [170] opisuje **pristranost uređivanja zbog konzistentnosti** (engl. *editing for consistency bias*) kao pokušaj ispitanika da budu konzistentni u svojim odgovorima. Stoga su njihovi odgovori kompromis između prosudaba, „diktata“ konzistentnosti i društvenog pritiska (odnosno pristranosti društvene prihvatljivosti). Nadalje, Schwartz [169, p. 96] je analizirao

utjecaj konteksta na odgovore u anketama te zaključio da je interpretacija pitanja od strane anketiranih utjecana sadržajem susjednih pitanja. Dodatno, Schwartz zaključuje [169, p. 98] da anketirani ekstrahiraju informacije o usporedbi iz svojih vlastitih odgovora na prethodna pitanja. Odnosno, ako se ova pristranost pojavljuje u odgovorima ispitanika, manifestirat će se kroz pravilno određen relativni redoslijed, primjerice, resursne zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti, ali i kroz neodgovarajuće apsolutne iznose. Obzirom na navedeno, zaključeno je da bi statistički testovi temeljeni na rangiranju (koje ovisi o međusobnom odnosu tj. redoslijedu odgovora, a ne o njihovoj apsolutnoj vrijednosti) mogli dati zadovoljavajuće rezultate.

5.1.3. Karakteristike prikupljenih podataka

Anketama su prikupljeni podaci o i od 31 banke, 1 štedne banke i 5 stambenih štedionica koje su u trenutku slanja upitnika i zaprimanja odgovora imale odobrenje HNB za poslovanje u RH. Anketu o usklađenosti popunilo je 11 ovlaštenih vanjskih revizora koji su provodili revizije kreditnih institucija za financijsku godinu 2011. Odgovorna osoba svake kreditne institucije (član uprave kreditne institucije zadužen za informacijsku tehnologiju) svojim je vlastoručnim potpisom potvrdila cjelovitost i vjerodostojnost dostavljenih podataka. Analogno, odgovorna osoba svakog ovlaštenog revizora (glavni partner za reviziju financijskog sektora) svojim je vlastoručnim potpisom potvrdila cjelovitost i vjerodostojnost dostavljenih podataka.

Svi ispitanici odgovorili su na sva pitanja u oba upitnika.

Obzirom na opisan kontekst provođenja ankete te činjenicu da su upitnici upućeni od strane regulatora te su zakonski obvezujući, moguće je zaključiti da su sudionici bili motivirani za odgovaranje, razumjeli pitanja te su bili u posjedu potrebnih informacija. Uzimajući u obzir činjenicu da upitnici prikupljaju objektivne informacije te nisu psihometrijski instrumenti i usporedbom karakteristika provedenih anketa s obilježjima različitih vrsta anketa [171, p. 104], moguće je zaključiti da provedene ankete imaju visok stupanj pouzdanosti (u uobičajenom smislu te riječi, a ne u smislu pouzdanosti instrumenta) te da su odgovori potpuni i vjerodostojni.

Prikupljeni podaci grupirani su u dvije matrice s 44 retka (broj odredaba Odluke o IS) i 37 stupaca (broj kreditnih institucija). Jedini izuzetak bile su 4 odredbe vezane uz elektroničko bankarstvo na koje nisu odgovorile stambene štedionice i jedna banka obzirom da u trenutku popunjavanja upitnika nisu koristile elektroničko bankarstvo. Analogno, na ta pitanja i za te institucije nisu bile primjenjive niti ocjene usklađenosti.

Iz skupa podataka koji su analizirani isključeni su odgovori jedne banke koja je u trenutku prikupljanja podataka bila pod posebnim supervizorskim mjerama HNB.

5.1.4. Metode analize empirijskih podataka

Uzimajući u obzir osjetljiv i povjerljiv karakter nekih podataka koji su prikupljeni putem anketa, ti podaci u radu nisu prikazani u pojedinačnom, analitičkom obliku, već isključivo u sumarnom i/ili agregiranom obliku. Odnosno, iz prikazanih podataka nije moguće utvrditi koje institucije su dale predmetne podatke.

Prikupljeni podaci su automatizmom transferirani u alate za statističku obradu kako bi se izbjegle greške u prijenosu. Nadalje, podaci su prije analize anonimizirani (uklanjanjem oznaka kreditne institucije na koju se odnose te postavljanjem slučajnog redoslijeda ispitanika).

Prikupljeni podaci prvo su opisani metodama deskriptivne statistike, a zatim je postavljena hipoteza H.3 testirana odgovarajućim statističkim testovima.

Primijenjene deskriptivne metode uključuju izradu kontingencijske tabele (odnosno kros-tabele) te, u cilju bolje vizualizacije rezultata empirijskog istraživanja te prikaza odnosa razine (ne)usklađenosti i resursne zahtjevnosti usklađenosti s odredbama, mozaik grafikona. Mozaik grafikoni koriste se za prikaz višedimenzionalnih kontingencijskih tabela, pri čemu je površina svakog polja u grafikonu proporcionalna broju u odgovarajućoj ćeliji kontingencijske tabele [172]. Uz navedeno, provedena je i usporedba rangova odredaba, pri čemu su semantičke čestice u izvornim podacima zamijenjene slijednim brojčanim vrijednostima, koje su zatim zbrojene za svaku pojedinačnu odredbu (odnosno, brojčane vrijednosti pridružene odgovorima kreditnih institucija su zbrojene za svaku pojedinačnu odredbu). Odredbi s većom (kumulativnom) vrijednošću dan je viši rang. Osim navedenih metoda, izrađeni su i dijagrami raspršenja.

Provjera povezanosti varijabla, odnosno korelacijska analiza provedena je u dva koraka.

U prvom koraku analizirana je povezanost resursne zahtjevnosti i neusklađenosti na razini pojedinačnih odgovora. Odnosno, uspoređeni su parovi odgovora (resursna zahtjevnost i neusklađenost) za svaku instituciju i svaku odredbu Odluke o IS-u. U drugom koraku, analizirana je povezanost uprosječenih odgovora, odnosno povezanost između prosječne razine neusklađenosti s odredbama Odluke o IS-u i prosječne resursne zahtjevnosti usklađenosti s odredbama.

Nužno je naglasiti kako su prikupljeni podaci – cenzus podaci, odnosno uključuju cjelokupnu populaciju (sve kreditne institucije i sve odredbe Odluke o IS-u). Stoga informacija o statističkoj signifikantnosti (p-vrijednost) nije relevantna.

Obzirom da se kroz hipotezu H.3 razmatra veličina korelacije, nužno je definirati što se smatra srednje velikom (ili većom) korelacijom. Tumačenja veličine koeficijenata korelacije su neujednačena u literaturi. Primjerice, Kotrlík i Williams [173] usporedili su više izvora te identificirali razlike, kako u rasponima, tako i u interpretaciji. Nastavno na to istraživanje, u ovom radu primjenjuju se sljedeći opisi odnosno interpretacije apsolutnih vrijednosti korelacijskih koeficijenata:

- [0,0, 0,1] : nema povezanosti
- [0,1, 0,3] : niska povezanost (*)
- [0,3, 0,5] : srednja povezanost (**)
- [0,5, 0,7] : značajna povezanost (***)
- [0,7, 1,0] : vrlo jaka povezanost (****)

Analizom parova odgovora, provjeravana je korelacija odgovora pojedinačne institucije o resursnoj zahtjevnosti pojedinačne odredbe i procjene ovlaštenog revizora o usklađenosti te institucije s tom odredbom. Stupanj povezanosti određen je primjenom polikorične korelacije. Polikoričnom korelacijom mjeri se povezanost 2 ordinalne varijable, uz pretpostavku da su u pozadini kontingencijske tabele 2 latentne varijable s bivarijatnom normalnom distribucijom [174, p. 193][175][176, p. 4].

U drugom koraku korelacijske analize analizirana je povezanost resursne zahtjevnosti i neusklađenosti na razini uprosječenih vrijednosti odgovora, pri čemu je metoda detaljnije opisana u nastavku.

Naime, informacija o povezanosti između parova odgovora nije posebno korisna sa stajališta usmjeravanja inspekcijske strategije, što je osnovni cilj ovog rada. Kao što je navedeno u poglavlju 5.1, institucije se mogu razlikovati prema svojim karakteristikama te, posljedično, prema resursnoj zahtjevnosti ispunjavanja odredaba Odluke o IS-u. Inspekcijska agencija teško može uspostaviti zasebnu inspekcijsku strategiju za svaku instituciju koju nadzire, obzirom na moguće razlike u procjenama resursne zahtjevnosti. Međutim, informacija o povezanosti između prosječne razine kršenja odredaba i prosječne resursne zahtjevnosti

ispunjavanja odredaba iskoristiva je u modelu ICARUS pri primjeni SUS i SUS-*Stackelberg* inspekcijskih strategija.

Prosječna razina resursne zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti može se odrediti kodiranjem svih ocjena resursne zahtjevnosti u numeričke vrijednosti koje se zatim aritmetičkim operacijama transformiraju u jednu vrijednost za usklađenost, i jednu vrijednost za resursnu zahtjevnost, za svaku odredbu Odluke o IS. Primjerice, izračunom aritmetičkih sredina odgovora svih kreditnih institucija o resursnoj zahtjevnosti usklađenosti s pojedinačnim odredbama. Na temelju uprosječenih resursnih zahtjevnosti svake odredbe, mogu se odrediti i njihovi međusobni relativni i apsolutni odnosi. Analogan postupak može se primijeniti i pri određivanju prosječne razine neusklađenosti. Naime, uz pretpostavku da u pozadini mjerenih varijabla postoje latentne kontinuirane varijable, prikupljeni podaci mogu se tretirati kao kontinuirani, što je česta pretpostavka u istraživanjima na području društvenih znanosti [174]. Pri tome je vidljivo da se resursna zahtjevnost te razina usklađenosti mogu promatrati kao kontinuirane varijable.

Ne postoji jednoznačan način kodiranja ordinalnih podataka u numeričke vrijednosti. Primjerice, Tkalac Verčić i koautorice [171, p. 139] sugeriraju da se ordinalne varijable kodiraju korištenjem vrijednosti od 1 do n . No, takav način kodiranja implicira ekvidistantnost. Primjerice, takvim kodiranjem resursne zahtjevnosti impliciralo bi se da je razlika između *vrlo male* i *male* resursne zahtjevnosti jednaka kao i razlika između *velike* i *vrlo velike* resursne zahtjevnosti. Međutim, resursna zahtjevnost može značajno varirati, ovisno o tipu odredbe. Primjerice, trošak formalne uspostave odgovornosti za upravljanje informacijskim sustavom na razini uprave kreditne institucije (članak 3.) bit će, gotovo sigurno, mnogo puta manji od troška uspostave pričuvnog računalnog centra (članak 31.). Isto tako, primjenom navedenog načina kodiranja na neusklađenost, impliciralo bi se da je razlika između *uglavnom neispunjeno* i *uglavnom ispunjeno* ista kao i razlika između *velikom većinom ispunjeno* i *u potpunosti ispunjeno*. No, zbog „forsiranog odgovaranja“ odnosno činjenice da upitnik o usklađenosti nema centralnu neutralnu vrijednost, već vanjski revizor mora odlučiti je li kreditna institucija usklađena ili neusklađena, razlika između vrijednosti *uglavnom ispunjeno* i *uglavnom neispunjeno* može biti mnogo veća od razlike između *uglavnom ispunjeno* i *velikom većinom ispunjeno*. Obzirom da ne postoje informacije o stvarnim razlikama između tih vrijednosti te obzirom da bi se, čak kad bi i postojale, mogle razlikovati od institucije do institucije, nagađanje je neizbježno. Agresti [174, pp. 10–12] navodi da je pravilan način kodiranja odnosno bodovanja ordinalnih podataka često nejasan. Naime, način izražavanja u ponuđenim

odgovorima može implicirati da između različitih odgovora postoje različite razlike. Primjerice, razlika između odgovora „možda“ i „vjerojatno“ može biti veća od razlike u odgovorima „sigurno“ i „potpuno sigurno“. Ove razlike mogu se primijeniti i na kodiranje podataka, te se, primjerice, „možda“ može bodovati s 1, „vjerojatno“ s 4, „sigurno“ s 5, a „potpuno sigurno“ sa 6. Stoga Agresti [174, p. 10] predlaže „*primjenu nekoliko razumnih načina kodiranja (koji nisu svi linearne translacije), te provjeru ovise li zaključci o načinu bodovanja*“.

Nastavno na ova razmatranja u ovom radu, pri kodiranju danih ocjena u numeričke vrijednosti za potrebe određivanja prosječnih vrijednosti primijenjeno je nekoliko različitih ljestvica, kako bi se dobili robusniji rezultati korelacijskih testova. Na kodiranje resursne zahtjevnosti primijenjena je najjednostavnija linearna ljestvica, ali i ljestvica s geometrijskom progresijom prema $f(x) = 2^x$. Na kodiranje neusklađenosti je također primijenjena najjednostavnija linearna ljestvica, ali i ljestvica koja simulira forsirani izbor (*u potpunosti ispunjeno = -3, velikom većinom ispunjeno = -2, uglavnom ispunjeno = -1, uglavnom neispunjeno = 1, velikom većinom neispunjeno = 2, u potpunosti neispunjeno = 3*)¹⁰. Obzirom na ove izbore, moguće su 4 usporedbe. Uz navedeno, kodiranje je provedeno i primjenom izračunatih centroida intervala polikorične korelacije.

Primjena statističkih analiza nad ordinalnim podacima razmjerno je kontroverzna tema. Dok neki autori primjenu parametrijskih metoda nad ordinalnim podacima smatraju najvećim „grijehom“ u statističkoj analizi [177], drugi autori mnogo su pomirljiviji [178][179] te smatraju da se podaci uneseni putem ordinalnih semantičkih skala (primjerice, „Likertov“ tip pitanja) mogu grupirati te tretirati kao intervalni podaci nad kojima se, zatim, mogu primijeniti parametrijske statističke metode. U praksi se nad ordinalnim podacima često primjenjuju parametrijski testovi asocijacije [174, p. 4]. Često korišteni testovi korelacije između dvije varijable su Pearson r te Spearman ρ . Spearman ρ predstavlja neparametrijsku inačicu Pearsonovog testa korelacije, a primjenjuje se na rangovima (a ne na apsolutnim vrijednostima) te je sposoban detektirati i nelinearne korelacije, ali ima nešto manju statističku snagu od Pearson r testa [180, pp. 261–282]. Obzirom na postojanje argumenata za primjenu i jednog i drugog testa, oba su primijenjena nad prikupljenim podacima.

¹⁰ Ovdje je primijenjen djelomično neintuitivan princip da su odredbe koje su neispunjene kodirane s pozitivnim, a odredbe koje nisu ispunjene s negativnim brojevima. Ovakav princip je primijenjen obzirom da se mjeri neusklađenost, a ne usklađenost.

5.2. Višeagentni model usklađenosti

5.2.1. Opis modela

Razvijeni višeagentni model opisan je u skladu s ODD+D protokolom [112][113], primjenom različitih dijagrama (UML dijagrami klasa, UML dijagrami slijeda, itd.) te formalno, primjenom matematičke notacije. Struktura i sadržaj potpoglavlja u poglavlju 6 prate strukturne elemente ODD+D protokola:

1. Poglavlje 6.1 sadrži općenite informacije o modelu (u skladu sa sadržajem segmenta „pregled“ ODD+D protokola). Navedeno uključuje opis svrhe modela te općenite informacije o 3 vrste agenata (nadzirani entiteti, inspeksijska agencija te inspektori/inspekcije), stanjima te osnovnim procesima u modelu.
2. Poglavlje 6.2 opisuje elemente dizajna modela (u skladu sa sadržajem segmenta „koncepti dizajna“ ODD+D protokola). Navedeno uključuje poveznicu na teorijsku i empirijsku pozadinu modela te detaljan opis ponašanja i karakteristika 3 vrste agenata u modelu. Uz navedeno, u poglavlju su sadržane i informacije o društvenim normama i kolektivima, mehanizmima učenja i odlučivanja agenata, njihovoj percepciji okruženja te međusobnoj interakciji kao i interakciji s okruženjem. U poglavlju je obrazloženo i kako je modeliran tijek vremena te kako su u model uključene heterogenost i slučajnost.
3. Poglavlje 6.3 opisuje tehničke detalje implementacije modela (u skladu sa sadržajem segmenta „detalji“ ODD+D protokola). Navedeno uključuje opis implementacije modela u okruženju NetLogo, uključujući opis slijeda aktivnosti, dijagram klasa te opis funkcionalnosti svih procedura i funkcija u računalnoj simulaciji. Nadalje, opisani su ulazni parametri i varijable stanja, moguće vrijednosti te međuovisnosti. Konačno, u poglavlju su opisani korisničko sučelje te izlazne vrijednosti računalne simulacije.

5.2.2. Metode analize modela

Analiza modela provedena je primjenom kombinacije metoda procjene parametara, verifikacije, provjere valjanosti i analize osjetljivosti, prvenstveno bilježenjem rezultata ponavljanih simulacija.

Na temelju sekundarnih empirijskih podataka o inspekcijama usklađenosti te podataka iz empirijskog istraživanja provedena je inicijalna procjena parametara, odnosno inicijalna

kalibracija razvijenog višeagentnog modela [105][131]. Verifikacija i provjera valjanosti modela provedene su strukturnom verifikacijom, odnosno provjerom konzistentnosti modela s relevantnim deskriptivnim opisom (dijelova) sustava te usporedbom rezultata modela na makro i mikro razini sa sekundarnim empirijskim podacima o inspekcijama usklađenosti. Provjera pojavne (engl. *Face*) valjanosti obuhvaća i vizualnu analizu rezultata modela [12], te je provedena na temelju saznanja iz empirijskih istraživanja, primjenom različitih tehnika vizualizacije podataka. U okviru provjere specifične valjanosti modela uspoređeni su kvantitativni podaci o inspekcijama zaštite okoliša u Danskoj [47][26], inspekcijama zaštite na radu u SAD-u [39] te o superviziji banaka u Italiji [78][181] s rezultatima računalne simulacije. Pretraživanje parametarskog prostora modela u okviru provjere specifične valjanosti provedeno je primjenom genetskih algoritama [128, p. 77]. Analiza osjetljivosti parametara modela provedena je primjenom metode Morrisovog probira elementarnih učinaka [134] te je, između ostaloga, obuhvatila variranje sjemena, stohastičkih elemenata te parametara modela.

Konkretni postupci verifikacije, provjere valjanosti i analize osjetljivosti modela opisani su u nastavku.

5.2.2.1. Metode verifikacije modela

Provedeni postupci verifikacije modela uključuju usporedbu kvalitativnih i kvantitativnih rezultata simulacije s očekivanim rezultatima. Pri tome su razmatrana mikro i makro stanja modela, ponašanje pojedinačnih agenata i skupina agenata te ponašanje sustava, entiteta, inspeksijske agencije i inspekcija. Verifikacija modela podijeljena je u 3 dijela: verifikacija karakteristika sustava, verifikacija ponašanja entiteta te verifikacija ponašanja inspeksijske agencije i inspekcija. Verifikacija je provedena putem definiranih verifikacijskih testova kojima je provjeravano je li model ispravno implementiran. Obzirom da se verifikacijom provjerava ispravnost implementacije, verifikacijski testovi uglavnom nisu ponavljani veći broj puta jer nije bilo potrebe za ovladavanjem stohastičkom prirodom modela ICARUS.

Više verifikacijskih testova oslanja se na **zakon velikih brojeva** – teorem prema kojem se prosječna vrijednost slučajne varijable, s porastom broja ponavljanja eksperimenta, sve više približava očekivanoj vrijednosti.

U nastavku su opisani ciljevi, metode i očekivani rezultati provedenih verifikacijskih testova. Rezultati verifikacijskih testova sadržani su u poglavljima 7.1.1 (parametri sustava), 7.1.2 (ponašanje entiteta) i 7.1.3 (ponašanje agencije).

5.2.2.1.1 Parametri sustava

5.2.2.1.1.1 *Verifikacijski test: generiranje resursnih zahtjeva*

Verifikacijskim testom želi se utvrditi generiraju li se resursni zahtjevi potrebni za ispunjavanje svih pravila prema uniformnoj, odnosno prema eksponencijalnoj distribuciji te jesu li unutar zadanih okvira.

Test je proveden pokretanjem računalne simulacije modela implementiranog u NetLogo-u, pri čemu je distribucija resursnih zahtjeva zadana kao slučajna varijabla, uz uniformnu ili eksponencijalnu razdiobu slučajnih vrijednosti. Testirana su tri raspona mogućih vrijednosti slučajne varijable za uniformnu razdiobu ($[0,1]$, $[0,3]$ i $[0,5]$) te 3 vrijednosti aritmetičke sredine vrijednosti eksponencijalne funkcije (1, 3 i 5). Generirano je 100 pravila. 100 pravila implicira postojanje 100 različitih područja inspekcije, što nije realno, no velik broj pravila omogućuje smislen prikaz podataka na QQ grafikonu te usporedbu dobivenih rezultata s očekivanima.

5.2.2.1.2 Ponašanje entiteta

5.2.2.1.2.1 *Verifikacijski test: razlike u resursnim zahtjevima entiteta*

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li devijacija resursnih zahtjeva entiteta potrebnih za postizanje i održavanje usklađenosti s pravilima u odnosu na „globalne“ resursne zahtjeve u skladu s očekivanjima.

Test je proveden pokretanjem računalne simulacije modela implementiranog u NetLogo-u, na vrlo jednostavnoj konfiguraciji sa samo dva pravila koja imaju resursne zahtjeve 2 i 5, a maksimalno odstupanje resursnih zahtjeva je 0,2 te 0,4. Obzirom na vrijednosti navedenih parametara, očekuje se da će distribucija resursnih zahtjeva biti slučajna varijabla uz uniformnu razdiobu vrijednosti u rasponima $2 \pm 20\%$, $5 \pm 20\%$, $2 \pm 40\%$ i $5 \pm 40\%$ (međuodnosi parametara detaljnije su opisani u poglavlju 6.3.2.). Generirano je 200 entiteta, što omogućuje kvalitetan prikaz podataka na QQ grafikonu te usporedbu dobivenih rezultata s očekivanima.

5.2.2.1.2.2 Verifikacijski test: sklonost preuzimanju rizika

Verifikacijskim testom želi se utvrditi generira li se sklonost entiteta preuzimanju rizika ispravno prema uniformnoj odnosno prema eksponencijalnoj distribuciji, te jesu li generirane vrijednosti unutar zadanih okvira. U obje varijante testa generirano je 200 entiteta.

Test je proveden pokretanjem računalne simulacije modela implementiranog u NetLogo-u, pri čemu je distribucija sklonosti riziku zadana kao slučajna varijabla, uz uniformnu ili eksponencijalnu razdiobu slučajnih vrijednosti.

Temeljne sklonosti riziku entiteta u testu za uniformnu razdiobu imaju vrijednosti 1 ili 5, a maksimalno odstupanje od temeljne sklonosti riziku ima vrijednosti 30% ili 60%. Obzirom na vrijednosti navedenih parametara, očekuje se da će distribucija sklonosti entiteta riziku biti slučajna varijabla uz uniformnu razdiobu vrijednosti u rasponima $1 \pm 30\%$, $1 \pm 60\%$, $5 \pm 30\%$ i $5 \pm 60\%$.

Temeljna sklonost entiteta riziku u testu za eksponencijalnu razdiobu trebala bi biti slučajna varijabla uz eksponencijalnu razdiobu slučajnih vrijednosti, pri čemu su aritmetičke sredine vrijednosti eksponencijalne funkcije 0,5; 1 i 5.

Prikaz podataka na QQ grafikonu omogućuje usporedbu rezultata dobivenih simulacijom s očekivanim rezultatima.

5.2.2.1.2.3 Verifikacijski test: Strategija učenja entiteta – fiktivna igra

Verifikacijskim testom želi se utvrditi uče li entiteti u skladu s modelom fiktivne igre, koji je detaljnije opisan u poglavlju 2.4. U fiktivnoj igri agenti u svakom potezu prilagođavaju svoju strategiju usklađenosti/kršenja sukladno vlastitom znanju. U kontekstu razvijenog modela, to znači da entiteti nakon svakog koraka simulacije nadopunjuju informacije o povijesti inspekcija s informacijom iz posljednjeg koraka te računaju novu percepciju vjerojatnost da će biti predmetom inspekcije u sljedećem koraku. Ako inspekcijska agencija provodi strategiju slučajnog odabira entiteta, te ako entiteti savršeno pamte povijest inspekcija, očekuje se da će s vremenom (u skladu sa zakonom velikih brojeva) njihova percepcija vjerojatnosti inspekcije konvergirati stvarnoj vjerojatnosti provođenja inspekcije, odnosno inspekcijskom kapacitetu agencije. Stoga se testom provjerava ovo očekivanje.

Provjera implementacije fiktivne igre provedena je u jednostavnoj konfiguraciji s 10 entiteta. Inspekcijska agencija koristi strategiju slučajnog odabira entiteta. Kapacitet inspekcijske agencije je 0,2. Stoga će inspekcijska agencija u svakom potezu usmjeriti inspekciju usklađenosti svih pravila u 2 slučajno odabrana entiteta. Entiteti su potpuno neutralni

prema preuzimanju rizika. Savršeno se sjećaju cijele povijesti inspekcija, odnosno nema diskontiranja povijesti tj. iskustava. Ostali parametri simulacije nisu značajni za ovaj test. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 200 koraka simulacije. U svakom koraku simulacije zabilježena je percepcija svakog entiteta o vjerojatnosti inspekcije te grafički prikazana, što omogućuje usporedbu ostvarenih i očekivanih rezultata.

5.2.2.1.2.4 Verifikacijski test: Vremensko diskontiranje

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li mehanizam diskontiranja vremena pravilno implementiran. Vremensko diskontiranje, u kontekstu razvijenog modela, znači da entiteti pridaju manju važnost iskustvima iz dalje prošlosti u odnosu na iskustva iz recentnije prošlosti. Hiperboličko diskontiranje detaljnije je objašnjeno u poglavlju 2.4. Utjecaj iskustava iz prošlosti s vremenom slabi, pri čemu je brzina tog smanjenja ovisna o koeficijentu κ . Testom se provjerava smanjuje li se utjecaj iskustva iz prošlosti na percepciju vjerojatnosti provođenja inspekcije sukladno zadanoj vrijednosti koeficijenta κ .

Provjera implementacije mehanizma vremenskog diskontiranja provedena je na prilagođenoj računalnoj simulaciji modela, kako bi se osigurao deterministički ishod inspekcija za unaprijed odabrani entitet. Nakon postavljanja simulacije, provedeno je 100 koraka simulacije, pri čemu je odabrani entitet u prvih 50 koraka svaki put bio predmetom inspekcije, a u daljnjih 50 koraka niti jednom nije bio predmetom inspekcije. Obzirom da entiteti uče u skladu s modelom fiktivne igre, očekuje se da će percepcija vjerojatnosti provođenja inspekcije zadanog entiteta biti 1, sve do 50. koraka, nakon čega će se početi smanjivati, ovisno o vrijednosti koeficijenta κ . Provedeno je 7 ponavljanja simulacije, za različite vrijednosti koeficijenta κ . Entiteti pamte cjelokupnu povijest inspekcija, te su neutralni prema preuzimanju rizika. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 100 koraka simulacije, a u svakom koraku simulacije zabilježena je percepcija odabranog entiteta o vjerojatnosti inspekcije.

U cilju stjecanja dodatnog uvjerenja o ispravnosti implementacije modela, osim usporedbe grafičkog prikaza rezultata s očekivanim, proveden je i numerički test.

5.2.2.1.2.5 Verifikacijski test: Svjesnost entiteta o inspekcijama sa Stackelbergovim vodstvom

Stackelbergovo vodstvo u kontekstu modela ICARUS znači da je inspeksijska agencija na neki vjerodostojan način entitetima objavila da će provoditi inspekcije razmjerno resursnim zahtjevima postizanja i održavanja usklađenosti s odredbama. Odnosno, entiteti pri

procjenjivanju vjerojatnosti inspekcije usklađenosti sa specifičnim pravilom pretpostavljaju da je učestalost inspekcije tog pravila razmjerna resursnoj zahtjevnosti usklađenosti s pravilom. Stackelbergovo vodstvo u kontekstu inspekcije detaljnije je objašnjeno u poglavlju 2.3.2. Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li mehanizam postavljanja percepcije entiteta da je učestalost inspekcije pojedinačnog pravila razmjerna resursnoj zahtjevnosti usklađenosti pravilno implementiran.

Očekivanje testa jest da u konfiguraciji bez Stackelbergovog vodstva broj prekršaja bude razmjeran resursnim zahtjevima njihova ispunjavanja. Nasuprot tome, u konfiguraciji sa Stackelbergovim vodstvom, broj prekršaja trebao bi biti identičan za sva pravila. Naime, inspeksijska agencija koristi strategiju stohastičkog univerzalnog uzorkovanja, odnosno vjerojatnost inspekcije svake odredbe razmjerna je resursnoj zahtjevnosti njena ispunjavanja. Simulacija uključuje 10 entiteta, koji moraju biti usklađeni s 5 pravila. Resursni zahtjevi potrebni za usklađenost eksplicitno su definirani¹¹. Radi lakše usporedbe i tumačenja rezultata, postavljeno je da su entiteti neutralni prema preuzimanju rizika. Nadalje, resursi potrebni za ispunjavanje svakog pojedinačnog pravila su isti za sve entitete, što je pak identično pretpostavkama inspeksijske agencije o resursima potrebnima za ispunjavanje svake odredbe odnosno, $c_i = d, \forall i \in \mathcal{E}$. Uz navedeno, entiteti ne diskontiraju povijesne podatke, a učenje je u skladu s modelom fiktivne igre. Kazna za kršenje je¹² 38, a kapacitet inspeksijske agencije je 0,25. Ostali parametri simulacije nisu relevantni za ovaj test.

Verifikacija ispravnosti implementacije Stackelbergovog vodstva testirana je na način da je uspoređen broj kršenja svakog pojedinačnog pravila nakon 100 koraka simulacije, za dvije konfiguracije ulaznih parametara. Jedina razlika u konfiguracijama je aktiviranje parametra Stackelbergovog vodstva. U cilju mogućnosti izravnog uspoređivanja rezultata u obje konfiguracije postavljeno je identično (proizvoljno određeno) inicijalno sjeme. Nakon postavljanja simulacije, provedeno je 100 koraka.

¹¹ Vrijednosti vektora odabrane su proizvoljno, imajući u vidu poželjnu vizualizaciju rezultata simulacije. Konkretni iznosi nisu značajni za rezultate verifikacije.

¹² Visina kazne postavljena je na temelju prethodnih rezultata simulacija, obzirom na definirane resursne zahtjeve potrebne za usklađenost, a s ciljem jednostavnog prepoznavanja očekivanih uzoraka u rezultatima simulacije.

5.2.2.1.3 Ponašanje agencije

5.2.2.1.3.1 *Verifikacijski test: Ispravnost implementacije strategije slučajnog odabira*

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li strategija slučajnog odabira (*Random*) pravilno implementirana u računalnoj simulaciji. Strategija slučajnog odabira trebala bi potpuno slučajno odabirati entitete i pravila za inspekciju, odnosno svaki entitet i svako pravilo trebali bi imati potpuno jednaku vjerojatnost da će biti predmetom inspekcije. Stoga bi s porastom broja koraka simulacije broj inspekcija svakog entiteta trebao – sukladno zakonu velikih brojeva – konvergirati prema istoj vrijednosti, ovisno o kapacitetu inspekcijske agencije. Isto vrijedi i za broj inspekcija svakog pravila.

Provjera ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira provedena je u okruženju s 50 entiteta koji bi morali biti usklađeni s 5 pravila. Inspekcijska agencija koristi strategiju slučajnog odabira, a kapacitet provođenja inspekcije je 0,2. Ostali parametri simulacije nisu relevantni za ovaj test te su postavljeni na proizvoljne vrijednosti. Nakon postavljanja simulacije, provedeno je 100 koraka. Verifikacija ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira testirana je na način da je nakon 1., 5., 25., i 100. koraka simulacije zabilježen (kumulativni) broj inspekcija svakog pojedinačnog pravila (za sve entitete) te (kumulativni) broj inspekcija svakog pojedinačnog entiteta (za sva pravila).

Verifikacija ispravnosti implementacije inspekcijske strategije provedena je pregledom podataka generiranih na grafikonima u NetLogo simulaciji. Obzirom na postavljene ulazne parametre, očekivano je da će – sukladno zakonu velikih brojeva – nakon 100 koraka pojedinačno pravilo u prosjeku biti nadzirano 1.000 puta, a pojedinačni entitet 100 puta.

5.2.2.1.3.2 *Verifikacijski test: Ispravnost implementacije strategije slučajnog odabira entiteta*

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li strategija slučajnog odabira entiteta (*Random entity*) ispravno implementirana u računalnoj simulaciji. Strategija slučajnog odabira entiteta trebala bi slučajno odabirati entitete za inspekciju te u svakom odabranom entitetu provesti inspekciju usklađenosti entiteta sa svim pravilima. Stoga bi svaki entitet trebao imati potpuno jednaku vjerojatnost da će biti predmetom inspekcije u svakom koraku, te je ta vjerojatnost jednaka kapacitetu inspekcijske agencije. S porastom broja koraka simulacije broj inspekcija svakog entiteta trebao bi – sukladno zakonu velikih brojeva – konvergirati prema istoj vrijednosti (kapacitet inspekcijske agencije x korak simulacije). Ova konvergencija trebala bi biti sporija nego pri primjeni strategije slučajnog odabira, zbog manjeg raspoloživog kapaciteta

inspektora – obzirom da se primjenom strategije slučajnog odabira entiteta u inspekcijama nadzire usklađenost sa svim pravilima).

Provjera ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira provedena je u okruženju s parametrima simulacije identičnima onima u prethodnom testu, osim parametra strategije inspeksijske agencije. Nakon postavljanja simulacije, provedeno je 1.000 koraka simulacije. Verifikacija ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira entiteta testirana je na način da je zabilježen (kumulativni) broj inspekcija pravila u svakom pojedinačnom entitetu.

Verifikacija ispravnosti implementacije inspeksijske strategije provedena je pregledom podataka generiranih na grafikonima u NetLogo simulaciji. Obzirom na postavljene ulazne parametre, očekivano je da će – sukladno zakonu velikih brojeva – nakon 1.000 koraka u pojedinačnom entitetu u prosjeku biti nadzirano 1.000 pravila.

5.2.2.1.3.3 Verifikacijski test: Ispravnost implementacije strategije cikličnog odabira

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li strategija cikličnog odabira entiteta i pravila ispravno implementirana u računalnoj simulaciji. Primjenom strategije cikličnog odabira osigurava se da će inspeksijska agencija u određenom razdoblju provesti inspekciju usklađenosti svih entiteta sa svim pravilima. Implementacija strategije cikličnog odabira u razvijenom modelu detaljnije je objašnjena u poglavlju 6.2.3.

Provjera ispravnosti implementacije strategije cikličnog odabira provedena je u okruženju s 10 entiteta koji moraju biti usklađeni sa 6 pravila. Inspeksijska agencija koristi strategiju cikličnog odabira te se u jednom ciklusu provodi inspekcija 3 pravila. Kapacitet inspeksijske agencije je 0,20. Ostali parametri simulacije nisu relevantni za ovaj test te su postavljeni proizvoljno. Prema definiranim parametrima, ukupan broj kombinacija entitet-pravilo je 60, a inspeksijska agencija u jednom koraku može provesti inspekciju 12 kombinacija entitet-pravilo, pri čemu se prvo provodi inspekcija 3 slučajno odabrana pravila u svim entitetima, a zatim se prelazi na inspekciju sljedeća 3 pravila. Dakle, inspeksijska agencija bi u 1. koraku trebala provesti inspekciju 3 pravila u 4 slučajno odabrana entiteta, a u 2. koraku inspekciju ista 3 pravila u neka druga 4 slučajno odabrana entiteta. U 3. koraku inspeksijska agencija trebala bi provesti inspekciju navedena 3 pravila u 2 preostala entiteta, te inspekciju preostala 3 pravila u 2 slučajno odabrana entiteta. Nakon 5. koraka trebao bi završiti inspeksijski ciklus.

Verifikacija ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira testirana je na način da je nakon 1., 2., 3., 4. i 5. koraka simulacije zabilježen (kumulativni) broj inspekcija svakog pojedinačnog pravila (za svaki entitet) te (kumulativni) broj inspekcija svakog pojedinačnog entiteta (inspekcija svih pravila). Verifikacija je provedena pregledom grafikona generiranih u simulaciji u NetLogo-u te usporedbom rezultata s očekivanjima.

5.2.2.1.3.4 Verifikacijski test: Ispravnost implementacije strategije cikličnog odabira

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li stohastičko univerzalno uzorkovanje pravilno implementirano u računalnoj simulaciji. Primjenom strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS), inspekcijska agencija odabire pravila koja će nadzirati, pri čemu je vjerojatnost odabira svakog pravila razmjerna pretpostavkama agencije o tome koliki resursi su potrebni za ispunjavanje predmetnog pravila. Funkcioniranje i implementacija strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja detaljnije su objašnjeni u poglavlju 6.2.3.

Provjera ispravnosti implementacije strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja provedena je u okruženju sa 100 entiteta koji moraju biti usklađeni s 8 pravila. Resursni zahtjevi potrebni za usklađenost eksplicitno su definirani¹³. Inspekcijska agencija primjenjuje strategiju stohastičkog univerzalnog uzorkovanja. Kapacitet inspekcijske agencije je 0,20. Ostali parametri simulacije nisu relevantni za ovaj test te su postavljeni proizvoljno. Obzirom na način djelovanja zadane strategije, s porastom broja koraka simulacije, distribucija broja inspekcija pojedinačnih pravila trebala bi – sukladno zakonu velikih brojeva – konvergirati prema distribuciji resursnih zahtjevnosti ispunjavanja tih pravila. Nakon postavljanja simulacije, provedeno je 50 koraka.

Verifikacija ispravnosti implementacije strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja testirana je na način da je nakon 1., 2., 3., 4., 5., 10., 15., 20., 25. i 50. koraka simulacije zabilježen (kumulativni) broj inspekcija svakog pojedinačnog pravila. Verifikacija je provedena pregledom grafikona generiranih u simulaciji u NetLogo-u te usporedbom rezultata s očekivanjima.

¹³ Vrijednosti vektora odabrane su proizvoljno, imajući u vidu poželjnu vizualizaciju rezultata simulacije. Konkretni iznosi nisu značajni za rezultate verifikacije.

5.2.2.1.3.5 Verifikacijski test: Ispravnost implementacije točnosti inspekcija

Verifikacijskim testom želi se utvrditi je li točnost inspekcijskog nadzora pravilno implementirana u računalnoj simulaciji. Naime, stvarne inspekcije nisu uvijek točne, odnosno mogu i pogrešno procijeniti usklađenost te zaključiti kako je entitet usklađen s određenom odredbom iako je u stvarnosti krši. Model stoga uključuje i parametar kojim se postavlja očekivana točnost inspekcije. Razmatranja o točnosti inspekcijskog nadzora u razvijenom modelu detaljnije su opisana u poglavlju 6.2.3.

Test ispravnosti implementacije točnosti inspekcije proveden je u okruženju sa 100 entiteta koji moraju biti usklađeni s 5 pravila. Resursni zahtjevi potrebni za usklađenost eksplicitno su definirani¹⁴. Entiteti su skloni preuzimanju rizika, a ta sklonost je istovjetna za sve entitete. Povećana sklonost preuzimanju rizika postavljena je kako bi se u simulaciji pojavio veći broj kršenja. Entiteti ne diskontiraju povijest, a učenje je u skladu s modelom fiktivne igre. Kazna za kršenje pravila je 100¹⁵. Inspekcijska agencija koristi strategiju slučajnog odabira entiteta, a kapacitet joj je 0,20. Kako bi se provjerila ispravnost postavljanja točnosti inspekcije, simulacija je pokrenuta 5 puta – za 5 različitih vrijednosti točnosti inspekcije. Ostali parametri simulacije nisu relevantni za ovaj test te su postavljeni proizvoljno. Nakon postavljanja simulacije, provedeno je 25 koraka simulacije. U zadanom vremenu simulacije bi se, obzirom na vrijednosti ulaznih parametara, trebao provesti dovoljan broj inspekcija da rezultati točnosti inspekcija – sukladno zakonu velikih brojeva – konvergiraju prema zadanim (ulaznim) točnostima inspekcija.

Verifikacija ispravnosti provedena je usporedbom omjera broja kršenja koji su inspekcije točno identificirale i ukupnog broja kršenja obuhvaćenih inspekcijama sa zadanom točnošću inspekcija.

5.2.2.2. Metode provjere valjanosti modela

Provjera valjanosti modela većinom prati metodu indirektne kalibracije (detaljnije objašnjeno u poglavlju 2.5.3), te je podijeljena na provjeru općenite i specifične valjanosti. Općenita valjanost prvenstveno pokazuje koliko je model kvalitativno usklađen s empirijskim makro-strukturama (razina 1.) te mikro-strukturama, što u prvom redu obuhvaća provjeru pojavne valjanosti (engl. *face validation*), uključujući i usporedbu uzoraka. U okviru provjere

¹⁴ Vrijednosti vektora odabrane su proizvoljno, imajući u vidu poželjnu vizualizaciju rezultata simulacije. Konkretni iznosi nisu značajni za rezultate verifikacije.

¹⁵ Vrijednost je odabrana imajući u vidu poželjnu vizualizaciju rezultata simulacije.

specifične valjanosti, provjeravano je koliko je model kvantitativno usklađen s empirijskim makro-strukturama (razina 2.), za 3 specifična slučaja te su simulirani podaci uspoređeni sa stvarnim, zabilježenim povijesnim podacima.

Rezultati provjera valjanosti sadržani su u poglavljima 7.2.1 (općenita valjanost) i 7.2.2 (specifična valjanost).

5.2.2.2.1 Općenita valjanost modela

Općenita valjanost je u većini provedenih testova provjeravana analizom grafičkog prikaza rezultata simulacija (primjerice, utjecaj povećanja kazne na povećanje/smanjenje ukupnog broja prekršaja u sustavu). Razmatrane empirijske makro-strukture i mikro-strukture temelje se na sekundarnim podacima koji su detaljnije opisani u poglavlju 4.2.

Razvijeni model uključuje i značajnu stohastičnost. Naime, vrijednosti mnogih internih varijabla modela su djelomično ili u cijelosti stohastične, radi primjernijeg modeliranja heterogenosti agenata, nesigurnosti u pretpostavke modela i specifične kombinacije ulaznih parametara te radi modeliranja ograničene racionalnosti agenata. Ovakva praksa uobičajena je u agentnom modeliranju [53][182]. Zbog navedene stohastičnosti, dvije računalne simulacije razvijenog modela pokrenute s istim ulaznim parametrima vjerojatno neće imati jednake rezultate odnosno simulacija neće rezultirati izlaznim varijablama jednakih vrijednosti (osim ako su pokrenute s istim inicijalnim sjemenom za generiranje slučajnih vrijednosti u okviru simulacije). Stoga su u okviru provjere općenite valjanosti analizirani rezultati više simulacija ponovljenih s istim ulaznim parametrima, pri čemu su stohastički elementi simulacije u svakom ponavljanju nanovo slučajno¹⁶ generirani. Simulacije su u većini testova 100 puta ponovljene s istim parametrima, sukladno preporuci Nikolića i koautora [104, p. 111]. U provjerama opisanim u poglavljima od 5.2.2.2.1.6 do 5.2.2.2.1.8 simulacije su ponovljene 1.000 puta, kako bi se generirao veći broj rijetkih događaja.

Većina testova valjanosti provedena je analizom podataka zabilježenih nakon 25 koraka. Naime, iako se mnoge analize analitičkih modela (primjerice, primjena teorije igara) [82][83], ali i agentnih modela [138] oslanjaju na analizu sustava u ravnotežnom stanju (ekvilibrij) – postizanje kojega bi zahtijevalo velik broj koraka – empirijski podaci relevantni za ovaj rad odnose se na kraća vremenska razdoblja (primjerice, 3 do 15 godina). Dodatno, nužno je uzeti u obzir da inspekcijske strategije moraju moći pokazati konkretne rezultate u

¹⁶ Slučajne vrijednosti u simulacijskoj okolini NetLogo su zapravo pseudo-slučajne, obzirom da su sjeme kao i sve izvedenice sjemena generirani kroz deterministički proces [105].

razumnom roku, kako bi bile politički ostvarive. Izuzetak je provjera opisana u poglavlju 5.2.2.2.1.8 u okviru koje je provedeno 30 koraka simulacije, kako bi se povećao broj podatkovnih točaka.

Općenita valjanost provjeravana je prvenstveno usporedbom očekivanih obrazaca i vrijednosti s rezultatima velikog broja računalnih simulacija modela ICARUS koje su provedene za zadani raspon vrijednosti ulaznih parametara. Rasponi vrijednosti parametara određeni su na temelju empirijskih podataka ili – ako takvi podaci nisu dostupni ili primjenjivi na razvijeni model – na temelju procjene koji raspon bi bio relevantan za provođenje pojedinog testa valjanosti.

Testovi valjanosti se u prvom redu odnose na strategiju slučajnog odabira entiteta i strategiju cikličnog odabira. Te su strategije usporedive sa strategijama koje se provode u stvarnosti te se stoga na njih mogu primijeniti empirijski podaci. Rezultati inspekcija provođenjem strategija slučajnog odabira te stohastičkog univerzalnog uzorkovanja uglavnom nisu izravno usporedivi s prikupljenim empirijskim podacima. No, radi cjelovitosti prikaza, u rezultatima su prikazani rezultati primjene svih primjenjivih strategija. Sjeme za generiranje stohastičkih elemenata nije predefiniранo te se postavlja (slučajna varijabla) pri svakom pokretanju simulacije.

U nastavku poglavlja 5.2.2.2.1 opisani su ciljevi, metode i očekivani rezultati provedenih provjera općenite valjanosti.

5.2.2.2.1.1 Provjera općenite valjanosti: Porast kazne dovodi do smanjenja kršenja

Empirijska istraživanja pokazuju da povećanje visine kazne utječe na povećanje usklađenosti s propisima, odnosno na smanjenje broja kršenja, što je detaljnije razloženo u poglavlju 4.2, a konkretno u [50]. Provjerom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova povezanost i u računalnoj simulaciji modela.

Obzirom da sekundarni podaci u podlozi ovog testa ne ograničavaju parametarski prostor modela, ulazni parametri računalne simulacije postavljeni su uzimajući u obzir potrebu prikaza heterogenosti agenata te izbjegavanja postavljanja suviše idealiziranih uvjeta, ali i potrebu primjerene vizualizacije rezultata simulacije.

Test valjanosti uključuje 100 entiteta koji moraju biti usklađeni sa 6 pravila. Resursni zahtjevi potrebni za usklađenost eksplicitno su definirani. U cilju modeliranja heterogenosti troška usklađenosti među entitetima, resursni zahtjevi potrebni za usklađenost razlikuju se od entiteta do entiteta te od percepcije inspeksijske agencije do 25% vrijednosti elemenata vektora

resursnih zahtjeva. Entiteti se međusobno razlikuju i prema sklonosti preuzimanju rizika. Odnosno, entiteti su u prosjeku neutralni prema preuzimanju rizika, ali među njima postoje razlike u sklonosti preuzimanju rizika od 50%. Na taj način sklonost preuzimanju rizika varira od 0,5 (entiteti koji su neskloni riziku) do 1,5 (entiteti koji su skloni preuzimanju rizika). Entiteti nemaju savršeno sjećanje o prošlosti, odnosno povijesni podaci se diskontiraju uz $\kappa = 0,5$. Entiteti uče u skladu s modelom fiktivne igre. Kapacitet inspekcijske agencije je 0,25. Inspekcije u 90% slučajeva točno utvrđuju neusklađenosti. U slučaju primjene ciklične strategije, u svakom ciklusu provodi se inspekcija 3 pravila. Odnosno, nakon što se u svim entitetima provede inspekcija 3 ista (slučajno odabrana) pravila, provodi se inspekcija preostala 3 pravila.

Test valjanosti kojim se provjerava prije opisano očekivanje proveden je bilježenjem rezultata računalnih simulacija u kojima je iznos predviđene kazne mijenjan u rasponu od 30 do 80 uz inkremente od 1. Testom valjanosti obuhvaćene su sve 4 inspekcijske strategije, a svaka računalna simulacija ponovljena je 100 puta s istim ulaznim parametrima.

5.2.2.2.1.2 Provjera općenite valjanosti: Više inspekcija dovodi do smanjenja kršenja

Empirijska istraživanja pokazuju da provođenje inspekcija utječe na povećanje usklađenosti s propisima, odnosno na smanjenje broja kršenja pravila, što je detaljnije razloženo u poglavlju 4.2. Provjerom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova povezanost i u računalnoj simulaciji modela.

Test valjanosti proveden je uzimajući u obzir iste pretpostavke te s istim ulaznim parametrima kao i prethodni test (porast kazne dovodi do smanjenja kršenja). Jedine razlike u ulaznim parametrima određene su ciljem testa. Iznos kazne je nepromjenjiv te iznosi 40, a promjena broja inspekcija modelirana je kroz promjenu kapaciteta inspekcijske agencije od 0,1 do 0,5 uz inkremente od 0,01.

5.2.2.2.1.3 Provjera općenite valjanosti: Niska kazna ima marginalan utjecaj na kršenje

Empirijska istraživanja pokazuju da provođenje inspekcije ima vrlo mali utjecaj na usklađenost s propisima odnosno na smanjenje broja kršenja u situacijama kad su kazne za neusklađenost vrlo niske [155]. Ovim testom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova pravilnost i u računalnoj simulaciji modela.

Test valjanosti proveden je uzimajući u obzir iste pretpostavke te s istim ulaznim parametrima kao i test u poglavlju 5.2.2.2.1.2. Međutim, kako bi se modeliralo okruženje s vrlo niskom kaznom, vrijednost kazne smanjena je na 3. Rezultati testa prikupljeni su na identičan način kao i u prethodnim poglavljima.

5.2.2.2.1.4 Provjera općenite valjanosti: Veći resursni zahtjevi dovode do više kršenja

Empirijska istraživanja pokazuju da veći resursni zahtjevi usklađivanja s propisima dovode do većeg broja prekršaja, što je detaljnije razloženo u poglavlju 4.2, a konkretno u [47] i [26]. Provjerom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova pravilnost i u računalnoj simulaciji modela.

Test valjanosti proveden je uzimajući u obzir iste pretpostavke te s istim ulaznim parametrima kao i prvi test općenite valjanosti. Određene razlike u ulaznim parametrima uzrokovane su ciljem testa. Tako je iznos kazne nepromjenjiv te iznosi 40. Inicijalni resursni zahtjevi potrebni za usklađenost eksplicitno su definirani kao i u prethodnim scenarijima. Međutim, promjena resursnih zahtjeva može se manifestirati na različite načine, obzirom da postoji više pravila. Stoga su, za potrebe provođenja ovog testa valjanosti, konstruirana 3 scenarija. U svakom su scenariju resursni zahtjevi ispunjavanja 6 pravila definirani prema određenom algoritmu, za 20 različitih konfiguracija resursnih zahtjeva. Scenariji su opisani u nastavku.

1. Scenarij: Linearno povećanje svih resursnih zahtjeva

U ovom scenariju resursni zahtjevi potrebni za postizanje usklađenosti (ispunjavanje) sa svakim pravilom povećavaju se inkrementalno za 0,25 u svakoj konfiguraciji. Sukladno tome, i aritmetička sredina resursnih zahtjeva ispunjavanja svih pravila povećava se inkrementalno za 0,25 u svakoj konfiguraciji.

2. Scenarij: Linearno povećanje dijela resursnih zahtjeva

U 2. scenariju resursni zahtjevi ispunjavanja 2. 4. i 6. pravila povećavaju se inkrementalno za 0,5 u svakoj konfiguraciji, a resursni zahtjevi ispunjavanja 1., 3. i 5. pravila ostaju nepromijenjeni. Aritmetička sredina resursnih zahtjeva ispunjavanja svih pravila stoga se povećava inkrementalno za 0,25 u svakoj konfiguraciji.

3. Scenarij: Linearna povećanja i smanjenja resursnih zahtjeva

U 3. (i najkompleksnijem) scenariju, resursni zahtjevi ispunjavanja 2. 3. i 4. pravila povećavaju se inkrementalno za 0,75 u svakoj konfiguraciji, resursni zahtjevi ispunjavanja 1.

pravila ostaju nepromijenjeni, resursni zahtjevi ispunjavanja 5. pravila smanjuju se dekrementalno za 0,25 u svakoj konfiguraciji, a resursni zahtjevi ispunjavanja 6. pravila smanjuju se dekrementalno za 0,5 u svakoj konfiguraciji. Aritmetička sredina resursnih zahtjeva nužnih za ispunjavanje svih pravila povećava se inkrementalno za 0,25 u svakoj konfiguraciji.

U skladu s navedenim, u svim scenarijima se aritmetička sredina resursnih zahtjeva potrebnih za usklađenost sa svim pravilima povećava inkrementalno za 0,25 u svakoj konfiguraciji, no resursni zahtjevi ispunjavanja pojedinačnih pravila mijenjaju se na različite načine.

Analogno prethodnim testovima valjanosti, provjera je provedena na temelju zabilježenih rezultata računalnih simulacija u kojima je iznos parametra resursnih zahtjeva mijenjan prema prethodno opisanim pravilima.

5.2.2.2.1.5 Provjera općenite valjanosti: Porast percipirane vjerojatnosti inspekcije dovodi do smanjenja kršenja

Empirijska istraživanja pokazuju da viša percipirana vjerojatnost inspekcije, odnosno vjerovanje da je inspekcija izglednija dovodi do smanjenja kršenja pravila u sustavu što je detaljnije razloženo u poglavlju 4.2 te konkretno u [155]. Provjerom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova povezanost i u računalnoj simulaciji modela.

Razvijeni model ne sadrži ulazne parametre kojima bi se moglo izravno utjecati na percepciju entiteta o vjerojatnosti pojave inspekcija. Međutim, kao mehanizam posrednog utjecaja na vjerovanje entiteta o izglednosti inspekcije moguće je iskoristiti sklonost entiteta preuzimanju rizika. Odnosno, percipirana vjerojatnost inspekcije je obrnuto proporcionalna sklonosti preuzimanju rizika. Povezanost tih parametara detaljnije je objašnjena u poglavlju 6.2.2.

Ovaj test proveden je s istim ulaznim parametrima kao i prvi test valjanosti (poglavlje 5.2.2.2.1.1), uz sljedeće razlike: temeljni apetit za rizik (odnosno sklonost preuzimanju rizika) entiteta varira od vrijednosti 0,1 do 3, uz inkremente od 0,1, a iznos kazne je 40. Pri tome se apetit za rizik pojedinačnog entiteta može od temeljnog razlikovati za $\pm 50\%$.

5.2.2.2.1.6 Provjera općenite valjanosti: Nakon inspekcije manje je kršenja

Empirijska istraživanja pokazuju da entiteti nad kojima je provedena inspekcija, nakon provedene inspekcije manje krše pravila nego drugi usporedivi entiteti nad kojima nije provedena inspekcija, što je detaljnije razloženo u poglavlju 4.2 i, konkretno, u [155]. Ovim testom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova pravilnost i u računalnoj simulaciji modela.

Za razliku od prethodnih testova valjanosti koji su promatrali rezultate na razini sustava (makro-razina), ovaj test provjerava pravilnosti u ponašanju pojedinačnih entiteta (mikro-razina). Stoga je i dizajn testa djelomično prilagođen.

Ovaj test proveden je s istim ulaznim parametrima kao i prvi test valjanosti, uz sljedeće razlike: umjesto 100 ponavljanja računalne simulacije s istim ulaznim parametrima, provedeno je 1.000 ponavljanja, smanjen je kapacitet inspektora na 0,2, a iznos kazne postavljen je na 40. Provedeno je 25 koraka simulacije.

Valjanost je provjerena nad podacima koji su prikupljeni na sljedeći način: u svakom koraku simulacije, prikupljeni su podaci o jednom entitetu (slučajan odabir jednog entiteta od 100, u svakom koraku simulacije) te su za taj entitet zabilježeni sljedeći podaci: inspekcijska strategija, korak u simulaciji (od 1 do 25), indikator je li u prethodnom koraku provedena inspekcija predmetnog entiteta te broj kršenja pravila u trenutnom koraku (od 0 do 6). Prikupljeni broj kršenja ne ovisi o nadzoru entiteta u trenutku prikupljanja podataka (slučajan uzorak svih entiteta, a ne samo nadziranih). U skladu s navedenim, za svaku inspekcijsku strategiju prikupljeno je 25.000 točaka podataka.

Broj ponavljanja računalne simulacije je povećan, a kapacitet inspektora smanjen kako bi se povećao broj točaka podataka s inspekcijskom strategijom slučajnog odabira te indikatorom da u prethodnom koraku nije provedena inspekcija predmetnog entiteta. Naime, zbog karakteristika strategije slučajnog odabira, takve točke podataka razmjerno su rijetke. Valjanost strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja nije moguće provjeriti ovim testom obzirom da će u konfiguraciji sa 6 pravila i kapacitetom inspektora od 0,2 svaki entitet biti nadziran u svakom koraku, odnosno, neće postojati entiteti koji nisu nadzirani u prethodnom koraku.

5.2.2.2.1.7 Provjera općenite valjanosti: Nakon kazne manje je kršenja

Empirijska istraživanja pokazuju da entiteti, nakon što su kažnjeni zbog neusklađenosti, manje krše pravila nego drugi usporedivi entiteti, što je detaljnije razloženo u poglavlju 4.2 i,

konkretno, u [50]. Ovim testom valjanosti stoga se želi utvrditi manifestira li se ova pravilnost i u računalnoj simulaciji modela.

Kao i test valjanosti u prethodnom poglavlju, i ovaj test provjerava pravilnosti u ponašanju pojedinačnih entiteta (mikro-razina) te je proveden s istim ulaznim parametrima.

Valjanost je provjerena nad podacima koji su prikupljeni na sljedeći način: u svakom koraku simulacije, prikupljeni su podaci o jednom entitetu (slučajan odabir jednog entiteta od 100) te su za taj entitet zabilježeni sljedeći podaci: primijenjena inspekcijska strategija, sklonost entiteta preuzimanju rizika, indikator je li u prethodnom koraku predmetni entitet kažnjen zbog neusklađenosti te broj kršenja propisa u trenutnom koraku (od 0 do 6). Kao i u prethodnom testu, prikupljeni broj kršenja pravila nije vezan uz činjenicu je li entitet nadziran u trenutku prikupljanja podataka.

Simulacija je ponovljena 1.000 puta s istim parametrima te je kapacitet inspektora ostavljen na vrijednosti 0,2 kako bi se povećao broj entiteta u uzorku koji su u prethodnom koraku bili kažnjeni zbog neusklađenosti, posebice pri primjeni inspekcijske strategije slučajnog odabira entiteta te za entitete s niskom sklonošću preuzimanja rizika. Naime, zbog niske sklonosti riziku te rijetkih inspekcija prilikom primjene strategije slučajnog odabira entiteta, takve točke podataka su razmjerno malobrojne. Stoga je za svaku inspekcijsku strategiju prikupljeno 25.000 točaka podataka.

Rasponi sklonosti preuzimanja rizika obuhvaćenih entiteta grupirani su u 5 kategorija. Grupiranje po riziku je provedeno jer se razmatra broj kršenja te je nužno u obzir uzeti očekivanje da neće svi entiteti kršiti jednako. Odnosno, očekivano je da će entiteti s višom sklonošću preuzimanju rizika više kršiti pravila nego entiteti s nižom sklonošću preuzimanju rizika, uz pretpostavku da su devijacije u sklonosti preuzimanju rizika jednoliko raspoređene, što je potvrđeno rezultatima verifikacijskog testa opisanog u poglavlju 5.2.2.1.2.2.

5.2.2.2.1.8 Provjera općenite valjanosti: Dulje razdoblje od posljednje inspekcije dovodi do više prekršaja

Empirijska istraživanja pokazuju da u situacijama kad usklađenost entiteta s pravilima dulje vrijeme nije nadzirana, dolazi do porasta broja prekršaja. Ova pravilnost detaljnije je razložena u poglavlju 4.2. i, konkretno, u [50] i [39]. Ovim testom valjanosti želi se utvrditi manifestira li se ova pravilnost i u računalnoj simulaciji modela.

Kao i prethodna 2 testa valjanosti, i ovaj test provjerava pravilnosti u ponašanju pojedinačnih entiteta (mikro-razina). Test valjanosti proveden je s istim ulaznim parametrima

kao i test u poglavlju 5.2.2.2.1.6, uz 2 izmjene. Broj entiteta u simulaciji smanjen je na 20. Smanjenje broja entiteta provedeno je kako bi se skratilo trajanje simulacije, a promjena ne utječe na rezultat. Pri primjeni ciklične strategije inspekcije promijenjen je broj pravila koja se nadziru u jednom ciklusu, te je postavljen na 6. Ova promjena provedena je kako bi se osiguralo da za cikličnu strategiju inspekcije uz kapacitet inspektora od 0,2, između dvije inspekcije svakog entiteta protekne 6 koraka. Provedeno je 30 koraka simulacije. Broj koraka simulacije povećan je s 25 na 30 kako bi se povećao broj podatkovnih točaka u kojima entiteti nisu nadzirani dulje vrijeme pri primjeni slučajnih strategija.

Valjanost je provjerena nad podacima koji su prikupljeni na sljedeći način: u svakom koraku simulacije, prikupljeni su podaci o jednom entitetu (slučajan odabir jednog entiteta od 20) te su za taj entitet zabilježeni sljedeći podaci: primijenjena inspekcijska strategija, broj koraka od kad je predmetni entitet posljednji put bio predmetom nadzora (od 0 na dalje) te broj kršenja pravila u trenutnom koraku (od 0 do 6). Kao i u prethodna 2 testa, status kršenja pravila prikupljen je neovisno o tome je li entitet nadziran u trenutku prikupljanja podataka.

Nadalje, kao i u prethodna 2 testa, provedeno je 1.000 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima te je kapacitet inspektora ostavljen na 0,2. Ove vrijednosti postavljene su prvenstveno s ciljem povećanja količine podataka o kršenju od strane entiteta koji u više uzastopnih koraka nisu nadzirani prilikom primjene slučajnih inspekcijskih strategija. Naime, kao i u testu valjanosti u poglavlju 5.2.2.2.1.6, zbog karakteristika strategije slučajnog odabira, takvi podaci su razmjerno rijetki. Analogno, provjeru valjanosti strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja nije moguće provesti ovim testom obzirom da će u konfiguraciji sa 6 pravila i kapacitetom inspektora od 0,2, svaki entitet biti nadziran u svakom koraku, te neće postojati točke podataka za entitete koji nisu nadzirani u prethodnom koraku. Za svaku inspekcijsku strategiju prikupljeno je 30.000 točaka podataka, obzirom na 30 provedenih koraka simulacije.

5.2.2.2.2 Specifična valjanost modela

U okviru provjere specifične valjanosti, analizirana je kvantitativna usklađenost modela s empirijskim makro-strukturama (2. razina valjanosti prema Axtellu i Epsteinu) te je na temelju prikupljenih empirijskih podataka ograničen parametarski prostor modela, (3. korak u metodi indirektno kalibracije). Drugim riječima, u okviru provjere specifične valjanosti pokušavala se pronaći valjana kombinacija ulaznih parametara za koju će, uz zadana ograničenja, računalna

simulacija modela reproducirati očekivane kvantitativne rezultate. Navedeno je obuhvatilo sljedeće korake:

1. Na temelju analiziranih empirijskih istraživanja identificirani su kvantitativni pokazatelji koji se žele replicirati te ograničenja ulaznih parametara modela.
2. Razvijene su odgovarajuće procedure kojima se u računalnoj simulaciji modela bilježe vrijednosti identificiranih kvantitativnih pokazatelja te uspoređuju s očekivanim vrijednostima¹⁷.
3. Primjenom alata za pretraživanje parametarskog prostora identificirane su vrijednosti ulaznih parametara modela za koje su dobivene (izlazne) vrijednosti razmatranih kvantitativnih pokazatelja u dovoljnoj mjeri usklađene s očekivanjima.
4. Računalna simulacija modela ponovljena je 100 puta s ulaznim parametrima identificiranim u prethodnom koraku te su Rezultati uspoređeni s očekivanjima.

Obzirom na veličinu parametarskog prostora te trajanje izvršavanja računalne simulacije, analiza svih mogućih kombinacija ulaznih parametara nije bila izvediva. Stoga su primijenjene heurističke metode pretraživanja parametarskog prostora te pronalaska zadovoljavajućeg rješenja. Testirano je pretraživanje parametarskog prostora primjenom algoritma simuliranog kaljenja [128, p. 25] i genetskog algoritma [128, p. 77]. Testovi pretraživanja parametarskog prostora i pronalaska optimalnog rješenja pokazali su dosljedno bolje rezultate primjenom genetskog algoritma (u odnosu na simulirano kaljenje) te su stoga sve provjere specifične valjanosti provedene primjenom genetskog algoritma. Stopa mutacija, veličina populacije, stopa križanja, način mijenjanja populacije, te veličina turnira zadani su u skladu s preporukama autora *BehaviorSearch* alata [183] koji je korišten u pretraživanju. Mutacija svakog parametra provodi se zasebno te ovisno o njegovu tipu.

Primjerenost rezultata procjenjuje se na temelju zadane funkcije cilja, odnosno približavanja određenih rezultata (mjera) simulacije unaprijed definiranim vrijednostima. Definirana funkcija cilja je jednodimenzionalna funkcija za globalno pretraživanje, koja mora sadržavati sve varijable modela čija vrijednost se želi evaluirati. Primjer evaluacijske funkcije kakve se koriste u provjeri specifične valjanosti razvijenog modela opisan je u nastavku.

¹⁷ Procedure analize i usporedbe pokazatelja specifične za danu situaciju, odnosno za kvantitativne pokazatelje koji se žele reproducirati – stoga i naziv „specifična“ valjanost.

Pretpostavimo da empirijski podaci pokazuju da je nakon proteka vremena koji je analogan v koraka simulacije utvrđeno da A entiteta nije usklađeno s 1. pravilom, B entiteta nije usklađeno s 2. pravilom te C entiteta nije usklađeno s 3. pravilom. Procedura provjere valjanosti trebala bi prikupiti podatke o broju entiteta koji nisu usklađeni sa svakim od ta 3 pravila nakon v koraka simulacije ($a(v)$, $b(v)$ i $c(v)$). Postupak pretraživanja parametarskog prostora trebao bi identificirati ulazne parametre simulacije za koje će razlika između dobivenih i željenih rezultata biti minimalna. Odnosno, moguća evaluacijska funkcija rezultata simulacije dana je s:

$$f(\text{ulazni parametri}) = \arg \min(|A - a(v)| + |B - b(v)| + |C - c(v)|) \quad (5)$$

Ako su poznate i dodatne odrednice poput relativne važnosti očekivanih rezultata, standardne devijacije i slično, one se također mogu uvrstiti u evaluacijsku funkciju (primjerice, množenjem razlika između očekivanih i dobivenih rezultata dodatnim faktorima).

Specifična valjanost provjerena je za 3 studije slučaja, odnosno za inspekciju zaštite okoliša u Danskoj (Scenarij DK-E), inspekciju usklađenosti s propisima o zaštiti na radu u SAD-u (Scenarij US-W) te superviziju banaka u Italiji (Scenarij IT-B). U nastavku su opisani osnovni podaci o studijama slučaja, relevantnost tih podataka za provjeru valjanosti te očekivani rezultati.

5.2.2.2.2.1 Provjera specifične valjanosti: Scenarij DK-E: Inspekcija propisa o zaštiti okoliša u Danskoj

Winter i May su u dva rada [47] i [26] analizirali empirijske podatke o usklađenosti danskih poljoprivrednika s regulativom o zaštiti okoliša. Istraživanje je provedeno na temelju studije slučaja u okviru koje je analizirana usklađenost uzgajivača stoke (ukupna populacija: 45.000) s novo-usvojenom regulativom o zaštiti okoliša. Pri tome su lokalna nadzorna tijela morala provesti inspekciju usklađenosti svih obveznika s donesenim propisima unutar 3 godine. Prikupljeni empirijski podaci obuhvaćaju podatke o rezultatima inspekcija koje su provela lokalna nadzorna tijela (u svakoj od 258 lokalnih samoupravnih jedinica u Danskoj), službene podatke nacionalne agencije za zaštitu okoliša te odgovore na anketu koju su autori uputili na adrese 1.652 danska poljoprivrednika. Na temelju prikupljenih podataka autori su proveli sveobuhvatnu analizu. Dio podataka iz provedene analize koji su konceptualno usklađeni i

primjenjivi na razvijeni model, iskorišteni su u procjeni parametara modela te u provjeri valjanosti.

Tablica 5.2 sadrži razmatrane pokazatelje te njihove očekivane vrijednosti. Pokazatelj DKv1 odnosi se na postotak entiteta koji su u svakom trenutku (odnosno u svakom koraku inspekcije) usklađeni sa svim odredbama. To uključuje entitete čija usklađenost je utvrđena inspekcijom kao i entitete koji nisu bili nadzirani u specifičnom koraku inspekcije. Pokazatelj DKv2 odnosi se na postotak entiteta koji su nakon posljednjeg koraka simulacije bili usklađeni sa svim odredbama te na cjelokupnu populaciju entiteta, a ne na neki inspekcijski uzorak. Pokazatelji DKv3A, DKv3B i DKv3C odnose se na cjelokupno razdoblje simulacije te na sve entitete.

Tablica 5.2 – Pokazatelji analizirani u provjeri specifične valjanosti za scenarij DK-E i njihove očekivane vrijednosti

Pokazat.	Opis	Očekivano
DKv1	% entiteta koji su u svakom trenutku usklađeni sa svim odredbama	26 %
DKv2	% entiteta koji su nakon posljednjeg ciklusa usklađeni sa svim odredbama	73 %
DKv3A	Koliko često se krši pravilo A (uključujući detektirana i nedetektirana)	18 %
DKv3B	Koliko često se krši pravilo B (uključujući detektirana i nedetektirana)	5 %
DKv3C	Koliko često se krši pravilo C (uključujući detektirana i nedetektirana)	3%

Vrijednosti ulaznih parametara simulacije određene su na jedan od 3 načina: postavljene su sukladno podacima sadržanima u citiranim publikacijama [47] i [26], proizvoljno su postavljene (ako njihova vrijednost nije povezana s provjerom valjanosti odnosno ako promjena njihove vrijednosti ne bi smjela utjecati na valjanost modela) ili je njihova vrijednost određena temeljem pretraživanja parametarskog prostora.

Broj entiteta proizvoljno je postavljen na 100, obzirom da promjena broja entiteta ne bi smjela utjecati na mogućnost provjere valjanosti modela. Broj pravila postavljen je na 6, obzirom da publikacije identificiraju 6 ključnih područja inspekcije [47, p. 648]. Inspekcijska agencija provodi cikličnu inspekciju, pri čemu se u jednom ciklusu provodi inspekcija svih 6 pravila, a kapacitet inspekcijske agencije je 0,33. Ovi parametri postavljeni su obzirom na obvezu provođenja inspekcije usklađenosti svih obveznika s donesenim propisima barem jednom unutar 3 godine [47, p. 648]. Odnosno, navedene vrijednosti osiguravaju da će inspekcijska agencija u 3 godine jednom provesti inspekciju usklađenosti svakog pravila u svakom entitetu.

Valjanost je provjerena bilježenjem rezultata simulacije nakon 6 koraka (odnosno 2 puna ciklusa). Inicijalni ciklus proveden je kako bi se uspostavila realna inicijalna percepcija

entiteta o vjerojatnosti provođenja inspekcije (uzimajući u obzir ovisnost strategije učenja fiktivne igre o inicijalnim pretpostavkama).

5.2.2.2.2.2 *Provjera specifične valjanosti: Scenarij US-W: Inspekcija zaštite na radu u SAD-u*

Ko, Mendelhof i Gray u svom radu [39] prezentiraju mnogobrojne statističke podatke o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti na radu. Te inspekcije u 26 saveznih država SAD-a provodi federalna agencija OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*). Podaci sadržani u studiji temelje se na službenim podacima OSHA-e o 549.398 inspekcija usklađenosti koje su provedene od 1972. do 2006. u SAD-u. Prema navodima autora, mnogobrojna istraživanja pokazala su koji podaci OSHA-e su vjerodostojni te autori koriste podskup tih podataka. Dio podataka iz ove publikacije koji su konceptualno usklađeni i primjenjivi na razvijeni model, iskorišteni su u procjeni parametara modela te u provjeri valjanosti.

Tablica 5.3 sadrži pokazatelje koji su analizirani, njihov opis te raspone vrijednosti vidljive u empirijskim podacima. Pokazatelj USv1 odnosi se na postotak entiteta koji pri prvoj inspekciji nisu bili usklađeni s barem jednim pravilom (u empirijskim podacima nije navedena standardna devijacija parametra). Pokazatelji USv3A, USv3B i USv3C odnose se na prosječan pad broja kršenja koja su počinili pojedinačni entiteti, a koji je detektiran inspekcijama. Ta 3 pokazatelja definirana su kroz ciljane raspone te se u provjeri valjanosti pokušava pronaći kombinacija ulaznih parametara za koje će dobivene vrijednosti biti unutar zadanih raspona. Sva 4 pokazatelja odnose se samo na entitete koji su bili obuhvaćeni inspekcijama.

Tablica 5.3 – Pokazatelji analizirani u provjeri specifične valjanosti za scenarij US-W i njihove očekivane vrijednosti

Pokazatelj	Opis	Očekivano
USv1	Postotak entiteta koji nisu usklađeni s jednim ili više pravila u trenutku prve inspekcije.	83 %
USv3A	Prosječni pad broja prekršaja utvrđenih u 2. inspekciji u odnosu na 1. inspekciju.	40-50 %
USv3B	Prosječni pad broja prekršaja utvrđenih u 3. inspekciji u odnosu na 2. inspekciju.	5-20 %
USv3C	Prosječni pad broja prekršaja utvrđenih u 4. inspekciji u odnosu na 3. inspekciju.	5-20 %

Kao i u prethodnom testu, vrijednosti ulaznih parametara simulacije postavljene su sukladno podacima sadržanima u citiranim publikacijama [39], proizvoljno su postavljene ili je njihova vrijednost određena temeljem pretraživanja parametarskog prostora.

Broj entiteta proizvoljno je postavljen na 200, a broj pravila postavljen je na 10. Kao i u prethodnom testu, promjena broja entiteta ne bi smjela utjecati na mogućnost provjere valjanosti modela. U ovom testu valjanosti i broj pravila određen je proizvoljno, obzirom da nisu dostupni relevantni empirijski podaci. Inspekcijska agencija provodi strategiju inspekcije slučajnim odabirom entiteta, odnosno u odabranim entitetima se procjenjuje usklađenost sa svim pravilima. Kapacitet inspekcijske agencije je 0,2. U skladu s navedenim, inspekcijska agencija u svakom periodu slučajno odabire 20% entiteta te se u njima provodi inspekcija usklađenosti entiteta sa svim pravilima. Ovi parametri inspekcijske strategije postavljeni su prema podacima navedenima u [39]. Valja naglasiti kako je u testu definiran razmjerno velik broj entiteta i pravila i zbog karakteristika samog testa valjanosti. Naime, testom valjanosti analiziraju se, među ostalim, i promjene usklađenosti u pojedinom entitetu. Postavljanjem većeg broja entiteta i pravila osigurava se postojanje dovoljnog broja podatkovnih točaka za provjeru – primjerice – pada broja utvrđenih prekršaja u 4. inspekciji u odnosu na 3. inspekciju. S druge strane, poželjno je i skraćivanje ukupnog trajanja simulacije, obzirom na velik broj simulacija koje se provode u okviru provjere specifične valjanosti.

Zbog potrebe skraćivanja ukupnog vremena trajanja simulacije te karakteristika odabrane inspekcijske strategija i inspekcijskog kapaciteta, valjanost je provjerena analizom rezultata zabilježenih u simulaciji koja traje 22 koraka. Obzirom da percepcija entiteta o vjerojatnosti inspekcije ovisi o povijesti, početnih 10 koraka simulacije predstavljaju svojevrsnu inicijalizaciju, odnosno provedeni su kako bi se uspostavila realna inicijalna percepcija entiteta o vjerojatnosti provođenja inspekcije. Nakon toga, provedeno je daljnjih 12 koraka simulacije (koraci 11. do 22.), a testom valjanosti obuhvaćeni su samo entiteti koji nisu nadzirani u koracima 8., 9. i 10., kako bi se simulirao efekt prve inspekcije. Isto tako, testom valjanosti obuhvaćeni su samo podaci generirani u posljednjih 12 koraka simulacije, obzirom na empirijske podatke.

5.2.2.2.3 Provjera specifične valjanosti: Scenarij IT-B: Supervizija banaka u Italiji

Brogi [78] te Muré i Pesic [181] objedinili su te analizirali podatke o superviziji banka u Italiji koje je prikupila i objavila Banca d'Italia (središnja banka Italije). Banca d'Italia između ostalih aktivnosti obavlja i superviziju banaka te, u okviru toga, provodi i izravne nadzore

(inspekcije) talijanskih banaka. Obje citirane studije usredotočile su se na statističke podatke o inspekcijama te administrativnim kaznama koje je Banca d'Italia provela i izdala u razdoblju od 1998 do 2009. godine. Administrativne kazne izdaju se kad se nadzirana banka ne pridržava određenih propisa. Obje publikacije temelje se na kvantitativnim podacima o inspekciji dijela od 900-tinjak talijanskih banaka koje su postojale u tom razdoblju. Dio podataka iz ovih publikacija koji su konceptualno usklađeni i primjenjivi na razvijeni model, iskorišteni su u procjeni parametara modela te u provjeri valjanosti.

Kao i u prethodna dva testa, vrijednosti ulaznih parametara simulacije postavljene su sukladno podacima sadržanima u citiranim publikacijama [78][181], proizvoljno su postavljene ili je njihova vrijednost određena temeljem pretraživanja parametarskog prostora. Tablica 5.4 sadrži pokazatelje koji su analizirani, njihov opis te očekivane raspone vrijednosti.

Tablica 5.4 – Pokazatelji analizirani u provjeri specifične valjanosti za scenarij IT-B i njihove očekivane vrijednosti

Pokazatelj	Broj sankcija u promatranom razdoblju	Očekivano
ITv1	Jednom	61-73 %
ITv2	2 puta	19 -26 %
ITv3	3 puta	8-10 %
ITv4	4 puta	1-3 %
ITv5	5 puta	0-2 %

Inspeksijska agencija provodi strategiju inspekcije slučajnim odabirom entiteta, odnosno u odabranim entitetima procjenjuje se usklađenost sa svim pravilima. Kapacitet inspeksijske agencije je 0,2, sukladno empirijskim podacima prema kojima je Banca d'Italia svake godine (u prosjeku, uz mala odstupanja) provodila izravni nadzor 20% banaka. Broj entiteta proizvoljno je postavljen na 200, a broj pravila postavljen je na 4. Kao i u prethodna 2 testa, promjena broja entiteta ne bi smjela utjecati na valjanost modela. Analogno prethodnom poglavlju, broj entiteta postavljen je razmjerno velikim kako bi se dobio dovoljan broj podatkovnih točaka za provođenje testa valjanosti. Naime, zbog zadane strategije inspekcije i inspeksijskog kapaciteta, entiteti koji će u 12 godina biti nadzirani 5 puta bit će razmjerno rijetki. Broj pravila također je određen proizvoljno, obzirom da nisu dostupni relevantni empirijski podaci. Međutim, broj pravila postavljen je manjim nego u testu valjanosti u prethodnom poglavlju, obzirom da broj pravila ne bi trebao utjecati na provedivost testa te obzirom na poželjno skraćivanje ukupnog trajanja simulacije.

Kao i u testu u prethodnom poglavlju, inicijalnih 10 koraka simulacije provedeno je kako bi se uspostavila realna inicijalna percepcija entiteta o vjerojatnosti provođenja inspekcije obzirom da procjene entiteta o vjerojatnosti inspekcije pri primjeni strategije učenja fiktivne igre ovise o povijesti. Naime, u okruženju koje je proučavano citiranim studijama, entiteti (banke) su postojali i prije razdoblja u kojem su prikupljeni podaci te su bili predmetom inspekcija iste inspekcijske agencije (Banca d'Italia). Nakon inicijalizacijskog perioda, provedeno je daljnjih 12 koraka simulacije (obzirom na empirijske podatke; koraci 11. do 22.) rezultati kojih su analizirani u testu valjanosti.

Svi razmatrani pokazatelji (Tablica 5.4) odnose se na broj sankcija (kazna) koje su uočene u 12 analiziranih koraka simulacije. Naime, nakon tih 12 koraka, utvrđen je postotak entiteta koji su kažnjeni samo jednom, 2 puta, 3 puta, 4 puta ili 5 puta. Kažnjavanje znači da je tijekom inspekcije utvrđeno da entitet krši jedan ili više propisa. U empirijskim podacima identificirani su rasponi očekivanih vrijednosti te se u testu valjanosti pokušalo pronaći kombinacije ulaznih parametara za koje će dobivene vrijednosti biti unutar zadanih raspona. Svi pokazatelji odnose se na sve entitete, tj. ne samo na podskup entiteta koji su bili obuhvaćeni inspekcijama.

5.2.2.3. Metode analize osjetljivosti modela

Analiza osjetljivosti razvijenog modela provedena je primjenom Morrisove metode pregleda osnovnih učinaka [134], a samo testiranje te postavljanje vrijednosti parametara Morrisovog testa provedeno je sukladno preporukama Thielea i koautora [131].

Za svaku inspekcijsku strategiju analiziran je utjecaj 10 ulaznih parametara na ukupan broj prekršaja na kraju simulacije¹⁸. Razmatrani rasponi njihovih vrijednosti prikazani su u tabeli (Tablica 5.5).

Iz svakog raspona ulaznih parametara odabrano je 100 slučajnih vrijednosti s kojima je pokrenuta simulacija modela. Nakon 25 koraka simulacije zabilježen je ukupan (kumulativan) broj kršenja. Za svaku kombinaciju parametara izračunato je 50 osnovnih učinaka, a sama simulacija ponovljena je 50 puta za svaku kombinaciju ulaznih parametara.

¹⁸ Ovisno o scenariju, analizirano je 10 od 11 mogućih parametara.

Tablica 5.5 – Analiza osjetljivosti: ulazni parametri modela ICARUS

Naziv ulaznog parametra	Minimum	Maksimum
default-risk-attitude	0.1	6
inspection-accuracy	30	100
inspectors-capacity	0.1	0.5
k-hyperbolic-discounting	0.1	5
max-deviation-resources	0.01	0.5
max-risk-attitude-deviation	0.01	0.99
number-of-entities	10	200
number-of-rules ¹⁹	3	15
punishment-size	30	200
resource-requirements-param	1	5
rules-inspected-in-one-cycle ²⁰	1	10

5.2.3. Metode analize podataka računalne simulacije

Analiza podataka simulacije i testiranje hipoteza H.1, H.2 i H.4 provedeni su u 2 koraka. U prvom koraku provedena je deskriptivna analiza podataka te su rezultati simulacije grafički prikazani, a u drugom koraku su provedeni odgovarajući statistički testovi te su izvedeni zaključci. Postavljene hipoteze testirane su nad rezultatima računalne simulacije modela ICARUS, dobivenima za različite kombinacije ulaznih parametara.

Primijenjene deskriptivne metode uključuju grafikone usporedbe kvantila (QQ grafikon), B-P dijagrame i dijagrame raspršenja. QQ grafikoni daju usporedbu očekivanih vrijednosti (os x) i vrijednosti dobivene simulacijom (os y) te su omogućili procjenu odudaraju li podaci generirani u simulaciji od normalne distribucije, a B-P dijagrami daju statistički sažetak podataka.

Pri testiranju H.1 uspoređeni su rezultati inspekcije usklađenosti odredaba razmjerno resursnoj zahtjevnosti njihova ispunjavanja, odnosno primjene strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS) s rezultatima inspekcija primjenom strategija slučajnog odabira. Razmatrane su dvije strategije: strategija potpuno slučajnog odabira entiteta i pravila koji će biti nadzirani (*Random*) te strategija slučajnog odabira entiteta (*Random entity*) kojom

¹⁹ Vrijednosti ovog parametra mijenjane su pri primjeni svih inspekcijskih strategija osim strategije cikličnog odabira.

²⁰ Vrijednost ovog parametra relevantna je samo za inspekcijsku strategiju cikličnog odabira. Pri primjeni te strategije vrijednost parametra `number-of-rules` postavljena je na 10.

se slučajno odabiru entiteti koji će biti predmetom inspekcije te se zatim provodi inspekcija svih pravila u odabranim entitetima.

Pri testiranju H.2 uspoređeni su rezultati inspekcije primjenom strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS) s rezultatima primjene strategija cikličnog odabira. Pri tome su razmatrane dvije varijante strategija cikličnog odabira. U prvoj varijanti (*Cycle*) u jednom ciklusu obuhvaćena su sva pravila, odnosno ciklus je dovršen tek kad su inspekcije obuhvatile sva pravila u svim entitetima. U drugoj varijanti (*Cycle-S*) u jednom ciklusu obuhvaćena je polovica pravila, odnosno inspekcije prvo obuhvate polovicu pravila u svim entitetima, a zatim se provodi inspekcija preostalih pravila u svim entitetima.

Pri testiranju H.4 uspoređeni su rezultati inspekcije primjenom strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS) s rezultatima primjene iste strategije, ali uz Stackelbergovo vodstvo. Odnosno, pri procjenjivanju vjerojatnosti inspekcije usklađenosti sa specifičnim pravilom entiteti pretpostavljaju da je učestalost inspekcije tog pravila razmjerna resursnoj zahtjevnosti njena ispunjavanja (*SUS-Stackelberg*).

U skladu s navedenim, u testovima hipoteza uspoređeni rezultati 6 inspekcijskih strategija: *SUS*, *Random*, *Random entity*, *Cycle*, *Cycle-S* i *SUS-Stackelberg*. Zavisna varijabla u svim testovima je ukupan broj neusklađenosti u sustavu.

Obzirom na velik broj mogućih kombinacija ulaznih parametara, bilo je nužno identificirati one parametre s kojima je potrebno pokrenuti računalne simulacije kojima će se testirati postavljene hipoteze. U testovima specifične valjanosti u poglavlju 7.2.2, identificirane su 3 kombinacije vrijednosti ulaznih parametara (scenariji DK-E, US-W i IT-B) s kojima je računalna simulacija modela ICARUS reproducirala kvantitativne rezultate identificirane u empirijskim istraživanjima.

Nakon pokretanja simulacije, za svaki scenarij te za svaku inspekcijsku strategiju provedeno je 25 koraka simulacije. Zatim je zabilježen ukupan broj neusklađenosti u sustavu. Simulacije sa svakom pojedinačnom kombinacijom ulaznih parametara ponovljene su 100 puta, obzirom na stohastičku prirodu modela ICARUS te u skladu s već spominjanom preporukom Nikolića i koautora [104, p. 111].

Hipoteze su testirane u 2 koraka: primjenom Kruskal-Wallis testa (jednosmjerna analiza varijance po rang) te, nakon utvrđivanja značajnosti rezultata tog testa, Nemenyi-jevog *post-hoc* testa.

Kruskal-Wallis test je primijenjen obzirom da prikupljeni podaci nisu zadovoljili sve preduvjete za primjenu jednosmjerne analiza varijance (ANOVA), odnosno nije moguće pretpostaviti da populacije iz kojih su odabrani uzorci imaju normalnu distribuciju [184, p. 685]. Kruskal-Wallis test je neparametrijski test koji je moguće primijeniti na uzorke (odnosno zavisne varijable) koji ne zadovoljavaju navedeni preduvjet korištenja jednosmjerne ANOVA-e. Rezultat Kruskal-Wallis testa je tzv. H-vrijednost. Ako je rezultat testa značajan, odbacuje se nul-hipoteza. Kruskal-Wallis test ima manju statističku snagu od jednosmjerne ANOVA-e, no ta razlika je mala [185, p. 97]. Ako je H vrijednost značajna, i dalje nije poznato između kojih grupa podataka (uzoraka) je ta razlika značajna [184, p. 779]. U tom slučaju, mogu se provesti tzv. *post-hoc* testovi kojima se međusobno uspoređuju parovi uzoraka te se utvrđuje signifikantnost njihovih razlika [186, p. 3].

Često provođeni *post-hoc* test je Dunn-ov test višestrukih usporedaba, koji se temelji na Bonferroni-jevoj korekciji [167, p. 126]. Bonferroni-jeva korekcija vrlo je konzervativna te se ne preporučuje ako su primjenjive i druge metode [167, p. 50]. Stoga je pri testiranju hipoteza primijenjen Tukey-ev i Kramer-ov test, također znan i kao Nemenyi-jev test. Nemenyi-jevim testom međusobno su uspoređeni rezultati (ukupan broj kršenja) svih mogućih parova strategija inspekcija. Obzirom da su u podacima prisutni i izjednačeni rezultati (engl. *tie*), primijenjena je χ^2 aproksimacija [186].

5.3. Korišteni alati

Razvijeni model implementiran je računalnom simulacijom u NetLogo okruženju²¹ [187]. NetLogo je odabran za okruženje u kojem će se razvijeni model implementirati u računalnu simulaciju zbog jednostavnosti primjene, visokog stupnja razvoja, široke primjene u istraživačkoj zajednici, solidnih performansa [188], dostupnosti dodatnih alata za analizu razvijenih modela te jednostavne integracije s programskim jezikom R [189].

Simulacije u okviru općenite validaciju su pokretane uglavnom korištenjem *BehaviorSpace* modula koji je sastavni dio NetLogo okruženja te omogućuje provođenje i bilježenje rezultata računalnih simulacija, za sve moguće kombinacije vrijednosti ulaznih parametara unutar zadanih raspona (kartezijski produkt) [105, p. 289]. Specifična valjanost modela analizirana je primjenom *BehaviorSearch* alata [183], koji je moguće integrirati s

²¹ U NetLogo okruženju umjesto decimalnog zareza koristi se decimalna točka. Stoga su vrijednosti ulaznih parametara simulacija i te u grafikonima generiranima u NetLogo-u izražene s decimalnom točkom.

NetLogo okruženjem. *BehaviorSearch* omogućuje pretraživanje parametarskog prostora modela implementiranih u NetLogo-u primjenom nekoliko algoritama.

Statistička analiza, vizualizacija podataka te dio analize osjetljivosti provedeni su pomoću programskog jezika R [190] i alata RStudio [191]. Korišteni su sljedeći paketi programskog jezika R²²[190]: ggplot2 [192], plyr [193], PMCMR [186], ggmosaic [194], polycor [176], tidyverse [195], reshape2 [196], gridExtra [197] i MASS [198], RNetLogo [189], sensitivity [199] i RColorBrewer [200].

²² Napomena: na grafikonima generiranim kroz R okruženje umjesto decimalnog zareza koristi se decimalna točka.

6. Opis modela

Poglavlje sadrži opis razvijenog višeagentnog modela inspekcije usklađenosti. U modelu inspeksijska agencija, putem centralno koordiniranih inspekcija, provodi inspekciju usklađenosti većeg broja entiteta s većim brojem pravila. Razvijeni model nazvan je ICARUS (engl. : *Inspecting Compliance to mAny RUleS*).

Poglavlje uključuje konceptualni opis modela te opis implementacije modela u računalnu simulaciju. Opis modela i računalne simulacije razložen je prema ODD+D protokolu [113][111].

ICARUS se temelji na ranijim inačicama modela inspekcije usklađenosti koje su objavljene u [11] i [9].

6.1. Pregled modela

6.1.1. Svrha

Model prikazuje centralno-koordiniranu inspekciju usklađenosti u sustavu s više nadziranih organizacija, pri čemu se svaka organizacija mora pridržavati više odredaba. Model vjerno reproducira obrasce identificirane analizom sekundarnih podataka o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, inspekcijama u bankarstvu te zaštite na radu. Uz navedeno, model i implementirana računalna simulacija omogućuju provjeru jesu li strategije inspekcije koje se oslanjaju na pretpostavku različite učestalosti kršenja različitih odredaba učinkovitije od često korištenih strategija inspekcije, odnosno omogućuje potvrdu ili odbacivanje postavljenih hipoteza. I konačno, model i razvijena računalna simulacija omogućuju analizu i drugih inspeksijskih problema te pridonose unaprjeđivanju provođenja inspekcija usklađenosti u praksi.

Osnovna motivacija za razvoj modela je činjenica da se do sad razvijeni modeli inspekcije gotovo u potpunosti fokusiraju na okruženja u kojima se entiteti moraju uskladiti s jednim pravilom, te u kojima usklađenost nadziru centralno-koordinirane ili decentralizirane inspekcije. Takva jednostavna okruženja ne daju vjerodostojan prikaz visoko reguliranih područja poput pružanja financijskih usluga ili usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša. Dodatna motivacija za razvoj modela je mogućnost testiranja hipoteza da se provođenjem inspekcija koje se oslanjaju na pretpostavku da je usklađivanje s nekim regulatornim zahtjevima skuplje od usklađivanja s drugim zahtjevima, može smanjiti ukupan broj kršenja u sustavu. Odnosno, razlike u troškovima (cijeni) usklađenosti, mogle bi se koristiti kao signalni mehanizam koji je dostupan inspektorima (iako ne s potpunom točnošću), na temelju kojeg bi se mogla povećati točnost inspekcije te – u konačnici – smanjiti ukupna neusklađenost.

Motivacija za korištenje agentnog modeliranja je fleksibilnost takvog pristupa, te karakteristike agentnog modeliranja koje odgovaraju postavljenom problemu, ali i pravna i etička ograničenja vezana uz provođenje eksperimenata te ograničenja primjene isključivo analitičkog pristupa (primjerice, teorije igara)²³.

6.1.2. Agenti, stanja i procesi u modelu

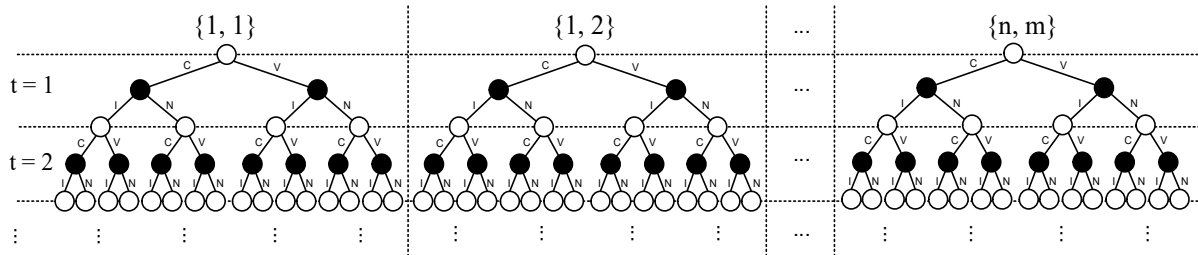
Model sadrži 3 vrste agenata: nadzirane entitete, inspekcijsku agenciju te inspektore/inspekcije (dalje: inspekcije). Formalni opis modela prikazan u nastavku poglavlja objavljen je, u nešto drugačijem i ograničenom obliku, u [9].

Neka je $\mathcal{E} = \{1, \dots, n\}$ skup n entiteta (agenata, odnosno organizacija), $n \in \mathbb{N}$, pri čemu je svaki entitet u $\mathcal{E}$ obavezan pridržavati se svih društvenih norma (pravila odnosno propisa) sadržanih u $\mathcal{O} = \{1, \dots, m\}$, $m \in \mathbb{N}$. Svaki entitet u $\mathcal{E}$ u svakom diskretnom vremenskom intervalu t iz skupa $\mathcal{T} = \{1, \dots, \tau\}$ odlučuje hoće li se uskladiti ili kršiti svako od pravila sadržanih u $\mathcal{O}$.

Inspekcijska agencija $\mathcal{I}$ ima zadatak nadzirati usklađenost entiteta sa svim pravilima. U svakom trenutku $t \in \mathcal{T}$, $\mathcal{I}$ odlučuje hoće li nadzirati svaku od mogućih kombinacija (parova) entiteta i pravila. Kad entitet i odlučuje hoće li se pridržavati ili kršiti pravilo j u t , ne zna hoće li $\mathcal{I}$ nadzirati $\{i, j\}$ u t . Analogno, $\mathcal{I}$ ne zna stanje usklađenosti kad odlučuje koju kombinaciju entiteta i pravila će inspekcije obuhvatiti u t . $\mathcal{I}$ provodi nadzor primjenom odnosno

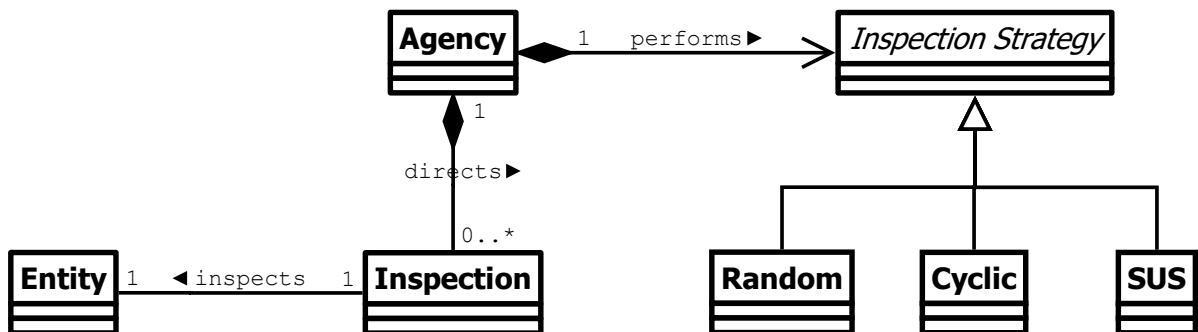
²³ Diskretna simulacija događaja (engl. *Discrete event simulation* – DES) nije korištena obzirom da je posebno primjenjiva u modelima u kojima u diskretnim vremenskim intervalima većina agenata ništa ne radi [206]. U modelu ICARUS svaki agent u svakom diskretnom vremenskom intervalu mora obaviti određene aktivnosti.

posredstvom inspekcija. Inspekcije su agenti koji mogu provjeriti usklađenost bilo kojeg entiteta iz $\mathcal{E}$ s jednim ili više pravila iz $\mathcal{O}$, a koje usmjerava $\mathcal{I}$. U svakom trenutku $t \in \mathcal{T}$, jedna inspekcija može provjeriti usklađenost samo jednog entiteta. Nakon inspekcije $\{i, j\}$ u t , inspekcija zaključuje je li entitet i bio usklađen s propisom j u trenutku t . Inspekcija nakon toga agenciju $\mathcal{I}$ informira o usklađenosti $\{i, j\}$ u t . Slika 6.1 prikazuje stablo ove interakcije (igre) – odnosno sve moguće ishode – na razini entitet-pravilo.



Slika 6.1 – Stablo modelirane igre (prilagođeno prema [9, p. 284], slika 2.)²⁴

Ako inspekcija detektira kršenje pravila, kaznit će nadzirani entitet propisanom kaznom. Entitetima je poznato da će biti kažnjeni ako inspekcija identificira kršenje nekog pravila. Entiteti pamte povijest svojih odluka i rezultate inspekcija kojima su bili podvrgnuti te na temelju tih saznanja i svojih individualnih karakteristika donose odluke o usklađenosti ili kršenju pravila. Interesi entiteta i inspeksijske agencije su izravno suprotstavljeni, sukladno igri inspekcije, koja je detaljnije opisana u poglavlju 2.3.2. Entiteti samostalno donose odluke u usklađenosti ili kršenju, inspeksijska agencija provodi zadanu inspeksijsku strategiju, a inspekcije su nesamostalni agenti koji dosljedno provode naloge inspeksijske agencije. Slika 6.2 prikazuje konceptualni dijagram klasa (engl. *Class Diagram*) opisanog modela.



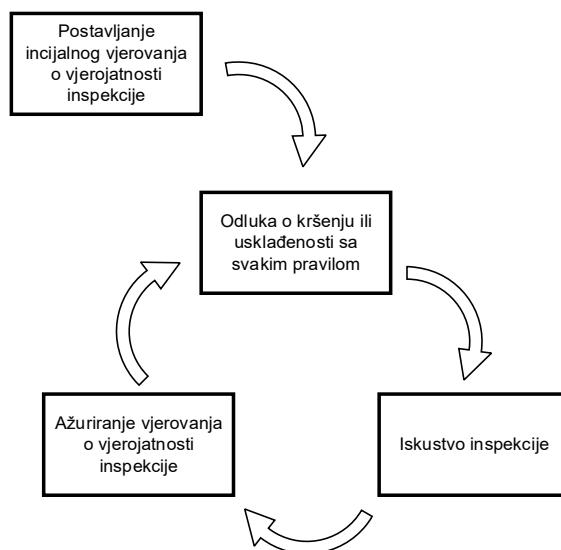
Slika 6.2 – Konceptualni dijagram klasa modela ICARUS

²⁴ Oznake na slici imaju sljedeća značenja: C = uskladi (engl. *comply*), V = krši (engl. *violate*), I = nadziri (engl. *inspect*), N = ne nadziri (engl. *not inspect*)

Inspekcijska agencija provodi jednu od 3 moguće grupe strategija. Slučajne strategije (engl. *Random*), u kojima se entiteti i pravila koja će biti obuhvaćeni inspekcijom odabiru slučajno. Ciklične strategije (engl. *Cycle*), u kojima se u određenom ciklusu (tj. određenom frekvencijom) inspekcijama obuhvaćaju svi entiteti i dio ili sva pravila. Strategija stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (engl. *Stochastic universal sampling* - SUS), kojom se pravila koja će biti obuhvaćena inspekcijom odabiru ovisno o procijenjenoj resursnoj zahtjevnosti postizanja usklađenost s pojedinim pravilom. Inspekcijska agencija odabranu strategiju provodi konzistentno, prema istim pravilima, kroz cijelu simulaciju.

Inspekcija u t može nadzirati samo jedan entitet te usklađenost s jednim ili više pravila (u tom entitetu). U svakom t inspekcijska agencija inicira određeni broj inspekcija, ovisno o odabranoj strategiji i inspekcijskom kapacitetu. Inspekcijski kapacitet agencije je konstantan kroz cijelu simulaciju te definira s koliko pojedinačnih pravila u koliko entiteta se može provjeriti usklađenost u svakom t .

Slika 6.3 prikazuje slijed aktivnosti entiteta koji se podudara s algoritmom fiktivne igre [40].



Slika 6.3 – Slijed aktivnosti entiteta u modelu ICARUS

Modelu je svojstven niz parametara i varijabla stanja. Neki su jednoznačni za cijeli model, a neki se razlikuju od entiteta do entiteta, od inspekcije do inspekcije, od stanja do stanja. Nadalje, postavljanje modela, odvijanje simulacije te rezultati ovise o nizu ulaznih parametara

koji djelomično deterministički, a djelomično stohastički utječu na stanja sustava. Sve navedeno detaljnije je razloženo u poglavljima 6.2 i 6.3.

Model je smješten u eksplicitno definiran prostor, pri čemu su lokacije entiteta i inspeksijske agencija statične. Lokacije inspekcija dinamički se mijenjaju, odnosno pojedinačne inspekcije se pomiču s inspeksijske agencije na entitet, ovisno o instrukcijama agencije o nadzoru specifičnog entiteta.

6.2. Koncepti dizajna modela

6.2.1. Teorijska i empirijska pozadina

Teorijska i empirijska pozadina modela prezentirane su u 2. poglavlju. Mehanizmi odlučivanja i postupanja entiteta temelje se na teoriji racionalnog odabira i teoriji igara. Strategije inspeksijske agencije temelje se na pojednostavljenim obrascima identificiranim u empirijskim istraživanjima te navedenima u poglavlju 4.2.

ICARUS je oblikovan kao ponavljana istovremena nekooperativna igra čistog natjecanja. Agenti raspolazu nesavršenim, nepotpunim, asimetričnim informacijama. Entiteti u svakom potezu odabiru jednu čistu strategiju za svako pravilo, ovisno o vlastitoj subjektivnoj procjeni vjerojatnosti inspekcije. Inspeksijska agencija provodi zadanu strategiju inspekcije.

6.2.2. Karakteristike i ponašanje entiteta

Entitete karakterizira jedinstvenost, heterogenost, eksplicitni ciljevi, autonomnost, lokalnost, fleksibilnost i ograničena racionalnost. Dodatno, entiteti imaju sljedeće karakteristike:

1. Entiteti su racionalni, no njihova racionalnost je ograničena, zbog ograničenog obuhvata podataka na temelju kojih donose odluke.
2. Entiteti su heterogeni, obzirom na svoju sklonost preuzimanju rizika te obzirom na resurse potrebne za usklađenost.
3. Entiteti uče prema modelu fiktivne igre, odnosno na temelju vlastite povijesti donose zaključke o budućnosti.

4. Entiteti imaju pristranost prema sadašnjosti, odnosno veću vrijednost pridaju recentnijim iskustvima.
5. Entiteti međusobno ne komuniciraju.

Entitetu i svojstven je vektor **resursnih potreba**, odnosno resursa potrebnih za ispunjavanje svakog pravila u $\mathcal{O}$:

$$\mathbf{c}_i = (c_{i1}, \dots, c_{im}), \{c_{ij} \mid c_{ij} \in \mathbb{R} \wedge c_{ij} > 0\}, \forall i \in \mathcal{E}, \forall j \in \mathcal{O} \quad (6)$$

Resursi potrebni za usklađenost mogu se razlikovati od entiteta do entiteta, od pravila do pravila. Razlike u potrebnim resursima odnosno troškovima usklađenosti odražavaju moguće razlike u složenosti pravila kao i u karakteristikama entiteta koji ih moraju ispuniti. Primjerice, pravila mogu nalagati samo formalizaciju određenih postupaka, veće promjene procesa, ili uspostavu potpuno novih procesa koji zahtijevaju značajne promjene postojećih postupaka i značajna ulaganja. S druge strane, organizacije (entiteti) mogu se međusobno razlikovati po veličini, kompleksnosti, internoj organizaciji, poslovnom modelu, i slično. Sve navedeno može utjecati i na razlike u troškovima postizanja i održavanja usklađenosti.

Entiteti se razlikuju i prema sklonosti preuzimanju rizika, odnosno prema svom „apetitu za rizikom”, što je detaljnije razloženo u poglavlju 2.4. **Sklonost preuzimanju rizika** utječe na procjenu entiteta o vjerojatnosti inspekcije te je dana s:

$$r_i \in \mathbb{R}, \forall i \in \mathcal{E} \quad (7)$$

Sklonost preuzimanju rizika je stabilna individualna karakteristika koja je posljedica osobnih preferencija entiteta, te se može razlikovati od entiteta do entiteta²⁵.

Entiteti prate povijest svog postupanja i inspekcija kojima su bili izloženi. U trenutku t , entitet i zna stanje svoje usklađenosti sa svim pravilima te rezultate svih inspekcija kojima je bio izložen u posljednjih l vremenskih intervala, koliko prati povijest. Informacije o povijesti entiteta i koje su mu poznate u t sadržane su u njegovoj **matrici povijesti**:

²⁵ U modelu ICARUS entiteti u prvom redu predstavljaju organizacije. Stoga se sklonost preuzimanju rizika može smatrati posljedicom korporativne kulture organizacije. U nekim okolnostima sklonost preuzimanju riziku ne mora biti stabilna. Implikacije te mogućnosti detaljnije su obrazložene u poglavlju 9. (Rasprava).

$$\chi_i(t) = \begin{bmatrix} h_{i1}(t-1) & \cdots & h_{im}(t-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{i1}(t-l) & \cdots & h_{im}(t-l) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\{t, l \mid t, l \in \mathcal{T} \wedge 1 \leq l \leq t\}; \forall i \in \mathcal{E}$$

Pri tome su moguće vrijednosti elemenata matrice povijesti ovisne o sljedećem:

$$h_{ij}(t-u) = \begin{cases} -2, & \text{ako je provedena inspekcija te je utvrdila kršenje odredbe } j \text{ u } t-u \\ -1, & \text{ako nije provedena inspekcija odredbe } j \text{ u } t-u, \text{ a entitet je bio neusklađen} \\ 1, & \text{ako nije provedena inspekcija odredbe } j \text{ u } t-u, \text{ a entitet je bio usklađen} \\ 2, & \text{ako je provedena inspekcija odredbe } j \text{ u } t-u, \text{ a entitet je bio usklađen} \end{cases} \quad (9)$$

Entiteti donose (ograničeno) racionalne odluke o tome hoće li se uskladiti ili će kršiti svako pravilo u $\mathcal{O}$, uspoređujući trošak usklađenosti i percepciju očekivane vrijednost kazne. Percepcija očekivane vrijednost kazne za entitet i zbog kršenja pravila j dana je produktom propisane kazne za kršenje tog pravila k_j i procjene entiteta i o **percipiranoj vjerojatnosti inspekcije** $p_i(t)$.

Kazne mogu, u općenitom slučaju, biti specifične za svaku odredbu te su prikazane vektorom:

$$\mathbf{k} = (k_1, \dots, k_m), \{k_j \mid k_j \in \mathbb{Z} \wedge k_j > 0\}, \forall j \in \mathcal{O} \quad (10)$$

U razvijenom modelu, **kazna za kršenje** jednaka je za sve odredbe, što je svojstveno i mnogim propisima, odnosno:

$$k = k_1 = k_2 = k_3 = \dots = k_m \quad (11)$$

$p_i(t)$ je valuacijska funkcija dana s:

$$p_i(t) = \begin{cases} \frac{p_{Ci}}{r_i}, & \text{za } t = 1 \\ f(r_i, \chi_i(t), \kappa), & \text{za } t > 1 \end{cases}, \quad \forall i \in \mathcal{E}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (12)$$

Obzirom da u prvom koraku ne postoji povijest inspekcije, inicijalna percepcija (vjerovanje) entiteta o vjerojatnosti inspekcije (u $t = 1$) postavlja se na temelju ulaznih parametara, pri čemu je p_{Ci} inicijalna percepcija entiteta i o vjerojatnosti inspekcije koja je vezana uz kapacitet inspeksijske agencije za provođenjem inspekcija. Dodatno, inicijalnoj percepciji o vjerojatnosti inspekcije je obrnuto proporcionalna sklonost preuzimanja rizika entiteta (r_i).

U daljnjim koracima na percepciju vjerojatnosti inspekcije entiteta i utječu njegova sklonost preuzimanju rizika (r_i), povijest koja mu je poznata $\chi_i(t)$ te **indeks vremenskog**

diskontiranja κ , odnosno mjera osjetljivosti na odgodu koja se modelira hiperbolnom funkcijom. Povijest utječe na percepciju entiteta o vjerojatnosti bilo kakve inspekcije u trenutku t ($p'_i(t)$) i na procjenu „opasnosti“ inspekcije ($E_i(t)$). $E_i(t)$ odražava **točnost inspekcija u otkrivanju neusklađenosti** te se temelji na znanju entiteta o povijesnoj točnosti inspekcija. Naime, obzirom da inspekcija može obuhvatiti jedno ili više pravila iz $\mathcal{O}$, entitetu nije važna samo percepcija vjerojatnosti da će u nekom koraku biti nadziran već i opasnost (rizik) da će inspekcija obuhvatiti jedno ili više pravila koja entitet krši.

U skladu s navedenim, percepcija vjerojatnosti inspekcije u koracima $t > 1$, dana je s:

$$p_i(t \mid t > 1) = p'_i(t) \cdot E_i(t) \cdot \frac{1}{r_i} \quad (13)$$

Pri čemu je $p'_i(t)$ percepcija entiteta i o vjerojatnosti da će biti predmetom bilo kakve inspekcije u t ²⁶:

$$p'_i(t) = \frac{\sum_{v=1}^{t-l} \left(\frac{\sum_{j=1}^m [h_{ij}(v) = |2|]}{m(1+v\kappa)} \right)}{\sum_{z=1}^{t-l} \frac{1}{1+z\kappa}}, \forall i \in \mathcal{E}, \forall t, l \in \mathcal{T} \quad (14)$$

Entiteti zapravo ne znaju koju inspekcijsku strategiju agencija provodi, već na temelju povijesti inspekcija, sukladno algoritmu fiktivne igre, uče o inspekcijama te pokušavaju predvidjeti budući potez inspekcijske agencije. Stoga se $p'_i(t)$ računa na temelju povijesti, pri čemu se povijesna iskustva diskontiraju prema κ . Odnosno, utjecaj povijesnih iskustava na sadašnju procjenu ovisi o indeksu κ te iskustva iz dalje prošlosti utječu jednako ($\kappa = 0$) ili manje ($\kappa > 0$) od recentnih iskustava. Fiktivna igra i hiperbolno diskontiranje detaljnije su objašnjeni u poglavlju 2.4.

$E_i(t)$ djeluje kao korektivni faktor za $p'_i(t)$ te se računa prema:

$$E_i(t) = \sum_{u=1}^{t-l} \left(\frac{m \sum_{j=1}^m [h_{ij}(u) = -2]}{\sum_{j=1}^m [h_{ij}(u) = |2|] \cdot \sum_{j=1}^m [h_{ij}(u) < 0]} \right), \forall i \in \mathcal{E}, \forall t, l \in \mathcal{T} \quad (15)$$

Naime, $p'_i(t)$ odražava samo vjerojatnost da će entitet biti predmetom inspekcije, ali ne i vjerojatnost da biti uhvaćen u kršenju. Primjerice, u slučaju da je entitet u svakom koraku

²⁶ Uglata zagrada u jednadžbama (14) i (15) označava broj pojava određenog elementa, prema tzv. Iversonovoj notaciji [212].

simulacije neusklađen uvijek s istim, ali samo jednim pravilom od ukupno 10 pravila, a inspekcija se provodi u svakom koraku te uvijek obuhvaća 9 pravila s kojima je entitet usklađen, $p'_i(t)$ bio bi $\frac{9}{10}$. Međutim, entitet nikad ne bi bio uhvaćen u neusklađenosti. Stoga entiteti na temelju povijesti inspekcija procjenjuju koliko su inspekcije točne u otkrivanju neusklađenosti te to uspoređuju s vlastitom neusklađenošću. Primjerice, ako su inspekcijom entiteta i u trenutku u bila obuhvaćena 4 pravila uz $m = 10$ te je inspekcija utvrdila 2 prekršaja, a entitet je ukupno kršio 3 pravila, tad će za $E_i(u) = \frac{10 \cdot 2}{4 \cdot 3} = 1,67$. Odnosno, entitet će zbog činjenice da je kršio 33% pravila, a inspekcija je utvrdila neusklađenost u 50% pravila koja je nadzirala, povećati procjenu percipirane točnosti inspekcije. Pri tome su u brojniku obuhvaćeni samo prekršaji u kojima su entiteti ulovljeni. Ako je entitet i u t kršio pravilo j , a inspekcija to nije prepoznala, odnosno pogrešno je utvrdila da je entitet bio usklađen s j , takav događaj bit će razmatran kao utvrđena usklađenost.

Nakon izračuna percipirane vjerojatnost inspekcije, entiteti uspoređuju umnožak te vjerojatnosti i kazne s troškom usklađenosti te na temelju minimizacije vrijednosti **funkcije očekivane koristi** entiteta i u t (16) donose odluku o usklađenosti ili kršenju sa svakim pravilom.

$$\pi_i(t) = \sum_{j=1}^m \arg \min \{c_{ij}, p_i(t) \cdot k_j\}, \forall i \in \mathcal{E}, \forall j \in \mathcal{O}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (16)$$

Odnosno, entitet za svako pravilo iz $\mathcal{O}$ u trenutku t donosi jednu od dvije moguće odluke: hoće li kršiti pravilo ili će biti s njim usklađen, ovisno o tome što predstavlja manji očekivani trošak. Naime, u općenitom slučaju se funkcijom očekivane koristi pokušava maksimizirati korist, no u modelu ICARUS usklađenost donosi stvaran, a neusklađenost očekivani trošak. Stoga entiteti u svakom koraku pokušavaju minimizirati trošak. Ako je u trenutku t za pravilo j umnožak iznosa propisane kazne (k_j) i percipirane vjerojatnosti inspekcije koju procjenjuje entitet i ($p_i(t)$) veći od resursa potrebnih za usklađenost s tim pravilom (c_{ij}), tad će se entitet odlučiti za usklađenost. U suprotnom, entitet će se odlučiti za kršenje pravila. Dakle, usklađenost entiteta i sa svim pravilima iz $\mathcal{O}$ u trenutku t dana je sljedećim vektorom:

$$\mathbf{o}_i(t) = (o_{i1}(t), \dots, o_{im}(t)), o_{ij} \in \{-1, 1\}, \forall i \in \mathcal{E}, \forall j \in \mathcal{O}, \forall t \in \mathcal{T} \quad (17)$$

Pri tome su moguće vrijednosti vektora usklađenosti ovisne o sljedećem:

$$o_{ij}(t) = \begin{cases} -1, & \text{if } c_{ij} > p_{ij}(t) \cdot k_j \text{ (kršenje)} \\ 1, & \text{if } c_{ij} < p_{ij}(t) \cdot k_j \text{ (usklađenost)} \\ \sim U\{-1,1\}, & \text{if } c_{ij} = p_{ij}(t) \cdot k_j \text{ (slučajan odabir)} \end{cases} \quad (18)$$

Ako u trenutku $t - 1$ nije nadzirana usklađenost entiteta i s pravilom j , vrijedit će:
 $h_{ij}(t - 1) = o_{ij}(t - 1)$.

6.2.3. Karakteristike i ponašanje inspekcijske agencije i inspekcija

Inspekcijska agencija pretpostavlja koliki **resursi su potrebni za ispunjavanje** svake odredbe te je to znanje sadržano u vektoru $\mathbf{d}$:

$$\mathbf{d} = (d_1, \dots, d_m), \{d_j \mid d_j \in \mathbb{R} \wedge d_j > 0\}, \forall j \in \mathcal{O} \quad (19)$$

Inspekcijska agencija određuje koji će se entiteti i pravila nadzirati u trenutku t , ovisno o odabranoj inspekcijskoj strategiji te inspekcijskom kapacitetu. **Inspekcijski kapacitet** I_C , $\{I_C \mid I_C \in \mathbb{N} \wedge 0 \leq I_C \leq mn\}$ određuje koliko kombinacija entitet-pravilo $\{i, j\}$, $i \in \mathcal{E}, j \in \mathcal{O}$ inspekcije mogu obuhvatiti u trenutku t . Dakle, odabir entiteta i pravila za inspekciju u t je funkcija kojom se određuje $I(t) \subseteq \mathcal{E} \times \mathcal{O}, t \in \mathcal{T}$. $I(t)$ je određen primjenjenom strategijom inspekcije.

Primjenom **slučajne strategije** (engl. *Random*) inspekcijska agencija potpuno slučajno odabire entitete i pravila, pri čemu svaka kombinacija entitet-pravilo ima istu vjerojatnost da će biti nadzirana koja iznosi:

$$p^{\text{inspekcije}} = \frac{I_C}{m \cdot n} \quad (20)$$

Odnosno, odabir kombinacija entitet-pravilo koji će biti obuhvaćeni inspekcijom moguće je promatrati kao slučajnu varijablu s diskretnom uniformnom distribucijom nad $T, \{T \mid T \in \mathbb{N} \wedge 1 \leq T \leq mn\}$. Ovaj izbor se ponavlja I_C puta. Ako je trenutno odabrana kombinacija u prethodnim interakcijama već odabrana za inspekciju u t , izbor se ponavlja dok se ne odabere I_C kombinacija entitet-pravilo. Nakon toga, provodi se inspekcija nad odabranim kombinacijama.

Primjenom **strategije slučajnog odabira entiteta** (engl. *Random entity*) inspekcijska agencija potpuno slučajno odabire entitete koji će biti predmetom inspekcije te zatim provodi inspekciju svih pravila u odabranim entitetima. Vjerojatnost odabira pojedinačnog entiteta u inspekcijski uzorak dana je s:

$$p^{inspekcije} = \frac{\frac{I_C}{m}}{n} = \frac{I_C}{m \cdot n} \quad (21)$$

Odabir entiteta koji će biti obuhvaćeni inspekcijom moguće je promatrati kao slučajnu varijablu s diskretnom uniformnom distribucijom nad V , $\{V \mid V \in \mathbb{N} \wedge 1 < V < n\}$. Ovaj izbor se ponavlja $\frac{I_C}{m}$ puta.

Strategijom cikličnog odabira (engl. *Cycle*) inspekcijska agencija entitete za inspekciju odabire slijedno, sve dok se ne provede inspekcija svih entiteta, što označava dovršetak ciklusa. Nakon toga, započinje novi ciklus. U ciklusu može biti obuhvaćeno jedno ili više pravila iz $\mathcal{O}$. Ako je u simulaciji zadano da će jedan inspekcijski ciklus obuhvatiti g pravila, $g \cap \mathcal{O}$, tad će jedan inspekcijski ciklus trajati T koraka:

$$T = \frac{n \cdot g}{I_C} \quad (22)$$

Ako inspekcijskoj agenciji preostaje neiskorišteni kapacitet za provođenje inspekcije unutar jednog koraka, a nakon dovršetka ciklusa (odnosno, ako T nije cijeli broj), u istom koraku će započeti novi inspekcijski ciklus. Nakon što je provedena inspekcija svih pravila iz g u svim entitetima, u sljedećem inspekcijskom ciklusu slijedno se obuhvaćaju daljnja pravila. Primjerice, ako se entiteti moraju pridržavati 5 pravila, a u jednom inspekcijskom ciklusu su obuhvaćena 3 pravila, tad će se u prvom inspekcijskom ciklusu provjeriti usklađenost s pravilima 1, 2 i 3, u drugom inspekcijskom ciklusu provjerit će se usklađenost s pravilima 4, 5 i 1, u trećem ciklusu s pravilima 2, 3 i 4, u četvrtom ciklusu s pravilima 5, 1 i 2, itd. Entiteti se u ciklusu odabiru slijedno, no redoslijed njihovog odabira kao niti pravila koja će biti obuhvaćeni inspekcijom u tom ciklusu im nisu poznati.

Inspekcijski ciklusi u praksi imaju različito trajanje. Primjerice, na području inspekcije usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, svakog obveznika mora se pregledati jednom svake dvije godine [50], jednom svake tri godine [47] ili jednom svakih 5 godina [50]. Na području inspekcije zaštite na radu obveznike se mora pregledati jednom svake dvije godine [39]. Na području bankovne supervizije, obveznike se nadzire barem jednom svake godine, svake druge godine ili svake treće godine [145].

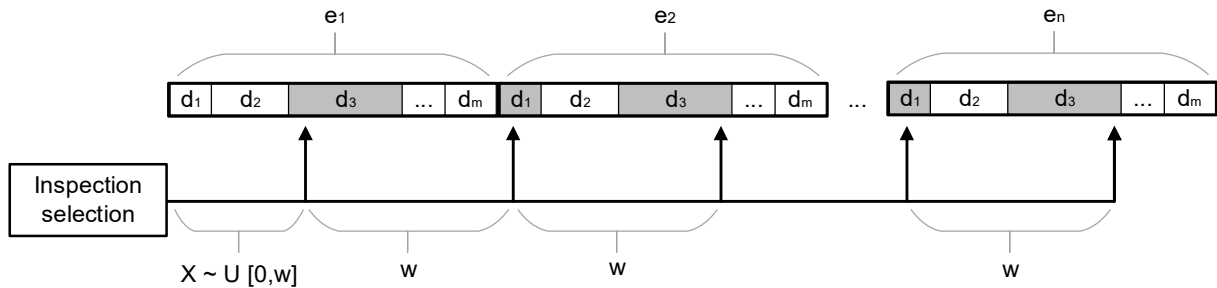
Primjenom **strategije slučajnog vaganog odabira** inspekcijska agencija slučajno odabire entitete i odredbe koji će biti obuhvaćeni inspekcijom, no vjerojatnosti inspekcije pojedinačnih odredaba razlikuju se, ovisno o relevantnoj vrijednosti vektora $\mathbf{d}$. Odnosno,

pravilo za koje inspeksijska agencija vjeruje da zahtjeva veće resurse za postizanje/održavanje usklađenosti bit će proporcionalno češće obuhvaćeno inspekcijom: $p_j^{inspekcije} \propto d_j$. U skladu s navedenim, vjerojatnost da će pravilo j biti obuhvaćeno inspekcijom dana je s:

$$p_j^{inspekcije} = \frac{I_C}{n} \cdot \frac{d_j}{\sum_{v=1}^m d_v} \quad (23)$$

Strategija slučajnog vaganog odabira implementirana je primjenom **stohastičkog univerzalnog uzorkovanja** (engl. *Stochastic universal sampling* - **SUS**). Stohastičko univerzalno uzorkovanje je algoritam odabira proporcionalnog prikladnosti (engl. *fitness*) koji se uobičajeno koristi na području genetskih algoritama za odabir potencijalnih jedinki za rekombinaciju. Algoritam je predložio Baker [201], kao unaprjeđenje klasičnog „kola za rulet“, obzirom da SUS uklanjanja pristranosti „kola za rulet“. Dodatno, SUS zahtjeva generiranje samo jednog slučajnog broja po koraku. SUS je primijenjen kao strategija slučajnog vaganog odabira u ICARUS-u zbog svoje efikasnosti te činjenice da, sa stajališta teorije statističkog uzorkovanja odgovara sistemskom uzorkovanju [202, p. 32].

Slika 6.4 prikazuje način rada i primjene SUS algoritma u ICARUS-u.



Slika 6.4 – Grafički prikaz algoritma stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS)

Odabir entiteta i odredaba za inspekciju može se vizualno prikazati pomoću trake koja slijedno sadrži sva pravila i sve entitete. Duljina dijela trake koji prikazuje određeno pravilo ovisi o relevantnoj vrijednosti vektora $\mathbf{d}$. Odnosno, duljina dijela trake koja se odnosi na pravilo j proporcionalna je iznosu d_j . Tijekom inicijalizacije modela računa se tzv. „prozor“ (engl. *window*) w koji označava udaljenost između 2 inspeksijska odabira, a ovisi o broju entiteta, broju pravila, kapacitetu inspeksijske agencije i pretpostavkama inspeksijske agencije o resursima potrebnima za ispunjavanje svake odredbe te je dan s:

$$w = \frac{n}{I_C} \cdot \sum_{j=1}^m d_j \quad (24)$$

Inspekcijski prozor omogućuje dijeljenje trake na I_C dijelova. U inspekcijskom koraku t agencija na temelju vrijednosti slučajne varijable $X(t)$ s uniformnom distribucijom nad $[0, w]$ odabire inspekcijski uzorak koji je, u odnosu na traku na slici (Slika 6.4). moguće izraziti s:

$$I(t) = \{X(t), X(t) + w, X(t) + 2w, \dots, X(t) + (I_C - 1)w\} \quad (25)$$

U modelu ICARUS implementirane su samo čiste inspekcijske strategije koje vrijede tijekom cijele simulacije. Stoga tijekom simulacije nije moguće mijenjati strategiju inspekcije, njezine parametre, niti na različitim pod-skupovima entiteta ili pravila primjenjivati različite strategije inspekcije.

Na temelju odabrane inspekcijske strategije, agencija upućuje inspekcije kako bi provjerila usklađenost odabranih entiteta s odabranim pravilima. Nije razumno pretpostaviti da su inspekcije bezgrešne, odnosno da uvijek potpuno točno utvrđuju usklađenost ili prekršaj. Međutim, obzirom da nadzirani ima razloga žaliti se (i podastri dokaze) kad ga se nepravедno optuži da je u prekršaju, razumno je za očekivati da će greške u inspekciji gotovo uvijek biti jednostrane, odnosno greške će se manifestirati kao pogrešno utvrđena usklađenost, a ne kao pogrešno utvrđena neusklađenost [39]. Stoga inspekcije u modelu mogu rezultirati greškom tipa I (engl. *false positive*), ali ne i greškom tipa II (engl. *false negative*). **Stopa točnosti inspekcija**²⁷ u utvrđivanju prekršaja u modelu definirana je s γ . Utjecaj grešaka tipa I u modelu implementiran je pomoću vrijednosti slučajne varijable $X_{ij}(t)$. Pri inspekciji pravila j u entitetu i u t , ako i nije kršio navedeno pravilo, utvrđuje se usklađenost. Međutim, ako i jest kršio navedeno pravilo, tada se ovisno o vrijednosti slučajne varijable $X_{ij}(t)$ te njenog iznosa u odnosu na γ utvrđuje prekršaj ili usklađenost. Stoga je stanje usklađenosti entiteta i s odredbom j u trenutku t koje je utvrdila inspekcija moguće prikazati kao:

$$u_{ij}(t) = \begin{cases} -2, & (\text{kršenje}) \quad o_{ij}(t) = -1 \wedge X_{ij}(t) < \gamma, X_{ij}(t) \sim U(0,1) \\ 2, (\text{usklađenost}) \quad o_{ij}(t) = -1 \wedge X_{ij}(t) \geq \gamma, X_{ij}(t) \sim U(0,1) \\ 2, (\text{usklađenost}) \quad o_{ij}(t) = 1 \end{cases} \quad (26)$$

²⁷ Različito od pecepcije entiteta o točnosti inspekcija, koja je svojstvena svakom entitetu te izražena s $E_i(t)$.

6.2.4. Opis dodatnih karakteristika modela prema ODD+D protokolu

U nastavku ovog poglavlja sadržane su informacije koje bi sukladno ODD+D protokolu trebale biti navedene u sklopu opisa koncepta dizajna modela, a nisu sadržane u prethodnim poglavljima.

Društvene norme i kolektivi. Pri donošenju odluke o kršenju ili usklađenosti, entiteti u obzir uzimaju samo svoju (internu) percepciju vjerojatnosti inspekcije, kazne i troškova usklađenosti te ne razmatraju društvene norme ili kulturne vrijednosti. ICARUS entitete modelira kao potpuno samostalne agente. Na odluke i aktivnosti entiteta ne utječu drugi entitet (čak niti susjedni), već se one temelje na internim parametrima i vrijednostima varijabla stanja tog entiteta. Oni poprimaju vrijednosti na temelju ulaznih parametara, stohastičkih procesa te interakcije entiteta i inspekcija. Entiteti ne koordiniraju svoje aktivnosti (međusobno niti s drugim agentima), a inspekcijska agencija koordinira redoslijed i aktivnosti inspekcija (kojim redoslijedom će koja inspekcija nadzirati usklađenost u kojem entitetu i s kojim pravilima).

Učenje i odlučivanje. Učenje je modelirano kao fiktivna igra. Entiteti uče individualno, odnosno svaki entitet uči isključivo na temelju povijesti svojih odluka i doživljenih inspekcija. Entiteti su ograničeno racionalni jer raspolažu s nesavršenim i nepotpunim informacijama o strategiji inspekcijske agencije, obzirom da uče i predviđaju buduće postupke isključivo na temelju vlastitih iskustava. Entiteti imaju eksplicitan cilj – minimizaciju vrijednosti funkcije očekivane koristi $\pi_i(t)$ koja je definirana (16) – te su njihove odluke usmjerene isključivo na postizanje tog cilja. Pri tome entiteti u svakom koraku simulacije odlučuju samo o usklađenosti odnosno kršenju pravila u aktualnom koraku, a ne i o postupcima u daljnjim koracima. Inspekcijska agencija i inspekcije samo provode zadanu inspekcijsku strategiju.

Percepcija okruženja i interakcija. Prostorni smještaj entiteta nema utjecaj na odvijanje modela te rezultate simulacije, međutim interakcija entiteta i inspekcija u simulaciji je vizualno prikazana pomicanjem avatara inspekcije na avatar entiteta, odnosno sve interakcije su lokalne. Ovi pomaci uvjetovani su odabranom inspekcijskom strategijom te prostornim smještajem entiteta.

Parametri i varijable stanja implementiranog modela detaljno su dokumentirani u poglavlju 6.3. Inspekcije su jedini oblik interakcije između agenata u modelu te utječu na

vrijednosti niza varijabla stanja. Pri tome postupak inspekcije obuhvaća sljedeće interakcije (Slika 6.5 u poglavlju 6.3.1 prikazuje sve niže navedene aktivnosti):

1. Agencija → inspekcija: pokretanje inspekcije (aktivnost 2.4).
2. Inspekcija → agencija: upit o predmetu inspekcije (aktivnost 2.5).
3. Agencija → inspekcije: zadan predmet inspekcije (dovršetak aktivnost 2.5).
4. Inspekcija → entitet: upit o stanju varijabla (aktivnost 2.6).
5. Entitet → inspekcija: informacija o stanju varijabla (dovršetak aktivnost 2.6).
6. Inspekcija → agencija: rezultat inspekcije (dovršetak aktivnosti 2.4).

Sve navedene interakcije su izravne, a odabir konkretnih agenata za interakciju ovisi o odabranoj inspekcijskoj strategiji te stohastičkim procesima opisanim u nastavku ovog poglavlja.

Svi agenti znaju vrijednosti svih vlastitih te dijela globalnih parametara i varijabla stanja. Razmjena informacija o vrijednostima vlastitih parametara i varijabla stanja odvija se samo kroz inspekciju te komunikaciju agencije s inspekcijama. Entiteti samo kroz interakcije s inspekcijama i kroz povijest vlastitih postupaka mogu steći novo znanje o okruženju. Obzirom da inspekcije mogu pogrešno utvrditi usklađenost (iako je entitet bio neusklađen s nadziranim pravilom), ovisno o postavljenoj točnosti inspekcija (γ) te vrijednosti slučajne varijable, rezultati inspekcija mogu u sustav unijeti i pogrešne informacije.

Provođenje inspekcija ne uzrokuje troškove za inspekcijsku agenciju, odnosno broj i obuhvat inspekcija ovisi isključivo o kapacitetu inspekcijske agencije i odabranoj inspekcijskoj strategiji.

Vrijeme, koje je u model uključeno kao diskretna varijabla, ima značajan utjecaj na ponašanje entiteta. Odluke entiteta i ovise o njegovoj povijesti sadržanoj u matrici $\chi_i(t)$ te indeksu vremenskog diskontiranja κ , koji određuje kako utjecaj povijesti na odluke entiteta slabi protekom vremena. Utjecaj vremena na ponašanje inspekcijske agencije ovisi o odabranoj inspekcijskoj strategiji. Vrijeme ne utječe na slučajne inspekcijske strategije i slučajnu vaganu strategiju, no utječe na ciklične strategije. Naime, odabir entiteta i pravila koji će biti obuhvaćeni inspekcijom u daljnjim koracima pri primjeni cikličnih strategija ovisi o prethodnim koracima inspekcijskog ciklusa.

Odvijanje računalne simulacije modela imati će dva dijela: inicijalizaciju koja se provodi samo jednom (na početku) i korak kojih može biti jedan ili više.

Heterogenost i slučajnost. Slučajne varijable imaju značajan utjecaj na model te se ekstenzivno koriste, kako bi se bolje modelirala jedinstvenost, heterogenost i ograničena racionalnost entiteta te pogreške u inspekcijama usklađenosti. Slučajne varijable utječu na vrijednost sljedećih varijabla i interakcije:

1. Redoslijed odabira entiteta i inspekcija u svim fazama i aktivnostima modela je slučajan te ovisi o vrijednostima slučajne varijable s diskretnom uniformnom distribucijom.
2. Znanje inspeksijske agencije o resursnim potrebama ispunjavanje propisa ($\mathbf{d}$) ovisi o vrijednostima slučajne varijable s diskretnom uniformnom ili eksponencijalnom distribucijom, ako nije eksplicitno zadano kroz ulazne parametre modela. Vrijednost vektora $\mathbf{d}$ postavlja se pri inicijalizaciji modela.
3. Resursi potrebni za usklađivanje s propisima (c_i) razlikuju se od entiteta do entiteta te od znanja inspeksijske agencije o resursnim potrebama ispunjavanja propisa ($\mathbf{d}$), ovisno o vrijednostima slučajne varijable s diskretnom uniformnom ili eksponencijalnom distribucijom. Vrijednost vektora $\mathbf{c}_i$ postavlja se pri inicijalizaciji modela.
4. Sklonost preuzimanju rizika (r_i) razlikuju se od entiteta do entiteta, ovisno o vrijednostima slučajne varijable s diskretnom uniformnom distribucijom. Vrijednost parametra r_i postavlja se pri inicijalizaciji modela.
5. Sljedeći odabiri u inspekcijskim strategijama ovise o slučajnoj varijabli s diskretnom uniformnom distribucijom:
 - a. Odabir entiteta i pravila koji će biti obuhvaćeni inspekcijom korištenjem strategije slučajnog odabira.
 - b. Odabir entiteta koji će biti obuhvaćeni inspekcijom korištenjem strategije slučajnog odabira entiteta.
 - c. Odabir entiteta i pravila koji će biti obuhvaćeni inspekcijom korištenjem strategije slučajnog vaganog odabira.
 - d. Redoslijed odabira entiteta i redoslijed odabira pravila koji će biti obuhvaćeni inspekcijom korištenjem ciklične strategije.

Ovi odabiri odvijaju se u svakom koraku modela.

6. Utvrđivanje usklađenosti (ali ne i neusklađenosti) pri inspekciji ovisi o vrijednostima slučajne varijable s diskretnom uniformnom distribucijom. Usklađenost/neusklađenost se utvrđuje u svakom koraku modela, pri svakoj inspekciji.

U skladu s navedenim, entiteti su heterogeni prema svojim parametrima i varijablama stanja te se međusobno razlikuju obzirom na resurse potrebne za usklađivanje s propisima (c_i) i sklonost preuzimanju rizika (r_i). S druge strane, entiteti su homogeni obzirom na mehanizam odlučivanja (svi entiteti imaju isti cilj – minimizaciju vrijednosti funkcije očekivane koristi $\pi_i(t)$), algoritam učenja, kao i na obuhvat podataka koji se koriste u učenju i odlučivanju. Inspekcije su homogene.

Uniformna razdioba često se primjenjuje za generiranje heterogenosti i slučajnosti u agentnim modelima, posebice kad nisu dostupni empirijski podaci o karakteristikama distribucije parametara [55][120][54][104][203]. Eksponecijalna razdioba je primijenjena, obzirom na empirijski uočenu pravilnost da „*mali postotak lokacija, žrtava, prekršitelja, provoditelja zakona ili drugih jedinica u bilo kojoj distribuciji kriminala ili nepravde uzrokuje većinu štete*“ [204].

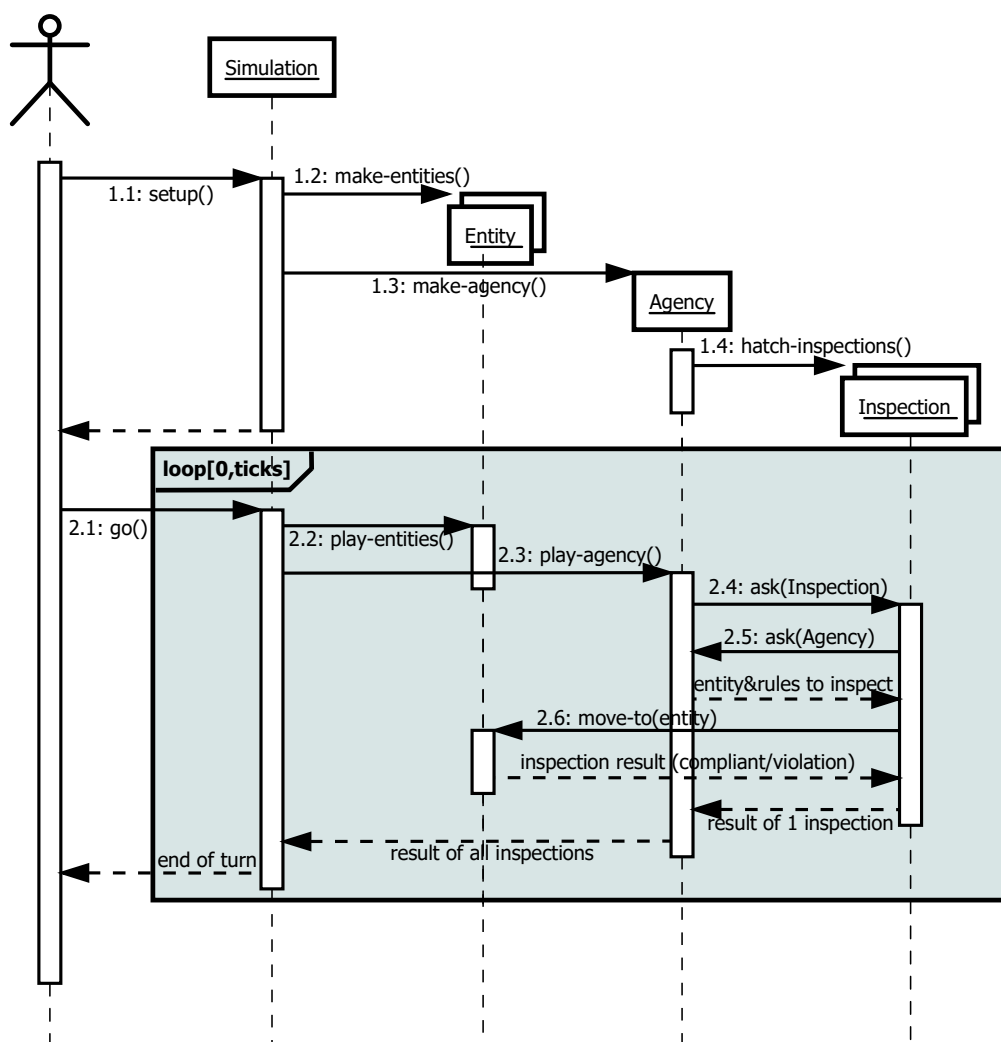
6.3. Implementacija modela u računalnu simulaciju

U ovom potpoglavlju opisana je implementacija modela u okruženju NetLogo.

6.3.1. Procesi u implementiranom modelu

Slika 6.5 prikazuje slijed aktivnosti u modelu i implementiranoj računalnoj simulaciji putem UML dijagrama slijeda.

Simulacija započinje djelovanjem korisnika (osobe koja pokreće simulaciju) koji u aktivnosti 1.1 pokreće `setup()` proceduru u kojoj se inicijalno postavljene egzogeni (ulazni) parametri simulacije koriste za kreiranje i pripremu okruženja te postavljanje internih parametara i početnih vrijednosti varijabla stanja simulacije. U aktivnosti 1.2. simulacija kreira n entiteta te postavlja njihove interne parametre i varijable, a zatim kreira i inspeksijsku agenciju (aktivnost 1.3) te postavlja njene interne parametre i varijable. Inspeksijska agencija nakon toga (aktivnost 1.4) kreira inspekcije, čime dovršava `setup()` procedura. Nakon toga, korisnik u aktivnosti 2.1. (procedura `go()`) pokreće jedan ili više simulacijskih koraka.



Slika 6.5 – UML dijagram slijeda modela ICARUS

Svaki simulacijski korak t počinje s aktivnošću 2.2. u kojoj svaki entitet iz $\mathcal{E}$, ovisno o svojim inicijalnim parametrima te o povijesti svojih postupaka kao i zabilježenoj povijesti inspekcija koje je iskusio, donosi odluku hoće li u tom simulacijskom koraku kršiti ili će biti usklađen sa svakim pravilom iz $\mathcal{O}$. Iz procedure $go()$ pokreće se i aktivnost 2.3 u kojoj inspekcijska agencija, ovisno o inspekcijskoj strategiji zadanoj kroz ulazne parametre simulacije, određuje koji entiteti i koja pravila će biti predmet inspekcije u koraku simulacije t . Inspekcija agencija nakon toga inicira komunikaciju s inspekcijama (aktivnost 2.4), a svaka inspekcija od agencije traži instrukcije koji entitet i koja pravila treba nadzirati u tom koraku (aktivnost 2.5). U jednom koraku jedna inspekcija može nadzirati samo jedan entitet. Nakon dobivenih uputa, svaka inspekcija se fizički premješta na lokaciju zadanog entiteta (aktivnost 2.6), provodi inspekciju zadanih pravila (odnosno ispituje vrijednosti varijabla entiteta na zadanoj lokaciji) te obavještava agenciju o rezultatu inspekcije. Nakon što inspekcijska agencija

zaprimi rezultate svih inspekcija, prosljeđuje ih simulaciji te se rezultati bilježe i grafički prikazuju. Time završava simulacijski korak te simulacija može nastaviti sljedećim korakom ili može završiti.

U nastavku je kratak opis funkcionalnosti svih procedura i funkcija u simulaciji. Procedure koje se pokreću manualno, posredstvom korisničkog sučelja su:

1. `setup()`: postavljanje simulacijskog okruženja.
2. `go()`: provođenje jednog ili više simulacijskih koraka.
3. `profile()`: detekcija dijelova programskog koda koji predstavljaju „usko grlo“ u vremenu izvršavanja programa; uključuje jedno pokretanje procedure `setup()` te 100 ponavljanja procedure `go()`.
4. `validate()`: provođenje funkcije provjere specifične valjanosti modela (ove funkcije detaljno su opisane u poglavlju 5.2.2.2.2); uključuje jedno pokretanje procedure `setup()` te zadani broj ponavljanja procedure `go()`.

Procedure koje kontroliraju postupke entiteta, agencije i inspekcija:

1. `make-entity()`: postavljanje inicijalnih parametara svih entiteta. Pokreće se iz procedure `setup()`.
2. `make-agency()`: postavljanje inicijalnih parametara inspekcijske agencije. Pokreće se iz procedure `setup()`.
3. `play-entity()`: aktivnosti entiteta u jednom koraku simulacije. Pokreće se iz procedure `go()`.
4. `play-agency()`: aktivnosti inspekcijske agencije i svih inspekcija u jednom koraku simulacije. Pokreće se iz procedure `go()`.

Pomoćne procedure koje se koriste u simulaciji te imaju izlazne vrijednosti:

1. `occurrences(Integer, List): Integer`: vraća broj pojava zadanog broja u zadanoj listi.
2. `abs-occurrences(Integer, List): Integer`: vraća broj pojava brojeva sa apsolutnom vrijednošću jednakoj zadanoj vrijednosti u zadanoj listi.
3. `greater(Integer, List): Integer`: vraća broj pojava brojeva s vrijednošću većom od zadane vrijednosti u zadanoj listi.

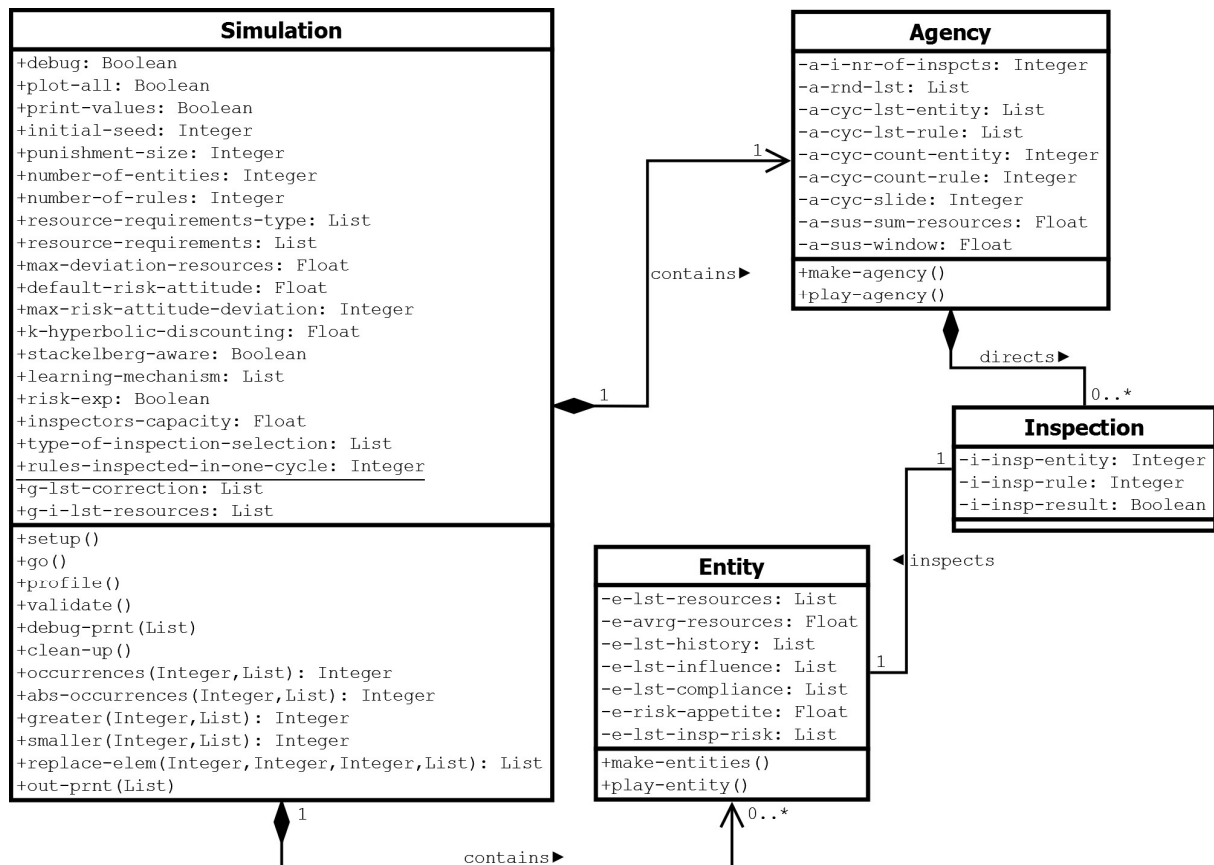
4. `smaller(Integer, List): Integer`: vraća broj pojava brojeva s vrijednošću manjom od zadane vrijednosti u zadanoj listi.
5. `replace-elem(Integer, Integer, Integer, List): Integer`: zamjena (u dvodimenzionalnoj listi) zadanog elementa na zadanom mjestu novim brojem.

Pomoćne procedure koje se koriste u simulaciji:

1. `debug-prnt(List)`: ispis *debug* podataka.
2. `clean-up()`: priprema vizualnog izgleda korisničkog sučelja.
3. `out-prnt(List)`: bilježenje izlaznih vrijednosti simulacije u datoteku.

Slika 6.6 prikazuje UML dijagram klasa implementiranog modela. Obzirom da NetLogo nije objektno-orijentirani programski jezik, prikazani UML dijagram postavlja samo aproksimaciju implementiranog modela, koja bi trebala olakšati razumijevanje. Prethodno navedene procedure su u dijagramu klasa prikazane kao metode odnosno operacije, a parametri i varijable stanja prikazani su kao atributi dijagrama klasa. Klasa *Simulation* nije stvarna klasa već predstavlja globalni kontekst – globalni kontekst se u UML dijagramima klasa koji opisuju agentne sustave često prikazuje kao zasebna klasa [114][115].

Inspekcijska agencija, entiteti i inspekcije su u NetLogu deklarirani kao agenti tipa *turtle*. Svaki agent može koristiti niz primitiva koji su svojstveni njegovom tipu što uključuje predefinirane varijable stanja agenta, ali i specifične procedure. Ugrađeni primitivi nisu navedeni na dijagramu klasa.



Slika 6.6 – UML dijagram klasa implementiranog modela

6.3.2. Ulazni parametri i varijable stanja

Tablica 6.1 prikazuje poveznicu imena varijabla u implementiranom modelu te slovačkih oznaka navedenih i opisanih u poglavljima 6.1 i 6.2.

Tablica 6.1 – Poveznica oznaka i naziva varijabla modela ICARUS

Globalno		Entiteti	
Oznaka	NetLogo varijabla	Oznaka	NetLogo varijabla
k	punishment-size	c_i	e-lst-resources
n	number-of-entities	$f(c_i)$	e-avrg-resources
m	number-of-rules	χ_i	e-lst-history
d	g-i-lst-resources	$f(\chi_i, \kappa)$	e-lst-influence
κ	k-hyperbolic-discounting	E_i	e-lst-insp-risk
I_C	inspectors-capacity	o_i	e-lst-compliance
γ	inspection-accuracy	r_i	e-risk-appetite
g	rules-inspected-in-one-cycle		
l	g-memory-turns		

Agencija	
Oznaka	NetLogo varijabla
$f(d, w)$	a-i-nr-of-inspcts
w	a-SUS-window

U nastavku je dan kratak opis značenja varijabla koje nisu već opisane u poglavljima 6.1 i 6.2. Parametri čija vrijednost se može unositi i mijenjati putem korisničkog sučelja u NetLogo-u implementirani su globalno te su na dijagramu klasa (Slika 6.6) navedeni u kontekstu „klase“ *Simulation*. Varijable „klase“ *Simulation* koje se nalaze iznad vodoravne crte te nemaju prefiks „g-“ označavaju ulazne parametre simulacije, odnosno parametre koje je moguće postaviti putem korisničkog sučelja.

Računalna implementacija sadrži nekoliko logičkih varijabla (tip *Boolean*) koje se mogu postaviti putem korisničkog sučelja, a koje kontroliraju način odvijanja simulacije, uključujući: `debug` (hoće li se ispisati *debug* podatci), `plot-all` (hoće li se rezultati simulacije iscrtati na grafikonima na korisničkom sučelju) te `print-values` (hoće li se rezultati simulacije ispisati u izlaznu datoteku). Parametar `initial-seed` omogućuje unos sjemena koje će se koristiti pri generiranju (kvazi) slučajnih vrijednosti. Ako je vrijednost parametra 0, sjeme će se generirati (kvazi) slučajno na početku simulacije. Uz identično (predefinirano) inicijalno sjeme, svi koraci simulacije imat će iste rezultate. Time se omogućuje ponovljivost eksperimenata.

Parametri `resource-requirements`, `resource-requirements-type` i `resource-requirements-param` vezani su uz postavljanje vrijednosti vektora $\mathbf{d}$, odnosno znanja inspeksijske agencije o resursnim zahtjevima potrebnima za ispunjavanje svake odredbe. Parametar `resource-requirements-type` omogućuje korisniku odabir jedne od sljedećih opcija: *Input from line*, *Uniform distribution*, *Exponential distribution* i *Validation*. Ako odabere opciju *Input from line*, korisnik mora znanje inspeksijske agencije o resursnim zahtjevima potrebnima za ispunjavanje svake odredbe definirati manualno putem parametra `resource-requirements`. Ako korisnik odabere *Uniform distribution*, tad će resursni zahtjevi ispunjavanja svake odredbe j biti $d_j = X \sim U[0, \text{resource-requirements-param}]$, $\forall j \in \mathcal{O}$. Ako korisnik odabere *Exponential distribution*, tad će resursni zahtjevi ispunjavanja svake odredbe biti određeni kao vrijednost slučajne varijable s eksponencijalnom distribucijom čija aritmetička sredina je vrijednost `resource-requirements-param`. Izborom opcije *Validation*, resursni zahtjevi definiraju se kroz proceduru za provjeru valjanosti `validate()`. Znanje inspeksijske agencije o resursnim zahtjevima potrebnima za ispunjavanje svih odredaba na kraju se bilježi u globalnu varijablu `g-i-lst-resources`.

Parametri `default-risk-attitude`, `max-risk-attitude-deviation` i `risk-exp` vezani su uz postavljanje sklonosti preuzimanju rizika entiteta (r_i , odnosno `e-risk-appetite`). Ako je aktivirana varijabla `risk-exp` (`TRUE`), tad će sklonost preuzimanju rizika svakog entiteta biti vrijednost slučajne varijable s eksponencijalnom distribucijom čija aritmetička sredina je zadana parametrom `default-risk-attitude`. Ako varijabla `risk-exp` nije aktivirana (`FALSE`), tad će sklonost preuzimanju rizika svakog entiteta i biti određena kao slučajna varijabla s uniformnom distribucijom u rasponu čija sredina je zadana vrijednošću varijable `default-risk-attitude`, a gornja i donja granica je postotak odstupanja od te vrijednosti, zadan varijablom `max-risk-attitude-deviation`. Sklonost preuzimanju rizika svakog entiteta kreira se dinamički, na početku simulacije u proceduri `make-entity()`. Sklonost preuzimanju rizika vrijednosti 1, znači da je entitet savršeno racionalan u donošenju odluka. Sklonost preuzimanju rizika veća od 1 znači da je entitet sklon riziku (engl. *risk-taker*), a sklonost manja od 1 znači da je entitet nesklon preuzimanju rizika (engl. *risk-averse*).

`learning-mechanism` korisniku omogućuje odabir jedne od 2 moguće metode učenja: *Fictitious play* i *Reinforcement learning*. Svi entiteti u modelu uče primjenom odabrane metode. Algoritam fiktivne igre je objašnjen u poglavlju 2.4, a učenje podrškom implementirano u simulaciji nije relevantno za ovaj rad.

`type-of-inspection-selection` korisniku omogućuje odabir jedne od 4 moguće metode odabira inspeksijskog uzorka: *Random*, *Random entity*, *Cycle* i *Stochastic universal sampling*. Inspeksijska agencija odabranu metodu primjenjuje tijekom cijele simulacije, za usmjeravanje inspekcija entiteta. Način djelovanja svake od mogućih inspeksijskih strategija opisan je u poglavlju 6.2.3.

Ako je varijabla `stackelberg-aware` aktivirana (`TRUE`), tad svi entiteti znaju da inspeksijska agencija primjenjuje SUS strategiju inspekcije te percipiranu vjerojatnost inspekcije svake odredbe ponderiraju (vlastitom) resursnom zahtjevnošću ispunjavanja predmetne odredbe.

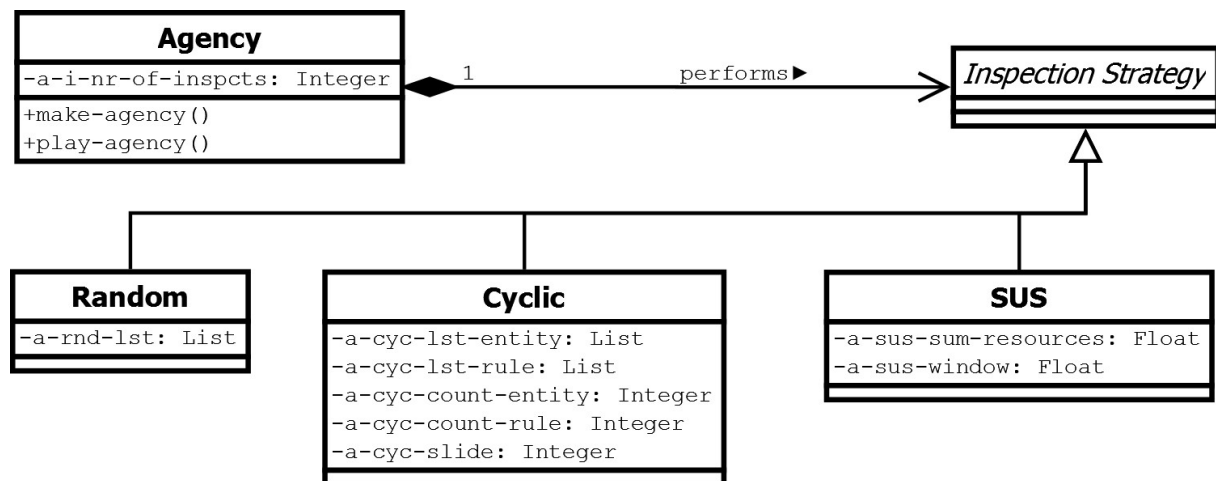
Globalna varijabla `g-lst-correction` sadrži korektivne faktore diskontiranja povijesnih podataka izračunate na temelju vrijednosti varijable `k-hyperbolic-discounting`.

Entitete karakterizira nekoliko varijabla stanja koje su određene temeljem ulaznih parametara i odvijanja simulacije.

Parametar `max-deviation-resources` određuje koliko će resursni zahtjevi potrebni za usklađenost svakog entiteta sa svakim pojedinačnim pravilom odudarati od resursnih zahtjeva u koje uvid ima inspeksijska agencija, te koji su pohranjeni u varijabli `g-i-lst-resources`. Odnosno, resursni zahtjevi koje entitet i mora uložiti za ispunjavanje odredbe j bit će $c_{ij} = X \sim U[d_j - \text{max-deviation-resources}, d_j + \text{max-deviation-resources}]$, $\forall i \in \mathcal{E}, \forall j \in \mathcal{O}$.

Vrijednost varijable `e-avrg-resources` je aritmetička sredina vrijednosti elemenata vektora $\mathbf{c}_i$ (`e-lst-resources`), a varijabla `e-lst-influence` sadrži utjecaj prethodnih koraka simulacije na odluke entiteta.

Inspeksijsku agenciju karakterizira nekoliko varijabla stanja. Odabir podskupa varijabla koje će se koristiti ovisi o primijenjenoj strategiji inspekcije, odnosno o vrijednosti varijable `type-of-inspection-selection`. Slika 6.7 prikazuje konceptualni dijagram klasa, kakav bi bio implementiran da je NetLogo objektno-orijentirani programski jezik, a s ciljem pojašnjenja svrhe pojedinih varijabla.



Slika 6.7 – Konceptualni UML dijagram klasa inspeksijske agencije

Inspekcije koriste 3 varijable stanja: `i-insp-entity`, `i-insp-rule` i `i-insp-result`. Varijable `i-insp-entity` i `i-insp-rule` navode koji entitet i koje pravilo će biti predmetom nadzora, a `i-insp-result` vraća rezultat inspekcije.

Vrijednost varijable `a-i-nr-of-inspcts` ovisna je o inspeksijskom kapacitetu (I_C , odnosno `inspectors-capacity`) te sadrži broj inspekcija koje se mogu provesti u jednom

koraku. Pri primjeni SUS strategije, vrijednost `a-i-nr-of-inspcts` ovisi i o inspekcijskom prozoru (`w`, odnosno `a-SUS-window`).

Varijabla `a-rnd-lst` sadrži listu entiteta koji će biti obuhvaćeni inspekcijom (prema izboru inspekcijske agencija), a koristi se ako je odabrana slučajna inspekcijska strategija.

Varijable s prefiksom *a-cyc* koriste se ako je odabrana ciklična strategija inspekcije. `a-cyc-lst-entity` sadrži listu entiteta prema redoslijedu kako će biti obuhvaćeni inspekcijom, a `a-cyc-lst-rule` sadrži redoslijed pravila za inspekciju. Varijabla `a-cyc-count-entity` bilježi poziciju (u listi `a-cyc-lst-entity`) entiteta koji je upravo obuhvaćen inspekcijom, a varijabla `a-cyc-count-rule` bilježi poziciju pravila koje je upravo obuhvaćeno inspekcijom (u listi `a-cyc-lst-rule`). `a-cyc-slide` koristi se za bilježenje podskupa pravila koja će biti obuhvaćena inspekcijom u pojedinom koraku ciklusa.

`a-sus-sum-resources` sadrži sumu svih elementa vektora ***d*** (`g-i-lst-resources`).

Vidljivo je da neki ulazni parametri zamjenjuju ili su ovisni o vrijednosti drugih ulaznih parametara. Slika 6.8 prikazuje strukturu **matrice međuovisnosti ulaznih parametara** simulacije ICARUS modela koja je izrađena prema uzoru na matricu dizajna strukture (engl. *Design Structure Matrix* – DSM) [205].

Svi ulazni parametri zadaju se putem korisničkog sučelja. Inicijalne vrijednosti parametara sastavni su dio `.nlogo` datoteke.

Na početku simulacije „svijet“ je prazan te se agentima populira kroz proceduru `setup()`, temeljem vrijednosti ulaznih parametara.

LEGEND		General						Entity specific				Agency specific	
I	Variables directly interact												
D	Variables depend upon each other												
N	One variable overrides the other												
General	punishment-size												
	number-of-entities												
	number-of-rules												
	resource-requirements-type												
	resource-requirements												
	resource-requirements-param												
Entity specific	max-deviation-resources												
	default-risk-attitude												
	max-risk-attitude-deviation												
	k-hyperbolic-discounting												
	stackelberg-aware												
	learning-mechanism												
Agency specific	risk-exp												
	inspectors-capacity												
	inspection-accuracy												
	type-of-inspection-selection												
	rules-inspected-in-one-cycle												

Slika 6.8 – Matrica međuovisnosti ulaznih parametara modela ICARUS

6.3.3. Korisničko sučelje i izlazne vrijednosti

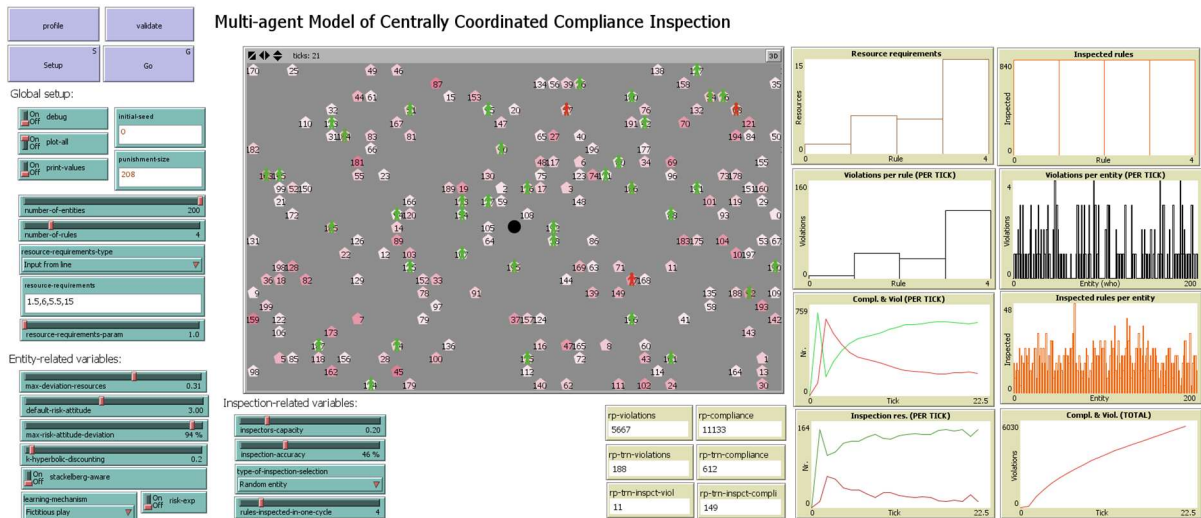
Korisničko sučelje implementirano je s ciljem omogućavanja jednostavnog korištenja i razumijevanja rezultata simulacije. Slika 6.9 prikazuje izgled korisničkog sučelja.

Sučelje je podijeljeno u 3 dijela: s lijeve strane unose se ulazni parametri simulacije, središnji dio sučelja grafički prikazuje rezultate trenutnog koraka simulacije, a s desne strane sučelja su kvantitativni te deskriptivni statistički podaci o dosadašnjem tijeku simulacije.

Ulazni podaci većinom se unose primjenom vizualnih diskretnih traka (za većinu ulaznih parametara), izbornika s predefiniranim opcijama te poljima za slobodan unos numeričkih vrijednosti.

Središnji dio sučelja grafički prikazuje odvijanje simulacije, pri čemu su entiteti, inspeksijska agencija i inspekcije prikazani različitim ikonama. Na početku simulacije (`setup()`) zadani broj entiteta (`number-of-entites`) slučajno se raspoređuju, pri čemu

svaki entitet ima jedinstvenu numeričku oznaku. U svakom koraku simulacije ($go()$), ikone inspekcija se pozicioniraju na odabrani entitet te provode inspekciju. Boja inspekcije (inspektora) označava je li predmetna inspekcija otkrila usklađenost (zeleno) ili neusklađenost (crveno), a nijansa boje entiteta naznačava koliko pravila entitet krši (tamnije crvena boja pokazuje da entitet krši veći broj pravila). Trenutni korak simulacije vidljiv je na sučelju.



Slika 6.9 – Korisničko sučelje računalne simulacije modela ICARUS

Desna strana sučelja prikazuje rezultate simulacije. U donjem središnjem dijelu su numerički pokazatelji:

1. `rp-violations`: ukupan (akumulirani) broj kršenja pravila tijekom simulacije; uključuje kršenja koja su utvrđena inspekcijom, kršenja koja inspekcija nije prepoznala te kršenja koja nisu bila predmetom inspekcije.
2. `rp-compliance`: ukupan (akumulirani) broj usklađenosti s pravilima tijekom simulacije; uključuje usklađenosti koje su utvrđene inspekcijom, kao i one koje nisu bile obuhvaćene inspekcijom.
3. `rp-trn-violations`: broj kršenja pravila u trenutnom koraku simulacije (utvrđena ili neutvrđena inspekcijom).
4. `rp-trn-compliance`: broj usklađenosti s pravilima u trenutnom koraku simulacije (utvrđena ili neutvrđena inspekcijom).
5. `rp-trn-inspct-viol`: broj kršenja pravila koja su utvrđena inspekcijama provedenima u trenutnom koraku simulacije.
6. `rp-trn-inspct-comp`: broj usklađenosti s pravilima koja su utvrđena inspekcijama provedenima u trenutnom koraku simulacije.

Temeljem prikaza rezultata simulacije moguće je izvesti razne zaključke. Primjerice, iz rezultata na prikazu (Slika 6.9) uočljivo je da su određene inspekcije u trenutnom koraku simulacije identificirale kršenja. Kvantitativna provjera (varijabla `rp-trn-inspct-viol`) pokazuje da je riječ o 11 inspekcija. Isto tako, boja ikona entiteta pokazuje da neki entiteti krše više od jednog pravila (ova informacija nije poznata inspekcijskoj agenciji).

Desna strana sučelja grafički prikazuje rezultate simulacije, pri čemu se neki odnose na trenutni korak simulacije (oznaka *Per TICK* u nazivu grafikona), dok ostali prikazuju akumulirane rezultate simulacije. Ako se za primjer uzme situacija prikazana na slici (Slika 6.9), moguće je zaključiti sljedeće:

1. Grafikoni pružaju informacije o usporedbi resursnih zahtjeva pravila te broju kršenja pojedinih pravila te je moguće uočiti da je broj kršenja pravila vizualno sličan resursnim zahtjevima potrebnima za postizanje usklađenosti.
2. Donji grafikoni pokazuju da broj kršenja s vremenom opada te da su na početku simulacije postojale velike oscilacije u broju prekršaja, koje su vjerojatno povezane s primjenom mehanizma fiktivne igre koja je osjetljiva na inicijalne pretpostavke agenta.

Iz prikazanih podataka moguće je izvesti i daljnje zaključke, a izlazni grafikoni korišteni su i u verifikaciji simulacije koja je opisana u poglavlju 7.

Razvijeni programski kôd analiziran je sukladno preporukama u [206]. Temeljem analize rezultata procedure `profile()`, provedena su unaprjeđenja modela koja su dovela do skraćivanja vremena izvršavanja simulacije. Unaprjeđenja uključuju i mogućnost odvijanja simulacije bez prikaza rezultata na korisničkom sučelju te ograničavanje upotrebe primitiva *with*.

Izvorni kod računalne implementacije modela dostupan je na sljedećoj adresi: <https://github.com/ssmojver/DS>.

7. Rezultati analize modela

Poglavlje sadrži rezultate provedene analize modela ICARUS te računalne simulacije kojom je model implementiran. Provedena analiza obuhvaća procjenu/kalibraciju parametara modela, verifikaciju modela, provjeru općenite i specifične valjanosti te analizu osjetljivosti.

7.1. Verifikacija

7.1.1. Parametri sustava

7.1.1.1. Generiranje resursnih zahtjeva

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.1). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa jer je testirano samo generiranje parametara te je test proveden u fazi postavljanja simulacije.

Tablica 7.1 – Ulazni parametri verifikacijskog testa generiranja resursnih zahtjeva

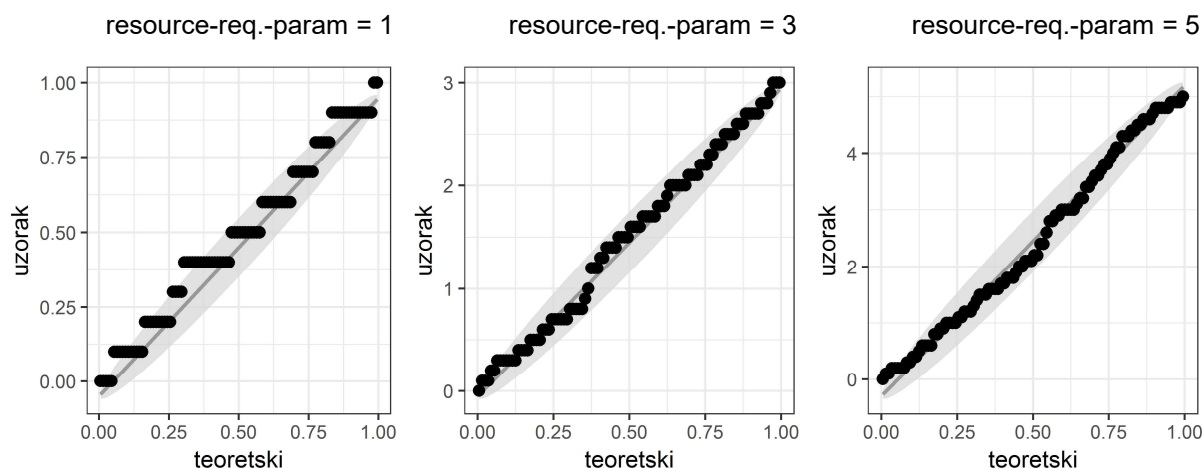
Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
resource-requirements-type	{Uniform distribution, Exponential distribution} ²⁸
resource-requirements-param	[1 3 5] ²⁹
number-of-rules	100

Slika 7.1 prikazuje QQ grafikone slučajno generiranih resursnih zahtjeva prema uniformnoj razdiobi. Rezultati su u skladu s očekivanjima, odnosno iz rezultirajućih grafikona

²⁸ Vrijednosti parametara u vitičastim zagradama predstavljaju popis različitih vrijednosti ulaznog parametra s kojima je pokrenuta simulacija. U ovom slučaju, računalna simulacija je pokrenuta s 2 vrijednosti varijable resource-requirements-type: Uniform distribution i Exponential distribution.

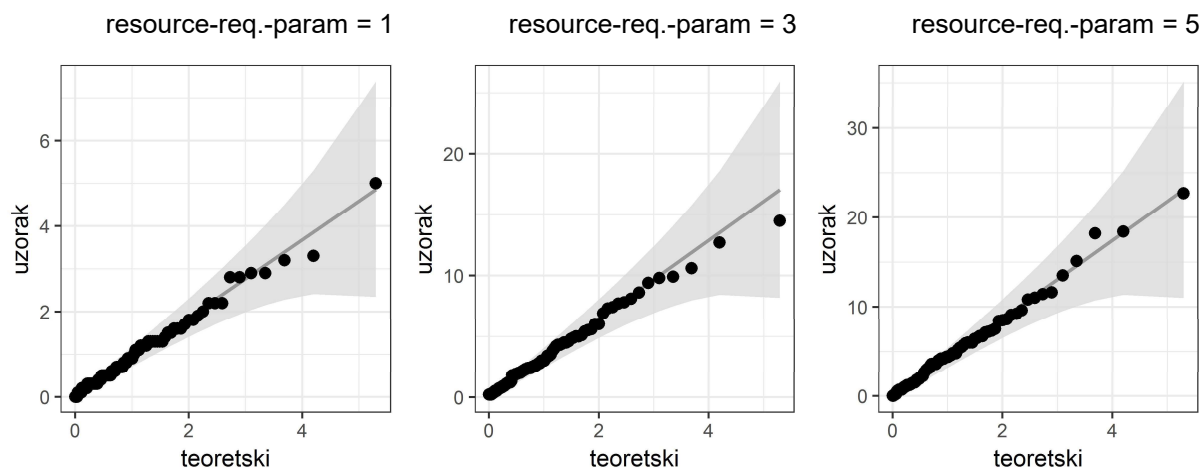
²⁹ Vrijednosti parametara u uglatim zagradama odvojene razmakom predstavljaju vektor vrijednosti koji je predan kao ulazni parametar.

vidljivo je da su generirani slučajni brojevi unutar očekivanih raspona te njihova distribucija ne odudara od distribucije očekivane za slučajnu varijablu s uniformnom razdiobom slučajnih vrijednosti. Treba napomenuti da su – zbog ograničenja korisničkog sučelja u konfiguraciji računalne simulacije – resursni zahtjevi nakon generiranja zaokruženi na jednu decimalu, što je utjecalo na grupiranje dobivenih podataka na QQ grafikonima.



Slika 7.1 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema uniformnoj distribuciji, za zadanu vrijednost ulaznog parametra resource-requirements-param; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za uniformnu razdiobu slučajnih vrijednosti

Slika 7.2 prikazuje QQ grafikone slučajno generiranih resursnih zahtjeva prema eksponencijalnoj razdiobi.



Slika 7.2 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema eksponencijalnoj razdiobi, za zadanu vrijednost ulaznog parametra resource-requirements-param; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za slučajnu varijablu prema eksponencijalnoj razdiobi

Rezultati su u skladu s očekivanjima, odnosno iz rezultirajućih grafikona vidljivo je da generirani slučajni brojevi prema vrijednostima te distribucijama ne odudaraju od očekivanih za slučajnu varijablu s eksponencijalnom razdiobom slučajnih vrijednosti, za zadane aritmetičke sredine.

7.1.2. Ponašanje entiteta

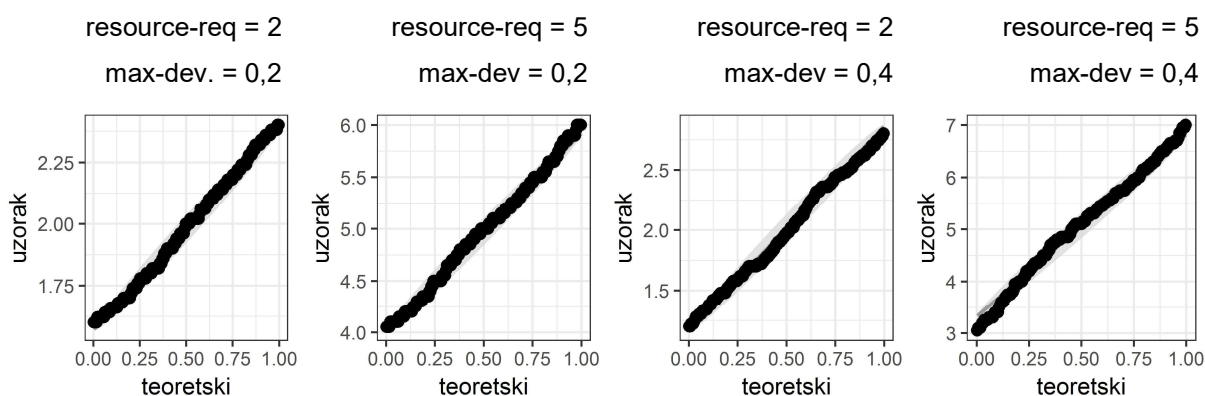
7.1.2.1. Razlike u resursnim zahtjevima entiteta

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.2). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa jer je testirano samo generiranje parametara te je test proveden u fazi postavljanja simulacije.

Tablica 7.2 – Ulazni parametri verifikacijskog testa razlika u resursnim zahtjevima entiteta

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
max-deviation-resources	{0.2, 0.4} ³⁰
resource-requirements	[2 5]
number-of-rules	2
number-of-entities	200

Slika 7.3 prikazuje QQ grafikone slučajno generiranih resursnih zahtjeva entiteta prema uniformnoj razdiobi.



Slika 7.3 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema uniformnoj distribuciji, za zadane vrijednosti ulaznih parametara resource-requirements-param i max-deviation-resources; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za uniformnu razdiobu slučajnih vrijednosti

³⁰ U tabelama ulaznih parametara korištena je decimalna točka, a ne decimalni zarez radi mogućnosti izravnog prenošenja parametara u NetLogo okruženje

Rezultati su u skladu s očekivanjima, odnosno iz rezultirajućih grafikona vidljivo je da su generirani slučajni brojevi unutar očekivanih raspona te njihova distribucija ne odudara od distribucije očekivane za slučajnu varijablu s uniformnom razdiobom slučajnih vrijednosti.

7.1.2.2. Sklonost preuzimanju rizika

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku za uniformnu (Tablica 7.3) i eksponencijalnu (Tablica 7.4) distribuciju. Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa jer je testirano samo generiranje parametara te je test proveden u fazi postavljanja simulacije.

Tablica 7.3 – Ulazni parametri verifikacijskog testa generiranja sklonosti entiteta preuzimanju rizika prema uniformnoj distribuciji

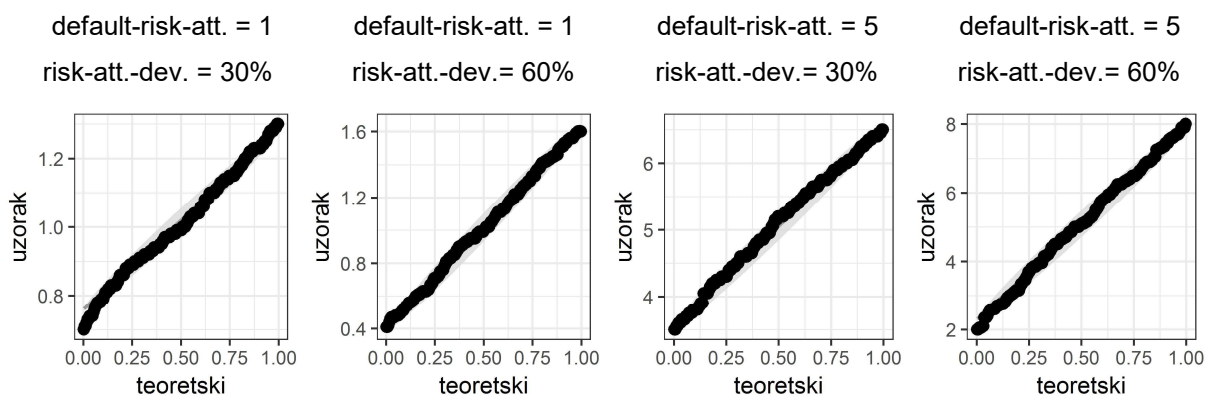
Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
risk-exp	OFF
default-risk-attitude	{1, 5}
max-risk-attitude-deviation	{30%, 60%}
number-of-entities	200

Tablica 7.4 – Ulazni parametri verifikacijskog testa generiranja sklonosti entiteta preuzimanju rizika prema eksponencijalnoj distribuciji

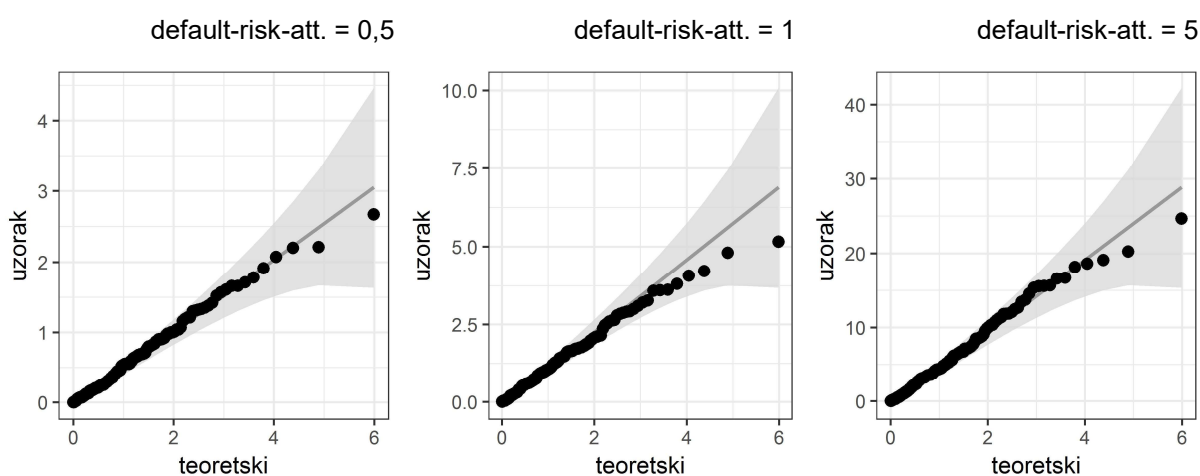
Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
risk-exp	ON
default-risk-attitude	{0.5, 1, 5}
number-of-entities	200

Slika 7.4 prikazuje QQ grafikone slučajno generiranih resursnih zahtjeva entiteta prema uniformnoj razdiobi. Rezultati su u skladu s očekivanjima, odnosno iz rezultirajućih grafikona vidljivo je da su generirani slučajni brojevi unutar očekivanih raspona te njihova distribucija ne odudara od distribucije očekivane za slučajnu varijablu s uniformnom razdiobom slučajnih vrijednosti.

Slika 7.5 prikazuje QQ grafikone slučajno generiranih resursnih zahtjeva prema eksponencijalnoj razdiobi. Rezultati su u skladu s očekivanjima, odnosno iz rezultirajućih grafikona vidljivo je da generirani slučajni brojevi prema vrijednostima te distribucijama ne odudaraju od očekivanih za slučajnu varijablu s eksponencijalnom razdiobom slučajnih vrijednosti, za zadane aritmetičke sredine.



Slika 7.4 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih sklonosti preuzimanja rizika prema uniformnoj razdiobi, za zadane vrijednosti ulaznih parametra default-risk-attitude i risk-attitude-deviation; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za uniformnu razdiobu slučajnih vrijednosti



Slika 7.5 – Verifikacija modela: QQ grafikoni generiranih resursnih zahtjeva prema eksponencijalnoj razdiobi, za zadane vrijednosti ulaznog parametra default-risk-attitude; osjenčano je područje intervala pouzdanosti 95% za slučajnu varijablu prema eksponencijalnoj razdiobi

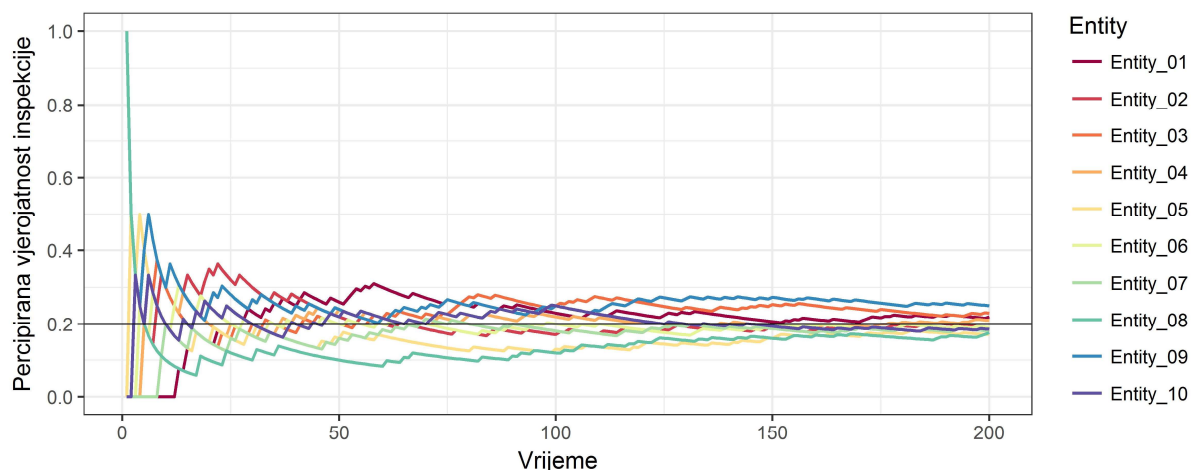
7.1.2.3. Strategija učenja entiteta: Fiktivna igra

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.5). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa, a rezultati su zabilježeni za sve entitete, nakon 200 koraka simulacije.

Tablica 7.5 – Ulazni parametri verifikacijskog testa strategije učenja fiktivne igre

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost:
type-of-inspection-selection	Random entity
inspectors-capacity	0.2
number-of-entities	10
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	0%
k-hyperbolic-discounting	0

Slika 7.6 grafički prikazuje rezultate testa. Sukladno očekivanjima, entiteti započinju s velikim varijacijama u percipiranoj vjerojatnosti inspekcije – odnosno s percepcijom vjerojatnosti inspekcije 1 (bit će inspekcije) ili 0 (inspekcije neće biti). Stjecanjem iskustva, percipirana vjerojatnost sve više konvergira prema stvarnoj vjerojatnost inspekcije (0,2), što je i očekivano.



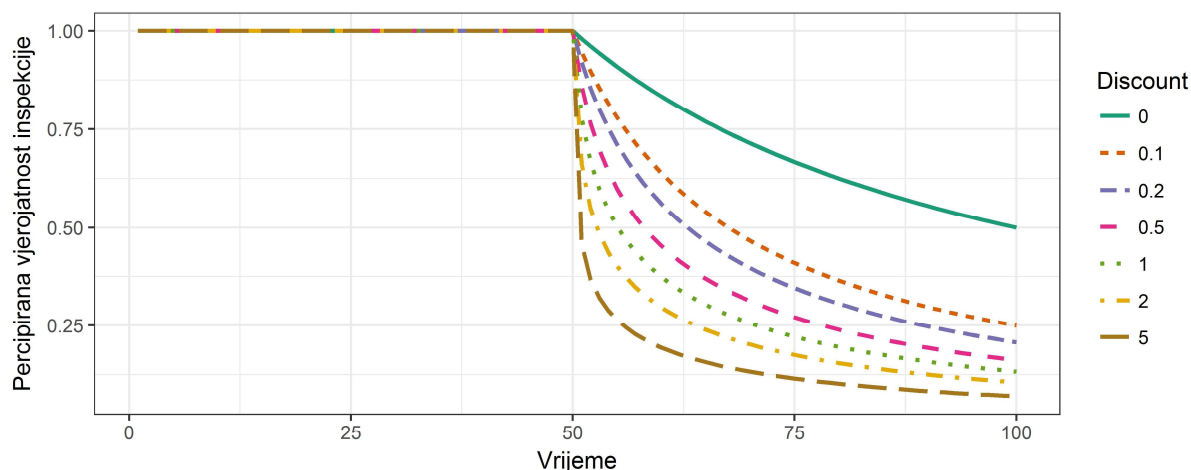
Slika 7.6 – Verifikacija modela: promjena percepcije entiteta o vjerojatnosti inspekcije uz stvarnu vjerojatnost provođenja inspekcije od 0,2; na osi x prikazani su koraci simulacije, a na osi y vjerojatnost inspekcije; obojane linije prikazuju percepciju svakog entiteta o vjerojatnost inspekcije (u svakom koraku), a crna vodoravna linija prikazuje stvarnu vjerojatnost provođenja inspekcije.

7.1.2.4. Vremensko diskontiranje

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.6). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa. Nakon konfiguriranja simulacije za svaku od 7 mogućih vrijednosti varijable *k-hyperbolic-discounting* provedeno je 100 koraka simulacije, a rezultati su percepcije odabranog entiteta o vjerojatnosti inspekcije zabilježene u svakom koraku simulacije.

Tablica 7.6 – Ulazni parametri verifikacijskog testa vremenskog diskontiranja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
learning-mechanism	Fictitious play
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	0%
k-hyperbolic-discounting	{0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5}



Slika 7.7 – Verifikacija modela: promjena percepcije entiteta o vjerojatnosti inspekcije za zadanu vrijednost koeficijenta vremenskog diskontiranja u svakom koraku simulacije; os x prikazuje korake simulacije, a os y vjerojatnost provođenja inspekcije

Slika 7.7 grafički prikazuje rezultate simulacije. Iz prikazanog je vidljivo da je percepcija vjerojatnosti inspekcije³¹ za svih 7 simulacija do 50. koraka bila 1, nakon čega se počela smanjivati, pri čemu je pad bio brži za veće vrijednosti koeficijenta diskonta κ . Vizualno, rezultati simulacija su u skladu s očekivanjima, te odgovaraju prikazu u poglavlju 2.4 (Slika 2.2). Rezultati numeričkog testa prikazani su u tabeli u nastavku (Tablica 7.7).

Tablica 7.7 – Verifikacija modela: percepcije odabranog entiteta o vjerojatnosti inspekcije zabilježene u danom koraku simulacije (t) za zadanu vrijednost koeficijenta vremenskog diskontiranja (κ)

t	$\kappa = 0,1$	$\kappa = 0,5$	$\kappa = 1$
60	0,639	0,454	0,374
70	0,467	0,312	0,256
80	0,365	0,239	0,195
90	0,297	0,193	0,158
100	0,253	0,164	0,135

Sve vrijednosti zabilježene u tabeli jednake su očekivanim vrijednostima, odnosno vrijednostima dobivenima uvrštavanjem odgovarajućih podataka u formulu (4) na str. 27. Primjerice, za $\kappa = 0,5$ i $t = 90$, entitet pamti prethodnih 90 poteza, pri čemu je u prvih 50 poteza bio nadziran, a u daljnjih 40 poteza nije. Percepciju entiteta o vjerojatnosti inspekcije u danom koraku moguće je izračunati normalizacijom sume diskontiranih iskustva entiteta o provedenim inspekcijama, odnosno:

³¹ Inicijalno očekivanje inspekcije (u 1. koraku) nije prikazano obzirom da je slučajno (nema prethodne povijesti inspekcija), a kako ne bi otežalo razumijevanje prikazanih podataka.

$$V = \frac{\sum_{t=41}^{90} \frac{1}{1 + 0,5 * t}}{\sum_{t=1}^{90} \frac{1}{1 + 0,5 * t}} = \frac{1,581253}{8,187119} = 0,193139 \quad (27)$$

Ovaj rezultat je, uzimajući u obzir preciznost izračuna koja je ostvariva temeljem rezultata simulacije, jednak relevantnom rezultatu u tabeli (Tablica 7.7).

Rezultati provedenih testova ukazuju da je mehanizam diskontiranja vremena pravilno implementiran u modelu ICARUS.

7.1.2.5. Percepcija entiteta o vjerojatnosti inspekcije: Stackelbergovo vodstvo

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.8). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa. Nakon postavljanja simulacije za svaku od 2 moguće vrijednosti varijable `stackelberg-aware` provedeno je 100 koraka simulacije, te je zabilježen broj kršenja svakog pravila.

Tablica 7.8 – Ulazni parametri verifikacijskog testa svjesnosti entiteta o inspekcijama sa Stackelbergovim vodstvom

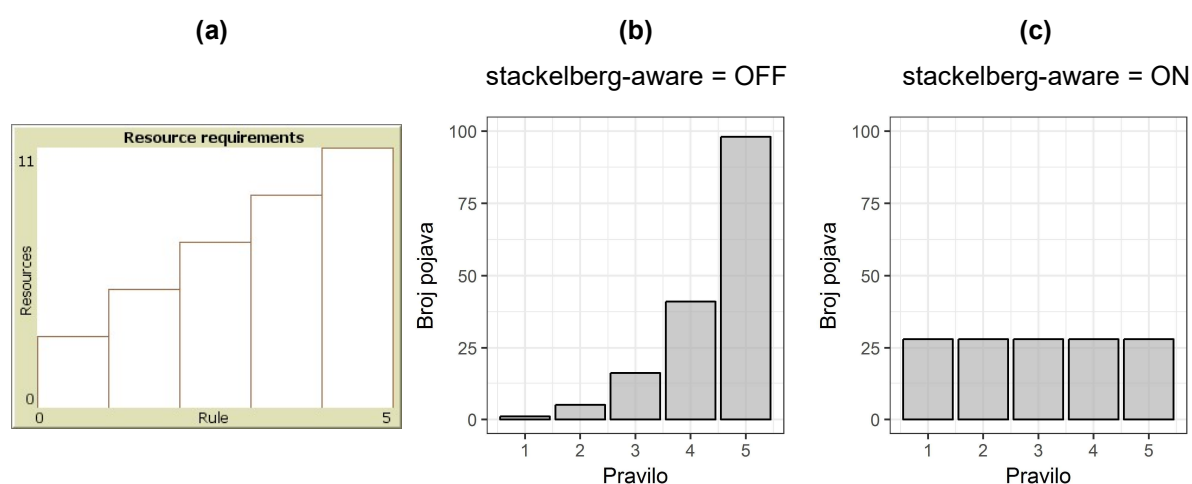
Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
<code>type-of-inspection-selection</code>	Stochastic universal sampling
<code>number-of-entities</code>	10
<code>number-of-rules</code>	5
<code>resource-requirements-type</code>	Input from line
<code>resource-requirements</code>	[3 5 7 9 11]
<code>default-risk-attitude</code>	0
<code>max-risk-attitude-deviation</code>	0%
<code>max-deviation-resources</code>	0
<code>k-hyperbolic-discounting</code>	0
<code>learning-mechanism</code>	Fictitious play
<code>punishment-size</code>	38
<code>inspectors-capacity</code>	0.25
<code>stackelberg-aware</code>	{ON, OFF}
<code>initial-seed</code>	991345273

Slika 7.8 grafički prikazuje rezultate simulacije. Na prvom stupčastom grafikonu (a) prikazani su resursni zahtjevi ispunjavanja svakog pravila (grafikon iz NetLogo simulacije³²). Daljnja 2 stupčasta grafikona prikazuju broj kršenja pojedinog pravila u konfiguraciji bez Stackelbergovog vodstva (b) i sa Stackelbergovim vodstvom (c). Iz prikazanih rezultata vidljivo

³² Stupčasti grafikonu izrađeni kroz računalnu simulaciju u NetLogo-u zbog ograničenja samog okruženja nalikuju histogramima. Odnosno, u NetLogo okruženju između stupaca u grafikonu nije moguće postaviti razmak.

je da entiteti manje krše pravila s niskom resursnom zahtjevnosću u odnosu na pravila s visokom resursnom zahtjevnosću, ako vjeruju da je za svako pravilo jednako vjerojatno da će biti predmetom inspekcije usklađenosti. S druge strane, ako entiteti smatraju da je vjerojatnost inspekcije pravila razmjerna resursnoj zahtjevnosti njihova ispunjavanja, tad je broj kršenja svih pravila identičan. Pri tome treba napomenuti kako ukupan broj prekršaja nije nužno manji u odnosu na prethodnu situaciju. Naime, broj kršenja pravila s niskom resursnom zahtjevnosću sad je veći, obzirom da entiteti smatraju da je vjerojatnost inspekcije usklađenosti tih pravila vrlo mala.

Iz prikazanih rezultata proizlazi da su rezultati simulacije u skladu s očekivanjima.



Slika 7.8 – Verifikacija modela: usporedba zadanih resursnih zahtjeva ispunjavanja svakog pravila (a) s brojem kršenja pojedinog pravila u konfiguraciji bez Stackelbergovog vodstva (b) i sa Stackelbergovim vodstvom (c)

7.1.3. Ponašanje agencije

U ovom poglavlju su rezultati verifikacijskih testova ponašanja agencije, što u prvom redu uključuje provjeru jesu li inspeksijske strategije na očekivani način implementirane u računalnu simulaciju.

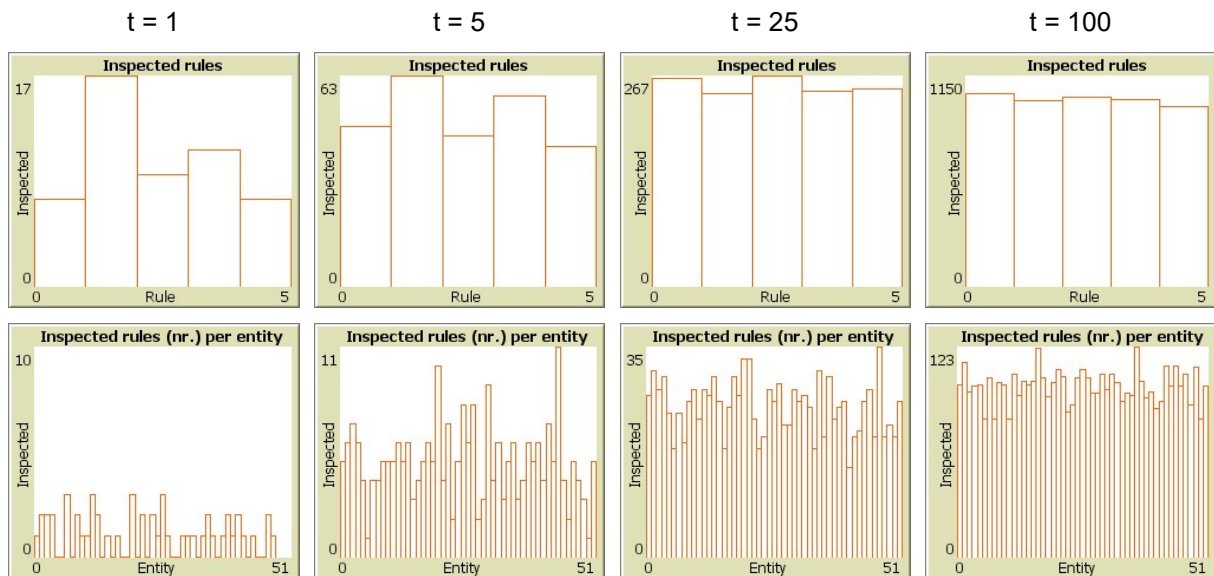
7.1.3.1. Strategija slučajnog odabira

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.9). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 100 koraka, te je zabilježen broj inspekcija nakon 1., 5., 25., i 100. koraka simulacije.

Tablica 7.9 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost:
type-of-inspection-selection	Random
number-of-entities	50
number-of-rules	5
inspectors-capacity	0.2

Slika 7.9 prikazuje rezultate testa. Iz prikazanih rezultata proizlazi da su rezultati simulacije u skladu s očekivanjima, odnosno nakon 100 koraka pojedinačno pravilo je u prosjeku bilo nadzirano otprilike 1.000 puta, a pojedinačni entitet 100 puta³³. Pri tome podaci na grafikonima u prvom redu (broj inspekcija pojedinačnog pravila) brže konvergiraju prema očekivanom rezultatu zbog 10 puta većeg broja događaja.



Slika 7.9 – Verifikacija modela: broj inspekcija svakog pravila (1. red) te broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu (2. red), nakon danog broja koraka simulacije pri primjeni inspeksijske strategije slučajnog odabira

7.1.3.2. Strategija slučajnog odabira entiteta

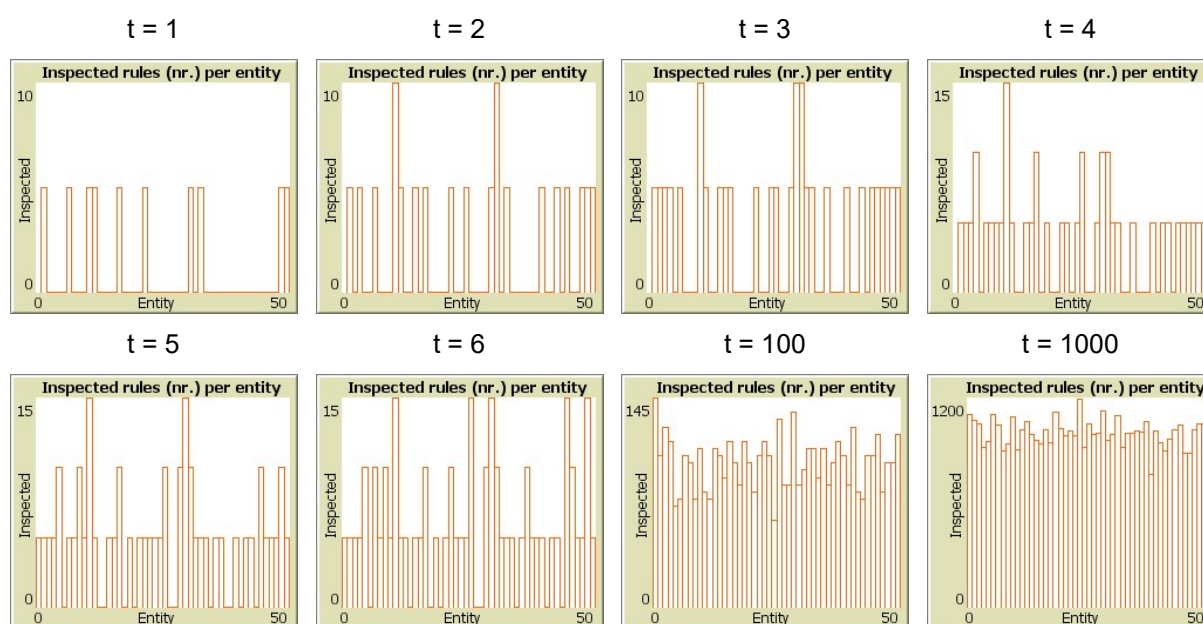
Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.10). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 1.000 koraka, te je zabilježen broj inspekcija nakon 1., 2., 3., 4., 5., 6., 100., i 1.000. koraka simulacije.

³³ Zbog ograničenja sučelja NetLogo okruženja, nije moguće točno odrediti prosječan broj pojava.

Tablica 7.10 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije slučajnog odabira entiteta

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost:
type-of-inspection-selection	Random entity
number-of-entities	50
number-of-rules	5
inspectors-capacity	0.2

Slika 7.10. prikazuje rezultate testa. Na prikazanim grafikonima vidljiv je broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu, i to nakon 1., 2., 3., 4., 5., 6., 100., i 1.000. koraka simulacije. Iz prvih 6 grafikona vidljivo je da svaka inspekcija nadzire 5 pravila u entitetu (sva pravila). Posljednja 2 grafikona pokazuju da s vremenom broj inspekcija svakog entiteta konvergira – sukladno zakonu velikih brojeva – prema istoj (očekivanoj) vrijednosti. Odnosno, u svakom entitetu je nakon 1.000 koraka u prosjeku nadzirano otprilike 1.000 pravila³⁴. Iz prikazanih rezultata proizlazi da su rezultati simulacije u skladu s očekivanjima.



Slika 7.10 – Verifikacija modela: broj inspekcija svakog pravila (1. red) te broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu (2. red), nakon navedenog broja koraka simulacije pri primjeni inspektijske strategije slučajnog odabira entiteta

³⁴ Zbog ograničenja sučelja NetLogo okruženja, nije moguće točno odrediti prosječan broj pojava.

7.1.3.3. Strategija cikličnog odabira

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.11). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 5 koraka, te je zabilježeno koja pravila u kojim entitetima su nadzirana nakon svakog koraka simulacije.

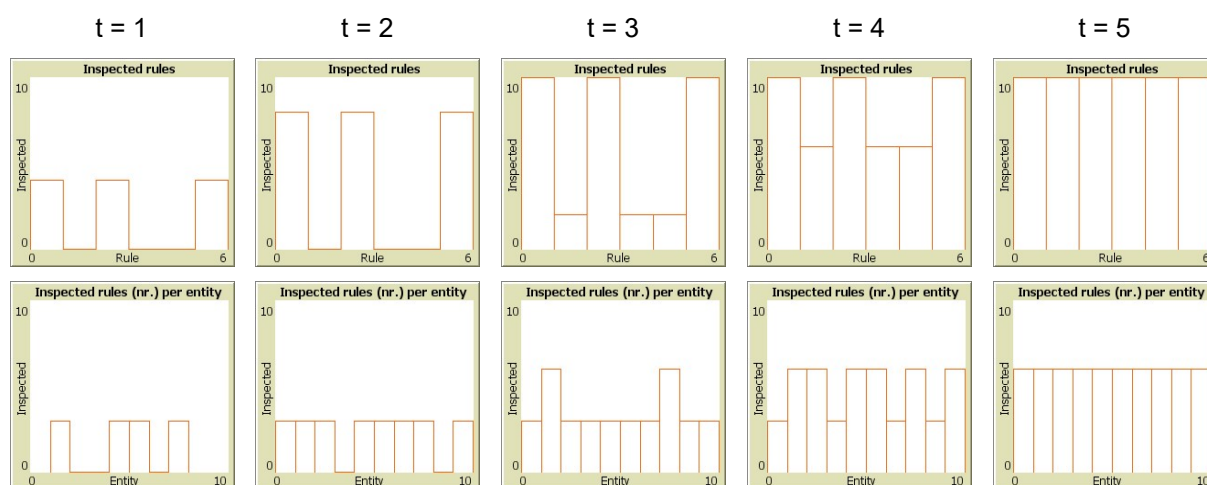
Tablica 7.11 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije cikličnog odabira

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost:
type-of-inspection-selection	Cycle
number-of-entities	10
number-of-rules	6
rules-inspected-in-one-cycle	3
inspectors-capacity	0.2

Slika 7.11 prikazuje rezultate testa iz kojih je vidljivo sljedeće:

- 1. korak: provedena je inspekcija 1., 3. i 6. pravila u 2., 5., 6., i 8. entitetu;
- 2. korak: provedena je inspekcija 1., 3. i 6. pravila u 1., 3., 7. i 10. entitetu;
- 3. korak: provedena je inspekcija 1., 3. i 6. pravila u 4. i 9. entitetu, provedena je inspekcija 2., 4. i 5. pravila u 2. i 8. entitetu;
- 4. korak: provedena je inspekcija 2., 4. i 5. pravila u 3., 5., 6. i 10. Entitetu;
- 5. korak: provedena je inspekcija 2., 4. i 5. pravila u 1., 4., 7. i 9. entitetu, čime je dovršen inspeksijski ciklus.

Iz prikazanih rezultata proizlazi da su rezultati simulacije u skladu s očekivanjima.



Slika 7.11 – Verifikacija modela: broj inspekcija svakog pravila (1. red) te broj pravila koja su nadzirana u svakom entitetu (2. red), nakon navedenog broja koraka simulacije pri primjeni inspeksijske strategije cikličnog odabira

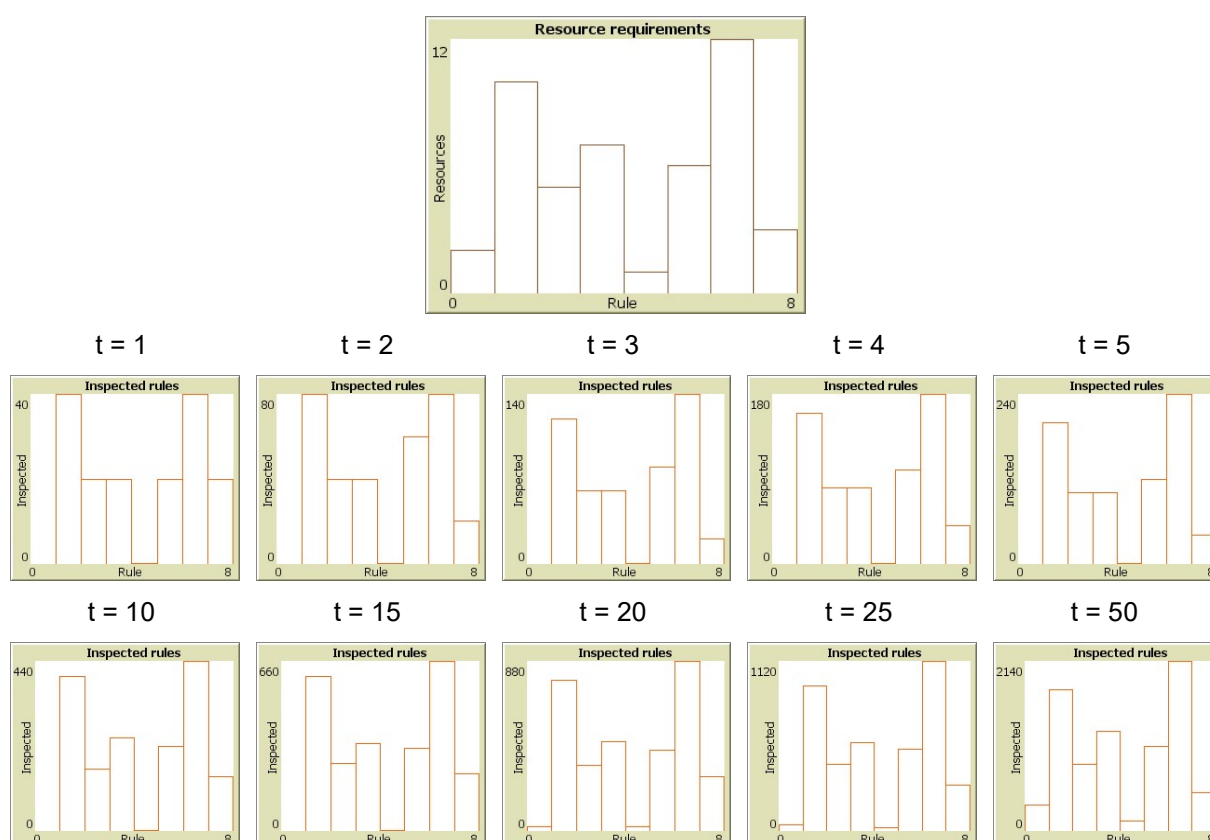
7.1.3.4. Strategija stohastičkog univerzalnog uzorkovanja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.12). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 50 koraka. Nakon 1., 2., 3., 4., 5., 10., 15., 20., 25. i 50. koraka simulacije zabilježeno je koliko puta su nadzirana pojedinačna pravila.

Tablica 7.12 – Ulazni parametri verifikacijskog testa ispravnosti implementacije strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost:
type-of-inspection-selection	Stochastic universal sampling
number-of-entities	100
number-of-rules	8
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[2 10 5 7 1 6 12 3]
inspectors-capacity	0.2

Slika 7.12 prikazuje rezultate testa.



Slika 7.12 – Verifikacija modela: usporedba zadanih resursnih zahtjeva ispunjavanja pravila (1. red) te broja inspekcija svakog pojedinačnog pravila nakon navedenog koraka simulacije (2. i 3. red) pri primjeni inspeksijske strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja

Prikazani grafikoni pokazuju da učestalost inspekcije pojedinačnih pravila s vremenom konvergira distribuciji resursnih zahtjeva potrebnih za ispunjavanje tih pravila³⁵. Iz navedenoga proizlazi da su rezultati simulacije u skladu s očekivanjima

7.1.3.5. Točnost inspekcije

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.13). Vrijednosti ostalih ulaznih parametara ne utječu na rezultate testa. Nakon postavljanja simulacije provedeno je 25 koraka nakon kojih je zabilježen ukupan broj kršenja koja su bila obuhvaćena inspekcijama te broj kršenja koji su inspekcije točno identificirale.

Tablica 7.13 – Ulazni parametri verifikacijskog testa točnosti inspekcije

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	Random entity
number-of-entities	100
number-of-rules	5
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[3 5 7 9 11]
default-risk-attitude	2
max-risk-attitude-deviation	0%
k-hyperbolic-discounting	0
learning-mechanism	Fictitious play
punishment-size	100
inspectors-capacity	0.2
inspection-accuracy	{100%, 90%, 80%, 70%, 60%}

Tablica 7.14 sadrži usporedbu podataka generiranih u simulaciji s očekivanim vrijednostima.

Tablica 7.14 – Verifikacija modela: usporedba zadane i ostvarene točnosti inspekcije; u stupcu „Razlika“ je apsolutna razlika (postotni bodovi) zadane i ostvarene točnosti, a stupac „95% CI“ navodi i 95%-tni interval pouzdanosti, temeljem izračunate standardne greške.

Zadana točnost	Uzorak	Detektirana kršenja	Ostvarena točnost	Razlika	95% CI
100 %	695	695	100,0 %	0,0%	±0,0%
90 %	645	717	90,0 %	0,0%	±2,2%
80 %	571	719	79,4 %	0,6%	±2,9%
70 %	505	723	69,8 %	0,2%	±3,3%
60 %	432	721	59,9 %	0,1%	±3,6%

³⁵ Zbog ograničenja sučelja NetLogo okruženja, ove distribucije nije moguće usporediti na jednom grafikonu.

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su razlike očekivanih i ostvarenih vrijednosti razmjerno male, te su sve razlike unutar prihvatljivog 95% raspona pouzdanosti. Iz navedenoga proizlazi da su rezultati simulacije u skladu s očekivanjima.

7.2. Provjera valjanosti

7.2.1. Općenita valjanost

Sljedeća tabela (Tablica 7.15) sadrži parametre koji su jednaki (zajednički) u svim provjerama općenite valjanosti.

Tablica 7.15 – Ulazni parametri koji su nepromijenjeni u svim provjerama općenite valjanosti

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost:
learning-mechanism	Fictitious play
risk-exp	OFF
stackelberg-aware	OFF

7.2.1.1. Porast kazne dovodi do smanjenja kršenja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.16).

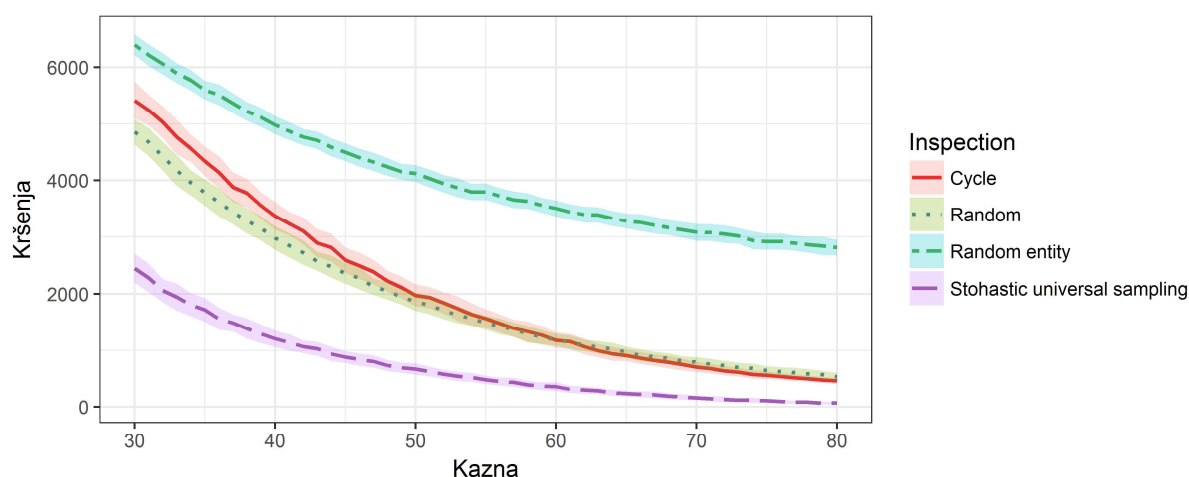
Tablica 7.16 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: porast kazne dovodi do smanjenja kršenja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle, Stochastic Universal Sampling}
number-of-entities	100
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[1 3 5 7 9 11]
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	[30, 1, 80] ³⁶
inspectors-capacity	0.25
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	3

³⁶ Vrijednosti parametara u uglatim zagradama odvojene zarezom definiraju niz uniformno rastućih vrijednosti. Prva vrijednost označava početak intervala, druga vrijednost korak porasta, a posljednja vrijednost predstavlja kraj intervala. U ovom slučaju, riječ je o nizu 30, 31, 32, ..., 79, 80

Slika 7.13 prikazuje rezultate provjere valjanosti. Na grafikonu je prikazana standardna devijacija, a ne standardna greška jer se želi prikazati varijabilnost simulacijskih podataka, a ne preciznost izračunate aritmetičke sredine. Pri tome treba naglasiti da je standardna greška (uz 95% CI) vrlo mala te se ne bi vidjela niti da je prikazana.

Prikazani rezultati pokazuju smanjenje ukupnog broja kršenja u sustavu s porastom kazne, neovisno o odabranoj strategiji inspekcije. Odnosno, rezultati testa su u skladu s očekivanjima.



Slika 7.13 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz danu vrijednost kazne (os x), za zadanu inspeksijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$

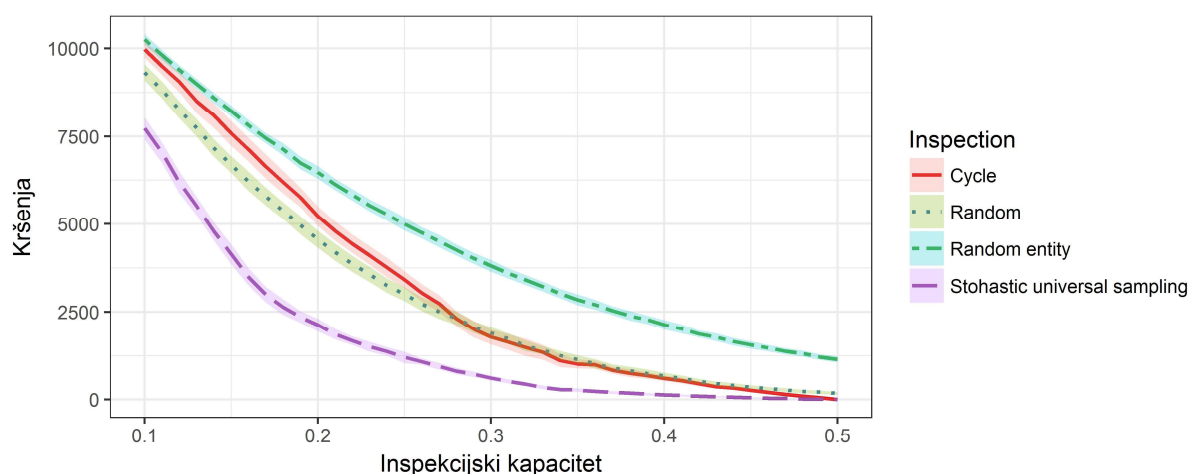
7.2.1.2. Više inspekcija dovodi do smanjenje kršenja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.17).

Tablica 7.17 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: više inspekcija dovodi do smanjenja kršenja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle, Stochastic Universal Sampling}
number-of-entities	100
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[1 3 5 7 9 11]
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	40
inspectors-capacity	[0.1, 0.01, 0.5]
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	3

Slika 7.14 prikazuje rezultate provjere valjanosti. Prikazani rezultati pokazuju smanjenje ukupnog broja kršenja u sustavu s porastom kapaciteta inspeksijske agencije, odnosno s porastom broja provedenih inspekcija, neovisno o odabranoj strategiji inspekcije. Stoga je moguće zaključiti da su rezultati testa u skladu s očekivanjima.



Slika 7.14 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz dani kapacitet inspeksijske agencije (os x) te uz iznos kazne 40, za zadanu inspeksijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$

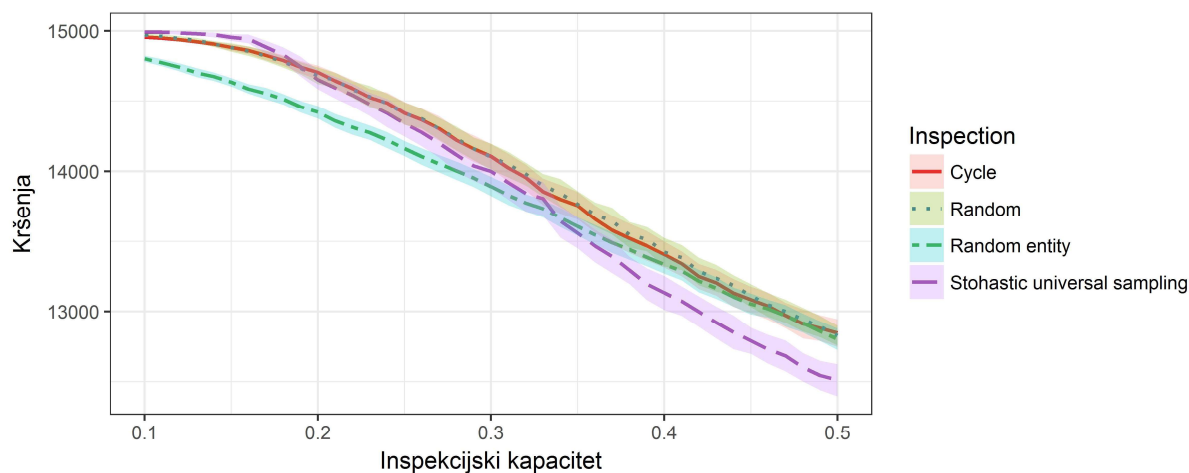
7.2.1.3. Niska kazna ima marginalan utjecaj na kršenje

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.18).

Tablica 7.18 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: niska kazna ima marginalan utjecaj na kršenje

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle, Stochastic Universal Sampling}
number-of-entities	100
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[1 3 5 7 9 11]
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	3
inspectors-capacity	[0.1, 0.01, 0.5]
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	3

Rezultati testa prikazani su grafički (Slika 7.15). Prikazani rezultati pokazuju smanjenje ukupnog broja kršenja u sustavu s porastom kapaciteta inspeksijske agencije, odnosno s porastom broja provedenih inspekcija, neovisno o odabranoj strategiji inspekcije, no to smanjenje je mnogo manje nego u prethodnom testu (Slika 7.14).



Slika 7.15 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz dani kapacitet inspeksijske agencije (os x) te uz iznos kazne 3, za zadanu inspeksijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$

Odnosno, sve strategije su, uz jednake promjene inspeksijskog kapaciteta, ostvarile puno manje smanjenje ukupnog broja kršenja u testu valjanosti pri iznosu kazne 3 u odnosu na test pri iznosu kazne 40. Čak je i strategija slučajnog odabira entiteta, primjenom koje je najmanje smanjen ukupan broj prekršaja, značajno više smanjila ukupan broj prekršaja pri većem iznosu kazne. Tablica 7.19 prikazuje usporedbu učinka promjene inspeksijskog kapaciteta pri primjeni strategije slučajnog odabira entiteta uz različite visine kazne.

Tablica 7.19 – Provjera valjanosti: usporedba ukupnog broja kršenja te postotnog smanjenja nakon 25 koraka simulacije uz dani kapacitet inspeksijske agencije te iznos kazne, za inspeksijsku strategiju slučajnog odabira entiteta; prikazani apsolutni iznosi su aritmetička sredina ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima

Kazna	Inspeksijski kapacitet		Smanjenje broja prekršaja
	0,1	0,5	
40	10.254,98	1.147,36	88,81 %
3	14.803,03	12.801,85	13,52 %

Iz prikazanih podataka vidljivo je da je peterostruko povećanje inspeksijskog kapaciteta dovelo do gotovo deseterostrukog smanjenja broja prekršaja pri kazni 40. S druge strane,

peterostruko povećanje inspekcijskog kapaciteta pri kazni 3 dovelo je do smanjenja broja prekršaja manjoj od 15%.

Iz navedenoga moguće je zaključiti da provođenje inspekcije ima vrlo mali utjecaj na usklađenost s propisima odnosno na smanjenje broja kršenja u situacijama kada je kazna za neusklađenost vrlo niska te su rezultati testa u skladu s očekivanjima.

7.2.1.4. Veći resursni zahtjevi dovode do više kršenja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.20).

Tablica 7.20 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: veći resursni zahtjevi dovode do više kršenja

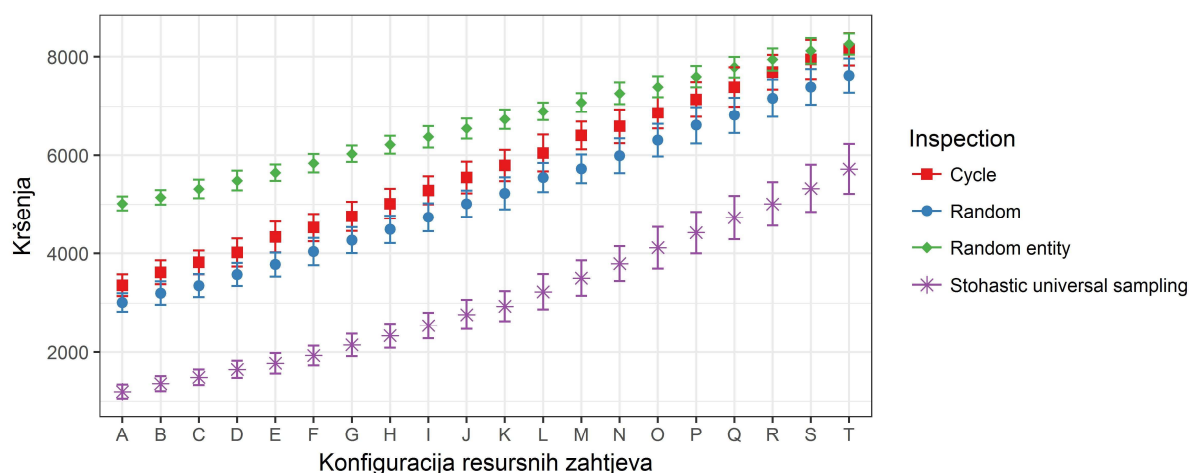
Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle, Stochastic Universal Sampling}
number-of-entities	100
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	40
inspectors-capacity	0.25
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	3

Vektori resursnih zahtjeva, odnosno vrijednosti varijable `resource-requirements` u svim scenarijima i svim konfiguracijama prikazani su u nastavku (Tablica 7.21).

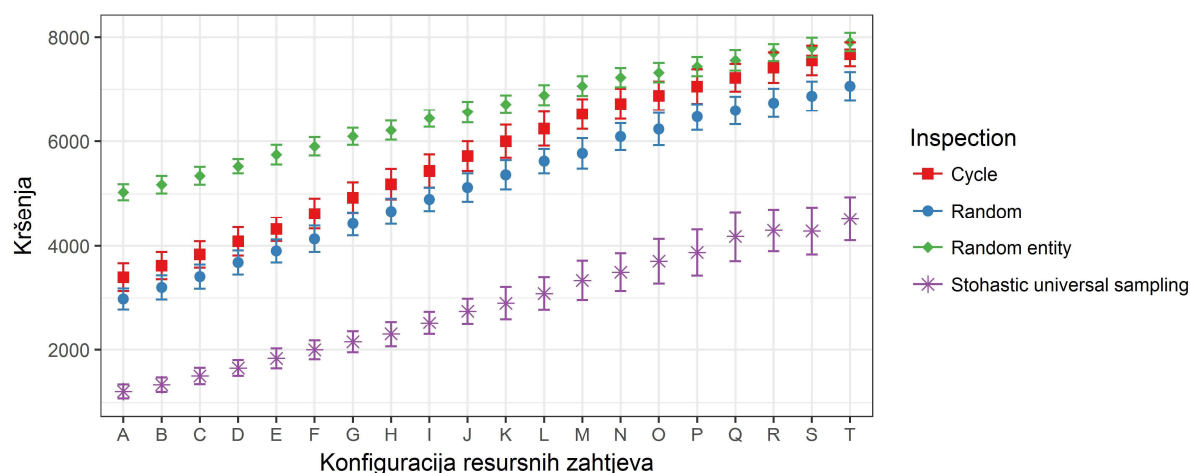
Rezultati testa prikazani su grafički, za 3 razmatrana scenarija (Slika 7.16, Slika 7.17 i Slika 7.18). Za razliku od prethodnih testova, rezultati su – zbog karakteristika podataka na osi x – prikazani pomoću prilagođenih dijagrama raspršenja. Kao i u prethodnim testovima, standardna greška (uz 95% CI) vrlo je mala.

Tablica 7.21 – 20 mogućih vrijednosti (konfiguracije) vektora resursnih zahtjeva (parametar simulacije resource-requirements), za 3 razmatrana scenarija promjene resursnih zahtjeva

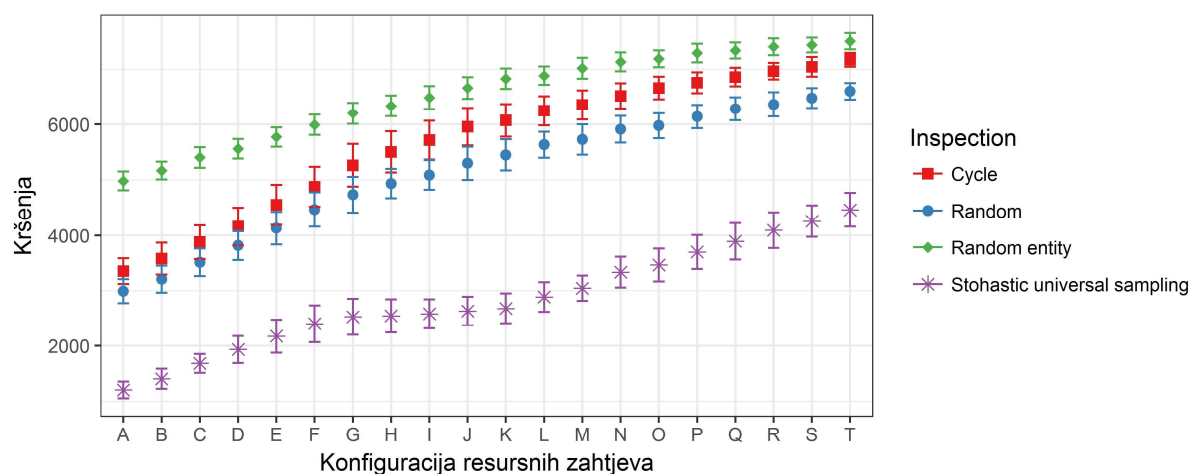
Konfiguracija resursnih zahtjeva	Varijante povećanja resursnih zahtjeva		
	1. scenarij	2. scenarij	3. scenarij
A	[1 3 5 7 9 11]	[1 3 5 7 9 11]	[1 3 5 7 9 11]
B	[1.25 3.25 5.25 7.25 9.25 11.25]	[1 3.5 5 7.5 9 11.5]	[1 3.75 5.75 7.75 8.75 10.5]
C	[1.5 3.5 5.5 7.5 9.5 11.5]	[1 4 5 8 9 12]	[1 4.5 6.5 8.5 8.5 10]
D	[1.75 3.75 5.75 7.75 9.75 11.75]	[1 4.5 5 8.5 9 12.5]	[1 5.25 7.25 9.25 8.25 9.5]
E	[2 4 6 8 10 12]	[1 5 5 9 9 13]	[1 6 8 10 8 9]
F	[2.25 4.25 6.25 8.25 10.25 12.25]	[1 5.5 5 9.5 9 13.5]	[1 6.75 8.75 10.75 7.75 8.5]
G	[2.5 4.5 6.5 8.5 10.5 12.5]	[1 6 5 10 9 14]	[1 7.5 9.5 11.5 7.5 8]
H	[2.75 4.75 6.75 8.75 10.75 12.75]	[1 6.5 5 10.5 9 14.5]	[1 8.25 10.25 12.25 7.25 7.5]
I	[3 5 7 9 11 13]	[1 7 5 11 9 15]	[1 9 11 13 7 7]
J	[3.25 5.25 7.25 9.25 11.25 13.25]	[1 7.5 5 11.5 9 15.5]	[1 9.75 11.75 13.75 6.75 6.5]
K	[3.5 5.5 7.5 9.5 11.5 13.5]	[1 8 5 12 9 16]	[1 10.5 12.5 14.5 6.5 6]
L	[3.75 5.75 7.75 9.75 11.75 13.75]	[1 8.5 5 12.5 9 16.5]	[1 11.25 13.25 15.25 6.25 5.5]
M	[4 6 8 10 12 14]	[1 9 5 13 9 17]	[1 12 14 16 6 5]
N	[4.25 6.25 8.25 10.25 12.25 14.25]	[1 9.5 5 13.5 9 17.5]	[1 12.75 14.75 16.75 5.75 4.5]
O	[4.5 6.5 8.5 10.5 12.5 14.5]	[1 10 5 14 9 18]	[1 13.5 15.5 17.5 5.5 4]
P	[4.75 6.75 8.75 10.75 12.75 14.75]	[1 10.5 5 14.5 9 18.5]	[1 14.25 16.25 18.25 5.25 3.5]
Q	[5 7 9 11 13 15]	[1 11 5 15 9 19]	[1 15 17 19 5 3]
R	[5.25 7.25 9.25 11.25 13.25 15.25]	[1 11.5 5 15.5 9 19.5]	[1 15.75 17.75 19.75 4.75 2.5]
S	[5.5 7.5 9.5 11.5 13.5 15.5]	[1 12 5 16 9 20]	[1 16.5 18.5 20.5 4.5 2]
T	[5.75 7.75 9.75 11.75 13.75 15.75]	[1 12.5 5 16.5 9 20.5]	[1 17.25 19.25 21.25 4.25 1.5]



Slika 7.16 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju, pri promjeni vektora resursnih zahtjeva prema 1. scenariju (linearno povećanje svih resursnih zahtjeva); središte podatkovnih točaka predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) 100 rezultata simulacije ponavljane s istim parametrima, a gornja i donja granica predstavljaju raspon $\pm 1\sigma$



Slika 7.17 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju, pri promjeni vektora resursnih zahtjeva prema 2. scenariju (linearno povećanje dijela resursnih zahtjeva); središte podatkovnih točaka predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) 100 rezultata simulacije ponavljane s istim parametrima, a gornja i donja granica predstavljaju raspon $\pm 1\sigma$



Slika 7.18 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju, pri promjeni vektora resursnih zahtjeva prema 3. scenariju (linearno povećanje i smanjenje resursnih zahtjeva); središte podatkovnih točaka predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) 100 rezultata simulacije ponavljane s istim parametrima, a gornja i donja granica predstavljaju raspon $\pm 1\sigma$

Prikazani rezultati pokazuju da veći (u prosjeku) resursni zahtjevi usklađivanja s propisima dovode do većeg broja prekršaja, neovisno o odabranoj strategiji inspekcije. Stoga je moguće zaključiti da su rezultati testa u skladu s očekivanjima.

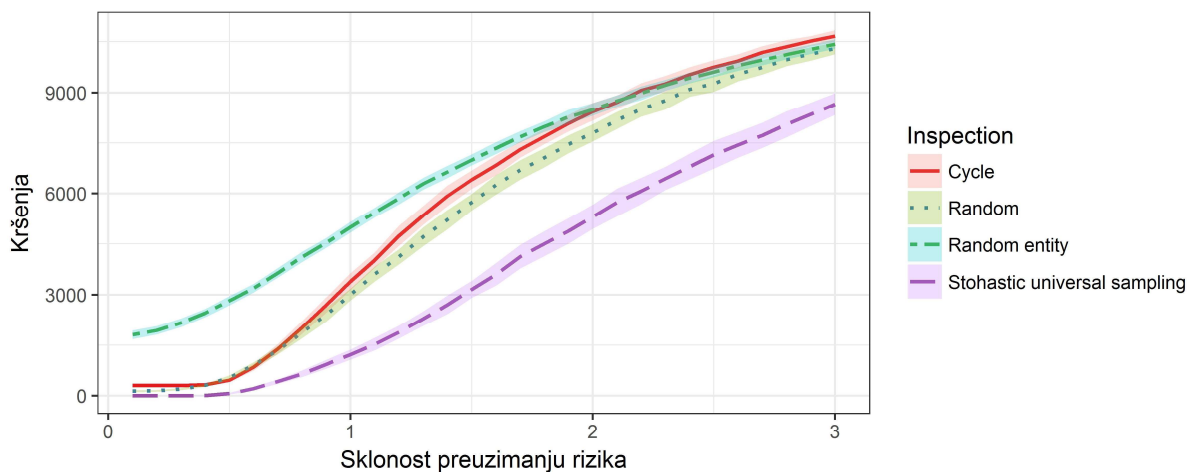
7.2.1.5. Porast percipirane vjerojatnosti inspekcije dovodi do smanjenja kršenja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.22).

Tablica 7.22 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: porast percipirane vjerojatnosti inspekcije dovodi do smanjenja kršenja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle, Stochastic Universal Sampling}
number-of-entities	100
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[1 3 5 7 9 11]
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	[0.1, 0.1, 3]
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	40
inspectors-capacity	0.25
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	3

Slika 7.19 prikazuje rezultate provjere valjanosti. Rezultati pokazuju povećanje ukupnog broja kršenja u sustavu s porastom temeljnog apetita za rizik. U skladu s navedenim, rezultati su u skladu s očekivanjima testa.



Slika 7.19 – Provjera valjanosti: ukupan (kumulativan) broj kršenja u simulaciji (os y) nakon 25 koraka uz dane prosječne sklonosti svih entiteta u simulaciji kršenju pravila (parametar default-risk-attitude - os x), za zadanu inspekcijsku strategiju; obojana linija predstavlja aritmetičku sredinu ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, a osjenčano područje oko linija je raspon $\pm 1\sigma$

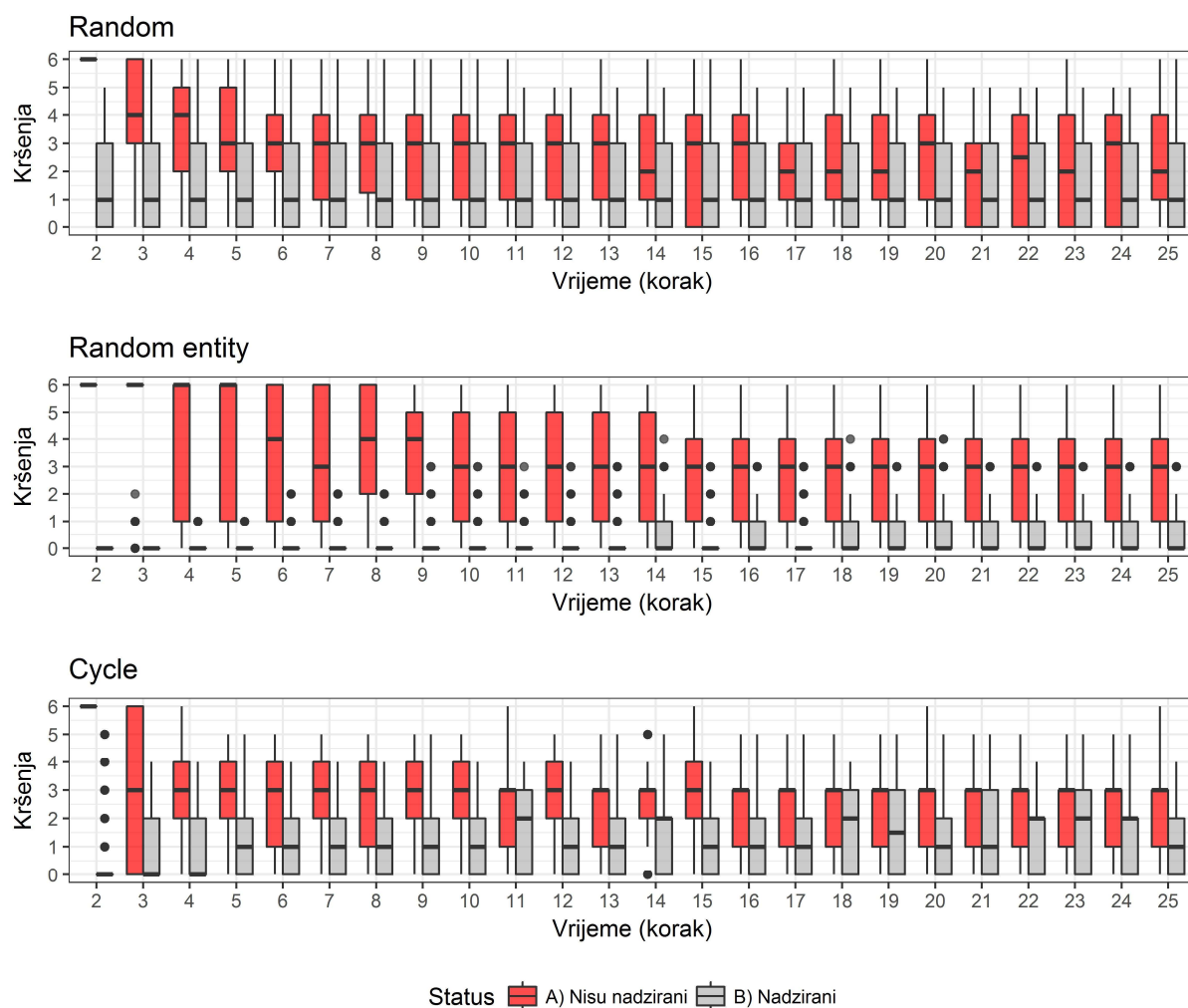
7.2.1.6. Nakon inspekcije manje je kršenja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.23).

Tablica 7.23 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: nakon inspekcije manje je kršenja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle}
number-of-entities	100
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[1 3 5 7 9 11]
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	40
inspectors-capacity	0.2
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	3

Slika 7.20 prikazuje rezultate testa valjanosti. Rezultati su prikazani pomoću B-P dijagrama obzirom da prikazani podaci nisu distribuirani prema normalnoj razdiobi, što je posebno izraženo za strategiju slučajnog odabira entiteta. Prikazani podaci potvrđuju da su entiteti koji u prethodnom koraku nisu bili predmetnom inspekcije (grupa A) više kršili pravila od entiteta koji su bili predmetom inspekcije u prethodnom koraku (grupa B). Navedena pravilnost vidljiva je u svim koracima simulacije. Dodatno, navedena pravilnost posebno je izražena pri primjeni strategije slučajnog odabira entiteta (*Random entity*) i ciklične strategije (*Cycle*) koje su, sukladno uvodnim napomenama u poglavlju 5.2.2.2.1, usporedive sa stvarnim strategijama inspekcije te, stoga, relevantne za provjeru valjanosti. Iz navedenoga je moguće zaključiti da su rezultati testa u skladu s očekivanjima.



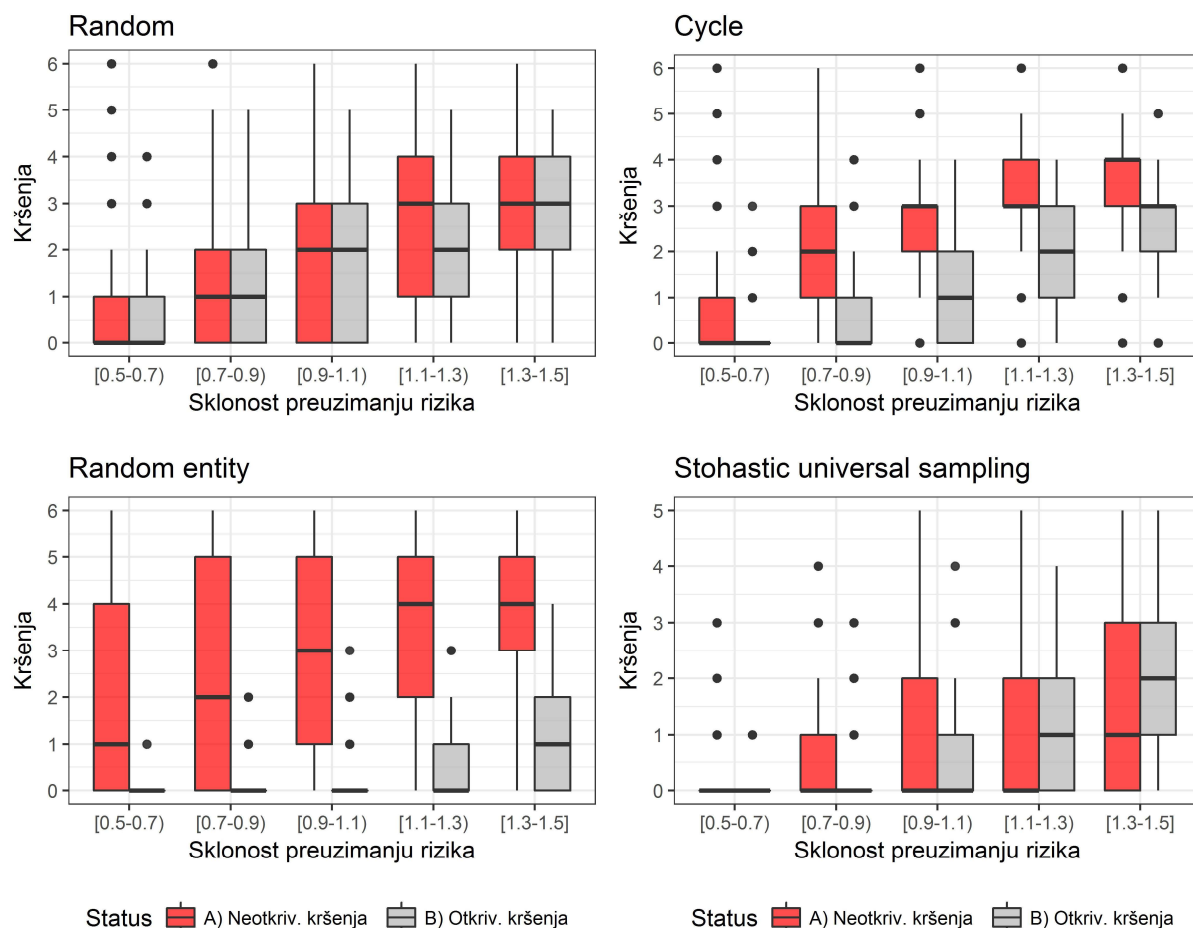
Slika 7.20 – Provjera valjanosti: usporedba broja kršenja odredaba od strane pojedinačnih entiteta koji u prethodnom koraku simulacije nisu bili nadzirani (grupa A – crveni stupac) i entiteta koji su prethodnom koraku simulacije bili nadzirani (grupa B – sivi stupac); svaki stupac prikazuje statistički sažetak o kršenju odredaba u danom koraku računalne simulacije, od 2. do 25. koraka (podaci za 1. korak simulacije nisu prikazani jer u tom trenutku nije postojala povijest inspekcija); svaki grafikon prikazuje podatke za navedenu primijenjenu inspekcijsku strategiju

7.2.1.7. Nakon kazne manje je kršenja

Test je pokrenut s istim ulaznim parametrima kao i prethodan test (Tablica 7.23 sadrži ulazne parametre).

Slika 7.21 prikazuje rezultate testa valjanosti. Promatrajući prikazane B-P dijagrame s lijeva na desno, vidljivo je da, kako raste sklonost entiteta preuzimanju rizika, raste (očekivano) i razina kršenja pravila. Nadalje, za strategiju slučajnog odabira entiteta (*Random entity*) i cikličnu strategiju (*Cycle*) vidljivo je da su entiteti u grupi A kršili više pravila od entiteta u grupi B, za isti raspon sklonosti preuzimanju rizika. Ista pravilnost vidljiva je i za strategiju slučajnog odabira (*Random*), no razlike su marginalne. Navedena pravilnost nije vidljiva pri

primjeni inspekcijske strategije stohastičkog slučajnog uzorkovanja (*Stochastic universal sampling*). Međutim, obzirom da su – sukladno uvodnim napomenama u poglavlju 5.2.2.2.1 – samo strategija slučajnog odabira entiteta i ciklična strategija relevantne za provjeru valjanosti modela, moguće je zaključiti da su rezultati testa u skladu s očekivanjima.



Slika 7.21 – Provjera valjanosti: usporedba broja kršenja odredaba od strane pojedinačnih entiteta koji su u prethodnom koraku simulacije nisu kažnjeni (grupa A – crveni stupac – sadrži podatke entiteta kojima u prethodnom koraku inspekcija nije otkrila kršenje, neovisno o tome je li entitet uopće nadziran, je li entitet nadziran ali su obuhvaćene samo odredbe koje entitet nije kršio ili je inspekcija pogrešno utvrdila da kršenje nije prisutno iako je u stvarnosti entitet kršio relevantnu odredbu) ili su kažnjeni (grupa B – sivi stupac – sadrži podatke entiteta koji su nadzirani i inspekcija je utvrdila kršenje); na osi x prikazani su rasponi sklonosti preuzimanja rizika obuhvaćenih entiteta grupirani u 5 kategorija, a svaki stupac prikazuje statistički sažetak o kršenju odredaba entiteta čija sklonost preuzimanju rizika je unutar zadanog raspona; svaki grafikon prikazuje podatke za navedenu primijenjenu inspekcijsku strategiju

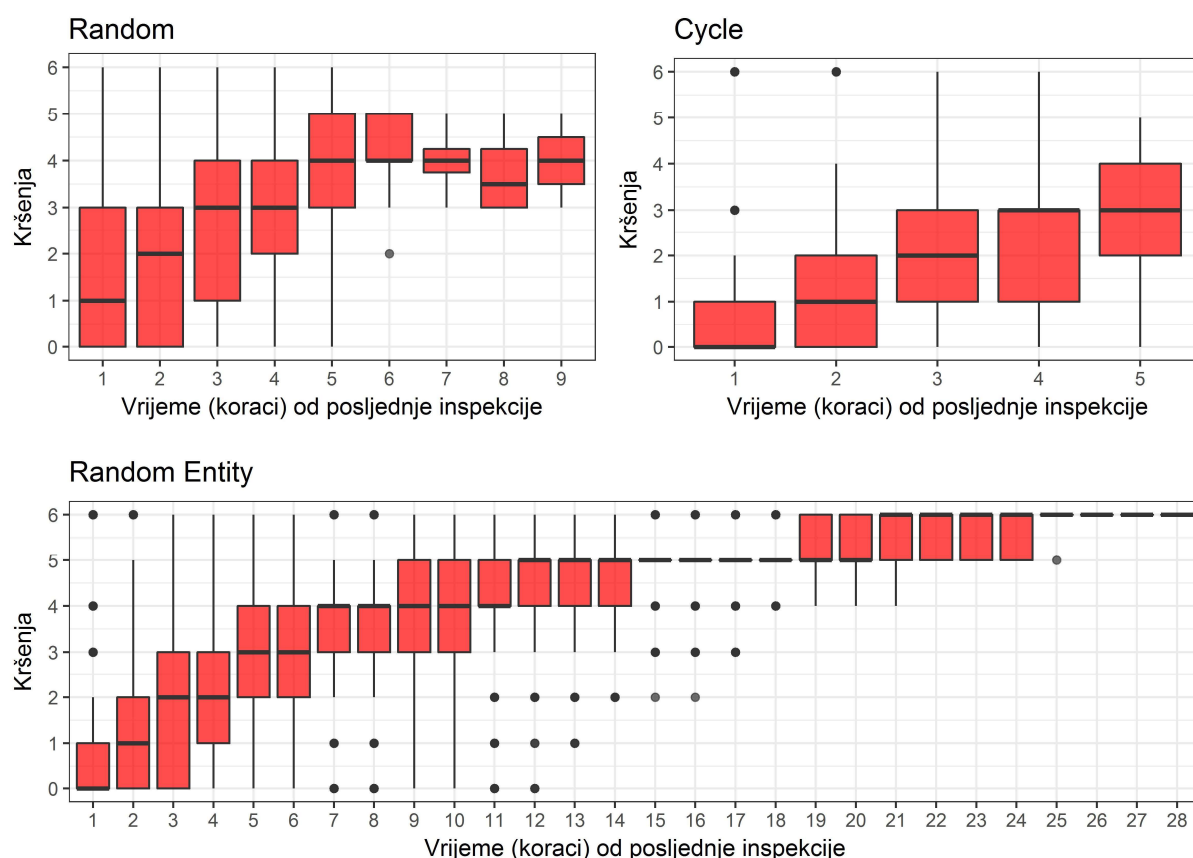
7.2.1.8. Dulje razdoblje od posljednje inspekcije dovodi do više prekršaja

Test je pokrenut s ulaznim parametrima sadržanima u tabeli u nastavku (Tablica 7.24) te je provedeno 30 koraka simulacije.

Tablica 7.24 – Ulazni parametri testa općenite valjanosti: dulje razdoblje od posljednje inspekcije dovodi do više prekršaja

Naziv ulaznog parametra:	Vrijednost(i):
type-of-inspection-selection	{Random, Random entity, Cycle}
number-of-entities	20
number-of-rules	6
resource-requirements-type	Input from line
resource-requirements	[1 3 5 7 9 11]
max-deviation-resources	0.25
default-risk-attitude	1
max-risk-attitude-deviation	50%
k-hyperbolic-discounting	0.5
punishment-size	40
inspectors-capacity	0.2
inspection-accuracy	90%
rules-inspected-in-one-cycle	6

Slika 7.22 sadrži rezultate provjere valjanosti prikazane na B-P dijagramu. Broj koraka u kojima entiteti nisu nadzirani razlikuje se, ovisno o primijenjenoj strategiji inspekcije.



Slika 7.22 – Provjera valjanosti: usporedba broja kršenja odredaba od strane pojedinačnih entiteta (os y) koji nisu nadzirani posljednjih x (os x) koraka simulacije; svaki pojedinačni stupac prikazuje statistički sažetak o kršenju odredaba; svaki grafikon prikazuje podatke za navedenu primijenjenu inspeksijsku strategiju

Pri primjeni ciklične strategije, obzirom na postavljeni broj pravila koja se nadziru u jednom ciklusu, između svake dvije inspekcije istog entiteta proći će 6 koraka. Primjenom strategije slučajnog odabira entiteta, svaki entitet u svakom koraku ima 20% vjerojatnosti da će biti nadziran (obzirom na vrijednost parametra *inspectors-capacity*) te je moguća pojava entiteta koji nisu niti jednom nadzirani. Međutim, entiteti vrlo rijetko nisu nadzirani u više od 20 uzastopnih poteza. Stoga je nakon vrijednosti 23 na osi x, za svaku daljnju vrijednost identificirano manje od 25 podatkovnih točaka. Primjenom strategije slučajnog odabira, značajno je rjeđa pojava entiteta koji nisu nadzirani u nekoliko uzastopnih koraka. Odnosno, postoje svega 2-4 podatkovne točke za situacije u kojima entitet nije nadziran 7 ili više uzastopnih koraka, te se takve podatkovne točke mogu smatrati izuzetcima (engl. *outlier*). Prikazani B-P dijagrami pokazuju da broj kršenja pravila raste s porastom broja uzastopnih koraka u kojima entitet nije nadziran. Ova pravilnost vidljiva je za sve 3 strategije, pri čemu treba uzeti u obzir da su podatkovne točke za situacije u kojima entitet nije nadziran 7 ili više uzastopnih koraka pri primjeni strategije slučajnog odabira suviše rijetke da bi bile statistički relevantne.

7.2.2. Specifična valjanost

U svim scenarijima specifične valjanosti pretraživan je prostor sljedećih ulaznih parametara: *punishment-size*, *resource-requirements*, *max-deviation-resources*, *default-risk-attitude*, *max-risk-attitude-deviation*, *k-hyperbolic-discounting*, *inspection-accuracy* i *risk-exp*.

Tablica 7.25 sadrži vrijednosti svih ulaznih parametara (ulazni parametri s unaprijed postavljenim vrijednostima kao i vrijednosti preostalih parametara, dobivene temeljem pretraživanja). Vidljive su značajne razlike nekih parametara. Zanimljivo je zamijetiti da inicijalna sklonost preuzimanju rizika (*default-risk-attitude*) značajno varira, od scenarija do scenarija, no u svim scenarijima je veća od 1. Maksimalna devijacija sklonosti preuzimanju rizika (*max-risk-attitude-deviation*) razmjerno je visoka za sva 3 scenarija.

Parametri u navedenoj tabeli primijenjeni su kao ulazni parametri relevantnih provjera specifične valjanosti, rezultati kojih su opisani u nastavku.

Tablica 7.25 – Provjera valjanosti: usporedno prikazani ulazni parametri 3 razmatrana scenarija; sivom bojom označeni ulazni parametri s inicijalno postavljenim vrijednostima

Ulazni parametar	Scenarij		
	DK-E	US-W	IT-B
default-risk-attitude	1.4	4.8	3
inspection-accuracy	57	97	46
inspectors-capacity	0.33	0.2	0.2
k-hyperbolic-discounting	0.1	0.1	0.2
learning-mechanism	Fictitious play		
max-deviation-resources	0.4	0.25	0.31
max-risk-attitude-deviation	82	96	94
number-of-entities	100	200	200
number-of-rules	6	10	4
punishment-size	136	166	208
resource-requirements	[23 12 14 5 8 11]	[1.8 1.4 1.8 1.1 1.7 1.9 9.6 9.3 9.7 9.6]	[1.5 6 5.5 15]
risk-exp	FALSE		
rules-inspected-in-one-cycle	6		
stackelberg-aware	FALSE		
type-of-inspection-selection	Cycle	Random entity	Random entity

7.2.2.1. Scenarij DK-E: Inspekcija propisa o zaštiti okoliša u Danskoj

Tablica 7.25 sadrži ulazne parametre simulacije. Tablica 7.26 sadrži usporedbu rezultata računalne simulacije modela te očekivanih vrijednosti.

Tablica 7.26 – Provjera valjanost: očekivani i simulacijom ostvareni rezultati za svaki razmatrani kriterij (pokazatelj), za scenarij DK-E; u stupcu „Ostvareno“ je aritmetička sredina rezultata ($\bar{x}$) 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima, u stupcu „Razlika“ je apsolutna razlika (postotni bodovi) ostvarenih i očekivanih rezultata, a stupac „95% CI“ navodi 95%-tni interval pouzdanosti, temeljem izračunate standardne greške.

Pokaz.	Opis	Očekivano	Ostvareno	Razlika	95%CI
DKv1	% entiteta koji su u svakom trenutku usklađeni sa svim odredbama.	26 %	25,0 %	1,0 %	±8,6%
DKv2	% entiteta koji su nakon posljednjeg ciklusa usklađeni sa svim odredbama.	73 %	77,4%	-4,4 %	±8,7%
DKv3A	Koliko često se krši pravilo A (uključujući detektirana i nedetektirana kršenja).	18 %	19,5 %	-1,5 %	±7,5%
DKv3B	Koliko često se krši pravilo B (uključujući detektirana i nedetektirana kršenja).	5 %	5,4 %	-0,4 %	±4,3%
DKv3C	Koliko često se krši pravilo C (uključujući detektirana i nedetektirana kršenja).	3%	3,2 %	-0,2 %	±3,3%

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da su razlike očekivanih i ostvarenih vrijednosti razmjerno male, te su sve razlike unutar prihvatljivog 95% raspona pouzdanosti. U skladu sa svim navedenim, moguće je zaključiti kako su ostvareni rezultati usklađeni s očekivanjima.

7.2.2.2. Scenarij US-W: Inspekcija zaštite na radu u SAD-u

Tablica 7.25 sadrži ulazne parametre simulacije. Tablica 7.27 sadrži usporedbu rezultata računalne simulacije modela te očekivanih vrijednosti.

Tablica 7.27 – Provjera valjanost: očekivani i simulacijom ostvareni rezultati za svaki razmatrani kriterij (pokazatelj), za scenarij US-W; u stupcu „Ostvareno“ je aritmetička sredina ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima

Pokazatelj	Opis	Očekivano	Ostvareno
USv1	Postotak entiteta koji nisu usklađeni s jednim ili više pravila u trenutku prve inspekcije.	83 %	85,0 %
USv3A	Prosječni pad broja prekršaja utvrđenih u 2. inspekciji u odnosu na 1. inspekciju.	40-50 %	41,8 %
USv3B	Prosječni pad broja prekršaja utvrđenih u 3. inspekciji u odnosu na 2. inspekciju.	5-20 %	19,0 %
USv3C	Prosječni pad broja prekršaja utvrđenih u 4. inspekciji u odnosu na 3. inspekciju.	5-20 %	17,0 %

Iz prikazanih rezultata vidljivo je da je razlika očekivane i ostvarene vrijednosti pokazatelja USv1 razmjerno mala – svega 2 postotna boda. Dobiveni pokazatelji USv3A, USv3B i USv3C su unutar zadanih raspona. U skladu sa svim navedenim, moguće je zaključiti kako su ostvareni rezultati u dovoljnoj mjeri usklađeni s očekivanjima.

7.2.2.3. Scenarij IT-B: Supervizija banaka u Italiji

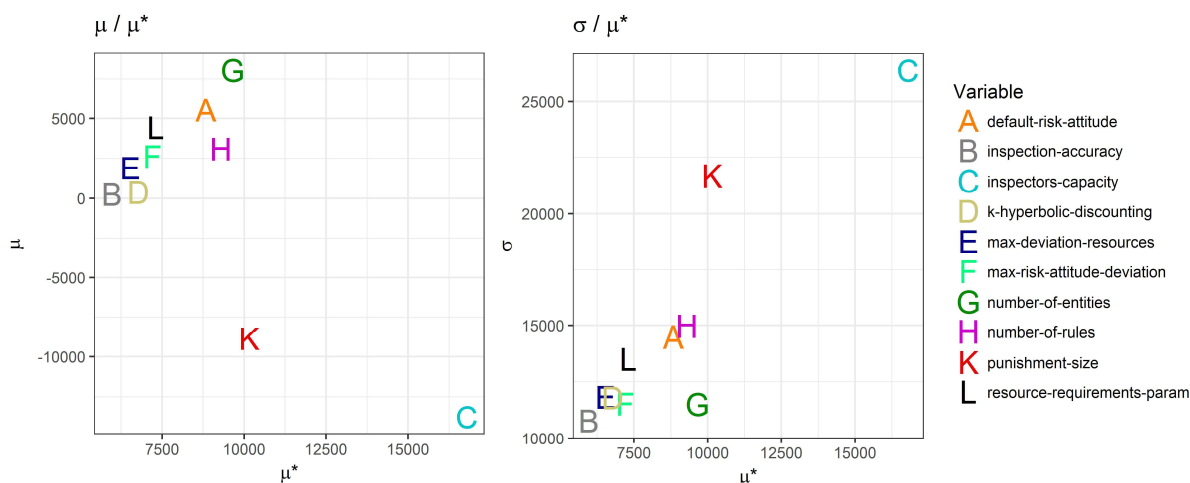
Tablica 7.25 sadrži ulazne parametre simulacije. Tablica 7.28 sadrži usporedbu rezultata računalne simulacije modela te očekivanih vrijednosti. Svi razmatrani pokazatelji su unutar očekivanih raspona. U skladu sa svim navedenim, moguće je zaključiti kako su ostvareni rezultati usklađeni s očekivanjima.

Tablica 7.28 – Provjera valjanost: očekivani i simulacijom ostvareni rezultati za svaki razmatrani kriterij (pokazatelj), za scenarij IT-B; u stupcu „Ostvareno“ je aritmetička sredina ($\bar{x}$) rezultata 100 ponavljanja simulacije s istim ulaznim parametrima

Pokazatelj	Broj sankcija u promatranom razdoblju	Očekivano	Ostvareno
ITv1	Jednom	61-73 %	65,1 %
ITv2	2 puta	19 -26 %	25,6 %
ITv3	3 puta	8-10 %	8,2 %
ITv4	4 puta	1-3 %	1,1 %
ITv5	5 puta	0-2 %	0,1 %

7.3. Analiza osjetljivosti

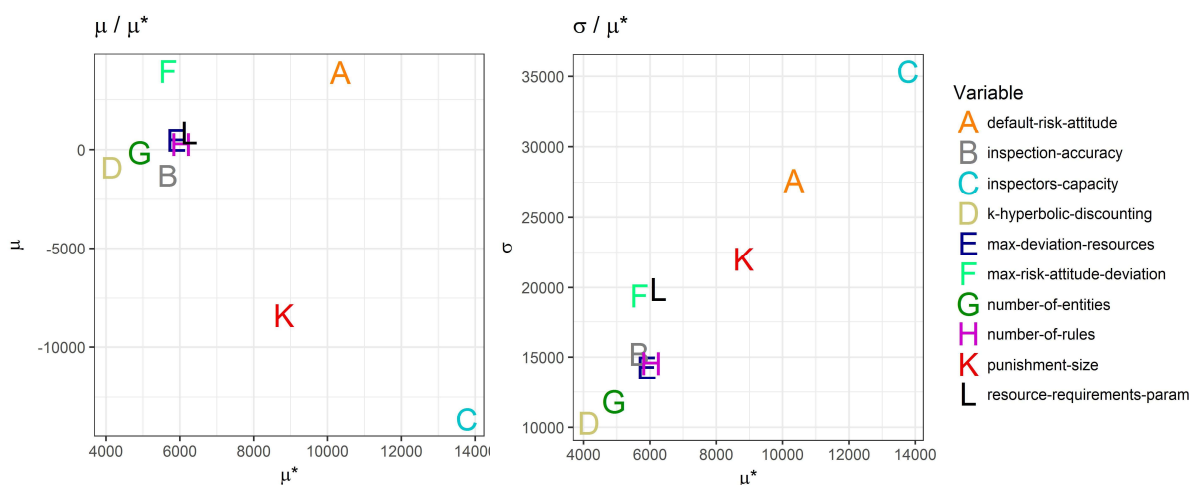
Grafikoni u nastavku (Slika 7.23 – Slika 7.27) grafički prikazuju rezultate Morrisove metode pregleda osnovnih učinaka za 5 razmatranih inspekcijskih strategija. Svaki grafikon sastoji se od dvije slike. Na prvoj slici prikazan je odnos μ i μ^* koji pruža informaciju o veličini utjecaja parametara na rezultate modela te smjeru (predznaku) tih utjecata. Druga slika prikazuje odnos σ i μ^* koji pruža informaciju o varijaciji utjecaja parametara na rezultate, odnosno u kojoj mjeri utjecaj svakog parametra ovisi o vrijednosti drugih parametara.



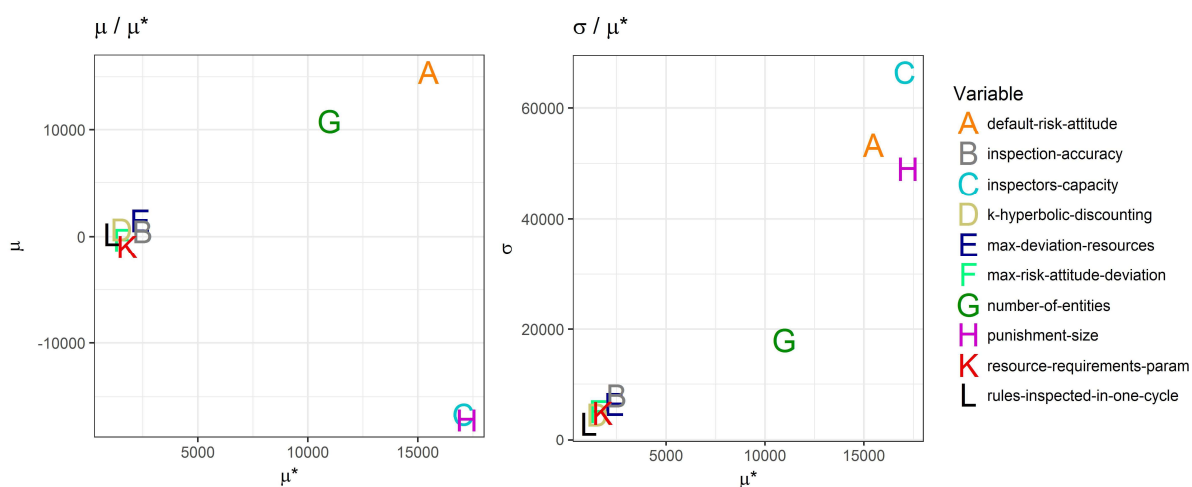
Slika 7.23 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije slučajnog odabira entiteta; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka

Na svakom je grafikonu slovima označeno 10 ulaznih parametara čiji utjecaj na ukupan broj prekršaja je analiziran. Ulazni parametri i slova koja su im dodijeljena identični su za sve slike osim Slika 7.25. Naime, ulazni parametri primjenjivi na strategiju cikličnog odabira donekle se razlikuju od ulaznih parametara primjenjivih na ostale strategije. Isto tako, skaliranje

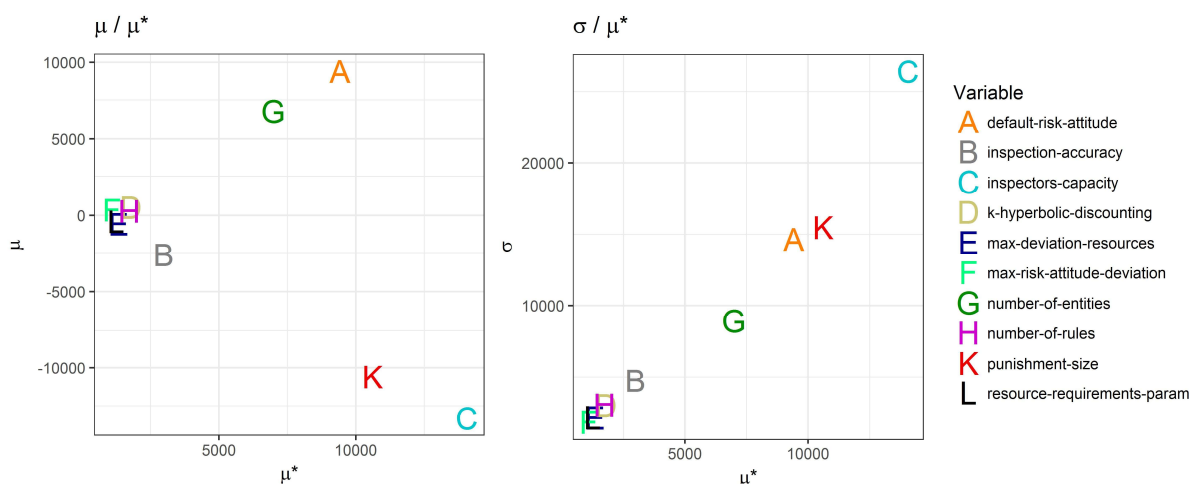
osi x i osi y prilagođeno je vrijednostima pokazatelja te su vidljive značajne razlike u maksimalnim vrijednostima σ na različitim grafikonima.



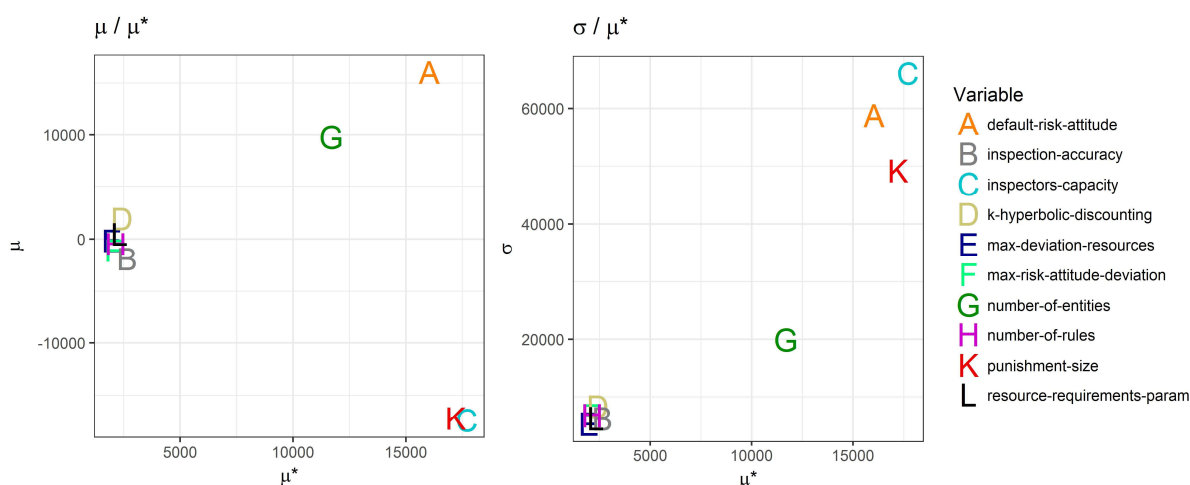
Slika 7.24 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije slučajnog odabira; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka



Slika 7.25 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije cikličnog odabira; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka



Slika 7.26 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni strategije stohastičkog univerzanog uzorkovanja; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka



Slika 7.27 – Analiza osjetljivosti: osjetljivost modela na promjene 10 navedenih ulaznih parametara pri primjeni SUS strategije sa Stackelbergovim vodstvom; μ je aritmetička sredina osnovnog učinka, μ^* procjena aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti osnovnih učinaka, a σ standardna devijacija osnovnog učinka

Iz prikazanih grafikona moguće je izvesti niz zaključaka o utjecaju ulaznih parametara na rezultate modela. Početno, niti na jednoj slici nije vidljiva situacija u kojoj bi μ bio malen, a μ^* visok što bi sugeriralo da se smjer utjecaja učinka parametra na rezultate modela razlikuje, što je i očekivano. Naime, takva situacija značila bi da promjene nekog parametra nemaju dosljedan utjecaj na smjer promjene broja kršenja. U takvim slučajevima bi, primjerice, porast kazne u nekim slučajevima dovodio bi do smanjenja a u drugim slučajevima do povećanja broja prekršaja. Nadalje, niti jedan ulazni parametar ne karakterizira nizak σ uz visok μ^* , odnosno utjecaj niti jednog ulaznog parametra na broj kršenja nije neovisan o vrijednostima drugih

ulaznih parametara. I ovaj rezultat je očekivan, obzirom da je iz teorijske pozadine i provjere valjanosti vidljivo da različiti parametri imaju utjecaj na ukupan broj kršenja.

Nekoliko ulaznih parametara ima mali ili zanemariv utjecaj na broj kršenja. To uključuje sljedeće parametre: `inspection-accuracy`, `k-hyperbolic-discounting`, `max-deviation-resources`, `max-risk-attitude-deviation` i `number-of-rules`.

Analiza prikazanih grafikona pokazuje da dosljedno najveći utjecaj na rezultate modela ima vrijednost parametra `inspectors-capacity`. Odnosno, porast kapaciteta za provođenje inspekcija ima velik (i monoton) utjecaj na smanjenje broja prekršaja. Pri tome navedeni parametar karakterizira i visok σ , što sugerira da utjecaj ovog parametra na rezultate modela izrazito ovisi i o vrijednostima ostalih parametara modela.

Utjecaj kazne (`punishment-size`) na rezultate modela vrlo je sličan utjecaju inspeksijskog kapaciteta. Naime, iako veličina utjecaja varira – ovisno o odabranoj strategiji inspekcije – porast iznosa kazne nedvojbeno utječe na povećanje broja prekršaja. Vrijednost σ ukazuje da utjecaj kazne na broj kršenja ovisi o vrijednosti drugih parametara, no ta ovisnost je manja nego za parametar `inspectors-capacity`.

Treći parametar s izraženim utjecajem na rezultate modela je inicijalna sklonost preuzimanju rizika (`default-risk-attitude`). Za razliku od prethodna 2 parametra, porast inicijalne sklonosti preuzimanju rizika dovodi do porasta broja kršenja u sustavu. Taj utjecaj je značajan i monoton. Kao i za prethodna 2 parametra, vrijednost σ ukazuje da utjecaj parametra na rezultate značajno ovisi o vrijednostima drugih parametara.

Parametar `number-of-entities` ima značajan utjecaj na rezultate modela pri primjeni svih strategija osim strategije slučajnog odabira. Razlozi su jasni – veći broj entiteta, uz nepromijenjene ostale parametre, dovodi do većeg apsolutnog (no ne i relativnog) broja prekršaja.

8. Rezultati simulacije i empirijskog istraživanja

Poglavlje sadrži prikaz i statističku analizu podataka prikupljenih u okviru empirijskog istraživanja te podataka generiranih kroz računalnu simulaciju modela ICARUS, što uključuje primjenu deskriptivnih i inferencijalnih statističkih metoda te testiranje postavljenih hipoteza.

8.1. Rezultati empirijskog istraživanja

8.1.1. Deskriptivna analiza

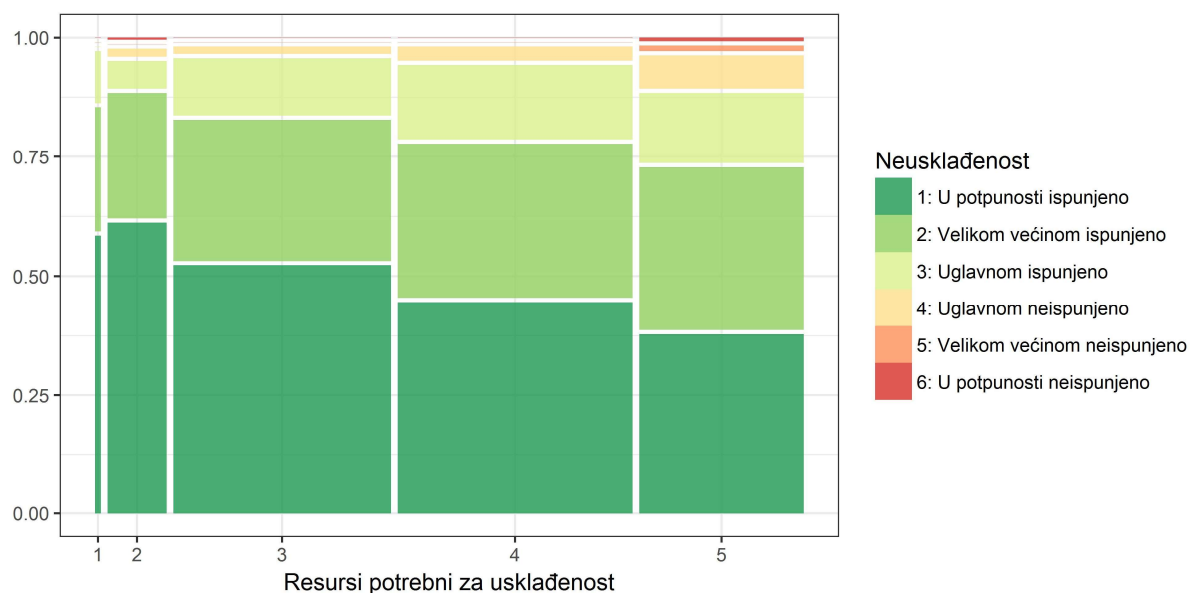
Tablica 8.1 je kontingencijska tabela sa odgovorima svih ispitanika za sve odredbe Odluke o IS-u.

Tablica 8.1 – Kontingencijska tabela sa odgovorima svih ispitanika za sve odredbe Odluke o IS-u: (ne)usklađenost vs. resursna zahtjevnost; prikazane su apsolutne vrijednosti i postotak u odnosu na ukupan broj odgovora

		(Ne)ispunjenost odredbe Odluke o IS						Ukupno
		U potpunosti neispunjeno	Velikom većinom neispunjeno	Uglavnom neispunjeno	Uglavnom ispunjeno	Velikom većinom ispunjeno	U potpunosti ispunjeno	
Resursi potrebni za ispunjenje i održavanje usklađenosti	vrlo mali	0 0,0%	0 0,0%	0 0,0%	5 0,3%	12 0,8%	27 1,7%	44 2,8%
	mali	1 0,1%	0 0,0%	4 0,3%	14 0,9%	64 4,1%	149 9,5%	232 14,7%
	osrednji	0 0,0%	0 0,0%	9 0,6%	72 4,6%	178 11,3%	315 20,0%	574 36,5%
	veliki	0 0,0%	0 0,0%	14 0,9%	76 4,8%	157 10,0%	217 13,8%	464 29,5%
	vrlo veliki	2 0,1%	3 0,2%	19 1,2%	40 2,5%	93 5,9%	103 6,5%	260 16,5%
	Ukupno	3 0,2%	3 0,2%	46 2,9%	207 13,2%	504 32,0%	811 51,5%	1574 100%

Iz prikazanih podataka vidljivo je da su ispitanici većinom usklađeni s odredbama Odluke o IS-u (gotovo 97% odgovora je u kategorijama *uglavnom ispunjeno*, *velikom većinom ispunjeno* i *u potpunosti ispunjeno*, od čega je preko 50% odgovora je u kategoriji *u potpunosti ispunjeno*). Ovakva situacija je i očekivana, obzirom da bi neusklađenost trebala biti izuzetak, a ne pravilo. Nadalje, kreditne institucije su mali broj odredaba ocijenile kao odredbe za čiju usklađenost su potrebni *vrlo mali* resursi (manje od 3% odgovora), a 2/3 svih odredaba su ocijenjene kao odredbe za usklađenost s kojima su potrebni *osrednji* ili *veliki* resursi. Gotovo polovica (odnosno 46%) svih odredaba koje su institucije kršile bile su ocijenjene kao odredbe za usklađenost s kojima su potrebni *vrlo veliki* resursi, iako je u ukupnoj populaciji takvima ocijenjeno manje od 17% odredaba.

Slika 8.1 prikazuje mozaik grafikon rezultata empirijskog istraživanja. Iz prikazanog grafikona vidljive su pravilnosti u odnosima usklađenosti i resursne zahtjevnosti: odredbe ocijenjene kao više resursno zahtjevne (viša kategorija na osi x; 1 = *vrlo mali*, 2 = *mali*, 3 = *osrednji*, 4 = *veliki*, 5 = *vrlo veliki*), karakterizira niža razina usklađenosti. Vizualizacija omogućuje i bolje shvaćanje činjenice da odredbe s kojima kreditne institucije nisu usklađene čine izuzetke, a ne pravilo.



Slika 8.1 – Mozaik grafikon s odgovorima svih ispitanika za sve odredbe Odluke o IS-u: (ne)usklađenost vs. resursna zahtjevnost

Nužno je naglasiti kako neusklađenost nije ravnomjerno raspoređena po odredbama. Naime, 4 odredbe (manje od 10% svih odredaba) s kojima su institucije najčešće bile

neusklađene (odnosno dodijeljene su im ocjene *u potpunosti neispunjeno*, *velikom većinom neispunjeno* ili *uglavnom neispunjeno*) odgovorne su za preko 50% svih neusklađenosti.

Ako se odredbe rangiraju prema resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti s njima te prema broju neusklađenosti, vidljivo je da se određene odredbe ponavljaju. Tabela 8.1 prikazuje usporedbu 10 najviše rangiranih odredaba prema broju neusklađenosti te 10 najviše rangiranih odredaba prema resursnim zahtjevima. Iz prikazane tabele vidljivo je da postoji povezanost ovih svojstava, obzirom da su 7 odredaba na obje liste, a od 4 najviše rangirane odredbe na obje liste, 3 odredbe su iste.

Tabela 8.1 – Usporedbu 10 najviše rangiranih odredaba prema broju neusklađenosti te 10 najviše rangiranih odredaba prema resursnim zahtjevima

Neusklađenost		Potrebni resursi	
Rang	Odredba	Rang	Odredba
1	Čl. 27. pod. b)	1	Čl. 31.
2	Čl. 17.	2	Čl. 27. pod. a)
3	Čl. 27. pod. a)	3	Čl. 27. pod. b)
4	Čl. 23. st.(1)	4	Čl. 23. st.(1)
5	Čl. 20.	5	Čl. 36.
6	Čl. 31.	6	Čl. 18.
7	Čl. 18.	7	Čl. 26.
8	Čl. 26.	8	Čl. 23. st.(3)
9	Čl. 34.	9	Čl. 17.
10	Čl. 13.	10	Čl. 6.

Rezultati deskriptivne analize podataka prikupljenih kroz empirijsko istraživanje ukazuju na opravdanost daljnje analize, odnosno testiranja hipoteze H.3 i provjeru postoji li barem srednje velika, pozitivna korelacija između resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba.

8.1.2. Korelacijska analiza

U cilju provjere ispunjenosti preduvjeta za primjenu polikorične korelacije, proveden je χ^2 test bivarijatne normalnosti. Rezultati testa pokazuju da su preduvjeti ispunjeni ($\chi^2 = 24,59$; $df = 19$; $p = 0,1744$). Odnosno, rezultati χ^2 testa ne osporavaju pretpostavku o normalnoj distribuciji latentnih varijabla [207, p. 155]. Nadalje, rezultati statističkog testa

pokazuju da postoji pozitivna korelacija između resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba ($ML = 0,2147^*$). Obzirom na veličinu korelacijskog koeficijenta, povezanost je moguće opisati kao nisku. Pri tumačenju rezultata testa, u obzir treba uzeti da su obje karakteristike (usklađenost i resursna zahtjevnost) mjerene putem ordinalnih varijabla s razmjeno malim brojem mogućih vrijednosti (5, odnosno 6), kao i pristranosti za koje je moguće da su prisutne u podacima (razloženo u poglavlju 0), a koji dovode do velikog broja izjednačenih rezultata (engl. *ties*). U tabelama u nastavku (Tablica 8.2 i Tablica 8.3) prikazani su dodatni rezultati polikorične korelacije (pragovi i standardne pogreške) te izračunati centriodi.

Tablica 8.2 – Pragovi intervala polikorične korelacije, pripadajuća standardna pogreška te izračunati centriodi pojedinačnih kategorija, za resursnu zahtjevnost ispunjavanja odredaba

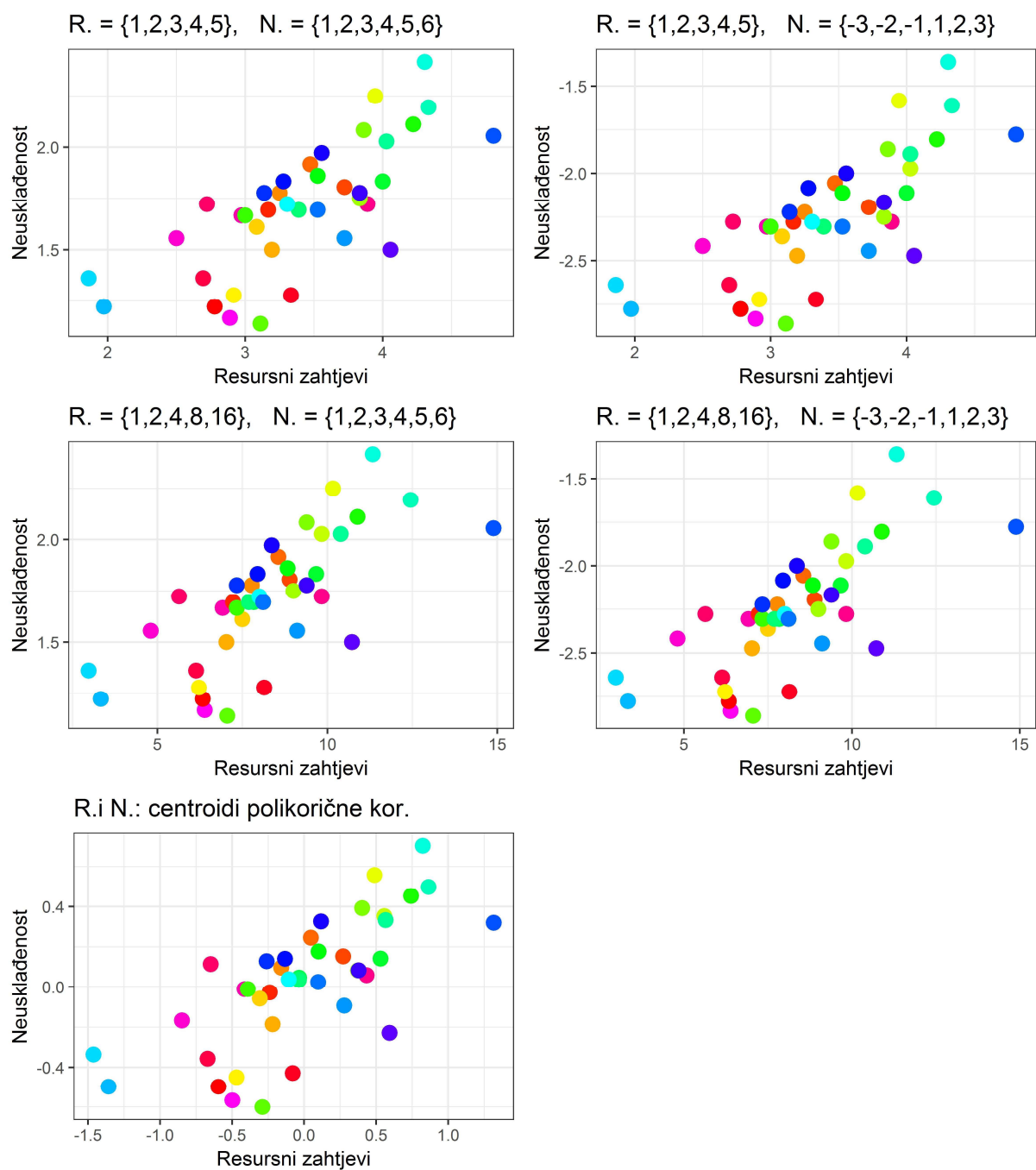
Prijelaz kategorija	Prag	SE	Kategorija	Centroid
vrlo mali → mali	-1,9090	0,06449	vrlo mali	-2,2928657
mali → osrednji	-0,9337	0,03712	mali	-1,3153708
osrednji → veliki	0,1004	0,03163	osrednji	-0,3809304
veliki → vrlo veliki	0,9739	0,03769	veliki	0,5039727
			vrlo veliki	1,5042718

Tablica 8.3 – Pragovi intervala polikorične korelacije, pripadajuća standardna pogreška te izračunati centriodi pojedinačnih kategorija, za usklađenost s odredabama

Prijelaz kategorija	Prag	SE	Kategorija	Centroid
u potpunosti ispunjeno → velikom većinom ispunjeno	0,03782	0,03157	u potpunosti ispunjeno	-0,77396
velikom većinom ispunjeno → uglavnom ispunjeno	0,97400	0,03771	velikom većinom ispunjeno	0,470155
uglavnom ispunjeno → uglavnom neispunjeno	1,84000	0,06132	uglavnom ispunjeno	1,323204
uglavnom neispunjeno → velikom većinom neispunjeno	2,68500	0,13830	uglavnom neispunjeno	2,138122
velikom većinom neispunjeno → u potpunosti neispunjeno	2,91400	0,18280	velikom većinom neispunjeno	2,78737
			u potpunosti neispunjeno	3,203285

Slika 8.2 prikazuje 5 dijagrama raspršenja s usporedbom prosječnih vrijednosti resursne zahtjevnosti i usklađenosti odredaba, ovisno o načinu kodiranja ordinalnih varijabla.

Iz prikazanoga je vidljivo da je raspored članaka na svih 5 grafikona sličan, odnosno kodiranje varijabla ima utjecaj na distribuciju, ali taj utjecaj nije presudan. Pri tome je posebno izražena sličnost relativnog odnosa (rangova) odredaba na svih 5 grafikona. Prikazani grafikoni također sugeriraju postojanje pozitivne korelacije između resursne zahtjevnosti i neusklađenosti.



Slika 8.2 – Odnos prosječnih (aritmetička sredina) vrijednosti ocjena resursne zahtjevnosti i usklađenosti za pojedinačne odredbe Odluke o IS; svaka podatkovna točka odnosi se na pojedinačnu odredbu Odluke o IS-u, a isti članci su označeni identičnim bojama; na osi x prikazana je resursna zahtjevnost relevantne odredbe, a na osi y razina neusklađenosti, pri čemu veća vrijednost predstavlja višu neusklađenost; naslov svakog grafikona navodi način kodiranja ordinalnih varijabla.

Tablica 8.4 prikazuje korelacije između prosječnih ocjena resursne zahtjevnosti usklađenosti s odredbama te prosječnih ocjena neusklađenosti s pojedinačnim odredbama. Vidljivo je da su izračunati koeficijenti međusobno vrlo slični, što sugerira visoku razinu neovisnosti o načinu kodiranja.

Tablica 8.4 – Rezultati Pearson r te Spearman p testova provedenih nad prosječnim (aritmetička sredina) vrijednostima ocjena resursne zahtjevnosti i usklađenosti za pojedinačne odredbe Odluke o IS, za 5 razmatranih kombinacija kodiranja varijabla; prva dva segmenta tablice navode načine kodiranja

Resursi					Neusklađenost						Korelacijski koeficijenti	
vrlo mali	mali	osrednji	veliki	vrlo veliki	U potpunosti ispunjeno	Velikom većinom ispunjeno	Uglavnom ispunjeno	Uglavnom neispunjeno	Velikom većinom neispunjeno	U potpunosti neispunjeno	Pearson r	Spearman ρ
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	0,7327****	0,7536****
1	2	3	4	5	-3	-2	-1	1	2	3	0,7407****	0,7453****
1	2	4	8	16	1	2	3	4	5	6	0,7157****	0,7551****
1	2	4	8	16	-3	-2	-1	1	2	3	0,7366****	0,7498****
Centroidi inter. polikor. kor.					Centroidi inter. polikor. kor.						0,7143****	0,7345****

Svi rezultati pokazuju da postoji pozitivna korelacija između percepcije resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba. Obzirom da je vrijednost svih korelacijskih koeficijenata veća od 0,7; povezanost je u svim slučajevima moguće opisati kao vrlo veliku.

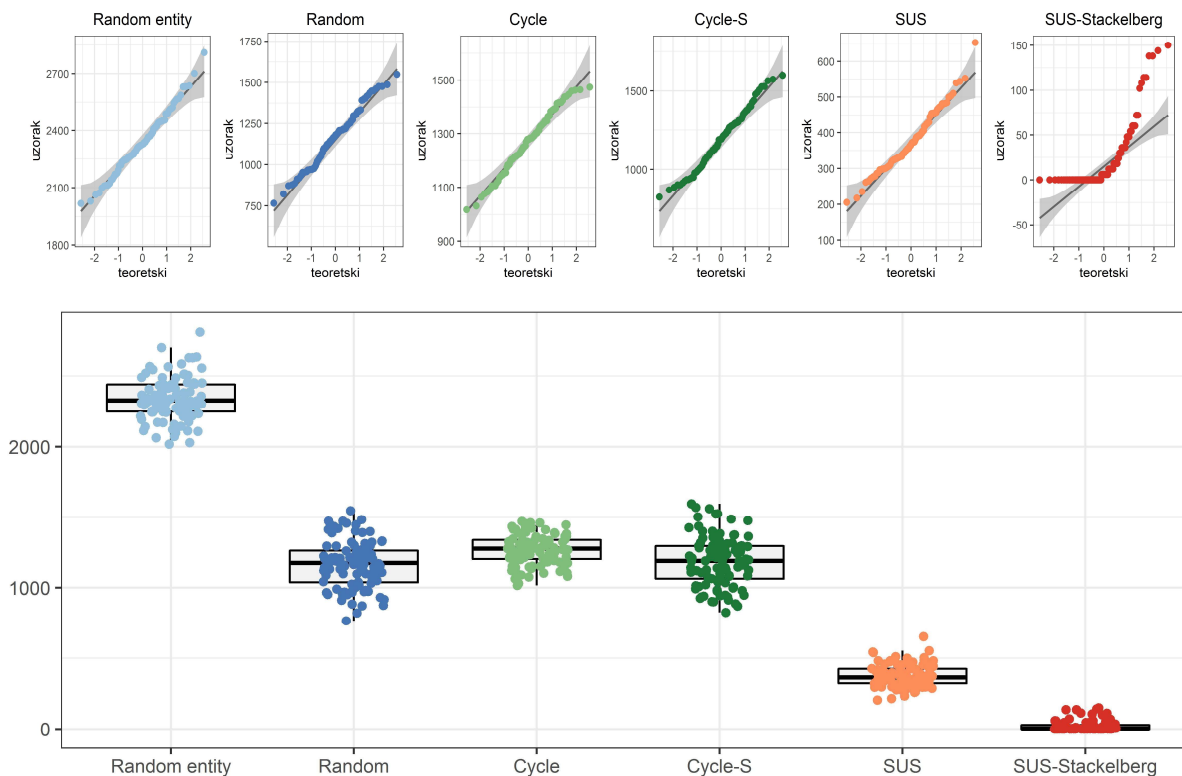
8.2. Rezultati simulacije

Grafički prikaz rezultata simulacije za svaki scenarij sastoji se od dva dijela. Prvi (gornji) dio prikazuje grafikone usporedbe kvantila svakog uzorka, a drugi (donji) dio grafikona sadrži usporedni prikaz svih 6 grupa podataka. Na osi x grafikona su nazivi grupa (kategorija) podataka, a na osi y zabilježeni broj kršenja. Svaka točka predstavlja zabilježeni broj kršenja (rp-violations) nakon 25 koraka simulacije, za zadanu inspekcijsku strategiju. Horizontalni pomak točaka (engl. *jitter*) nema značenje, već je napravljen radi stjecanja boljeg uvida u distribuciju podataka.

8.2.1. Scenarij DK-E

Slika 8.3 prikazuje rezultate simulacije 6 zadanih inspekcijskih strategija za scenarij DK-E. Iz QQ grafikona vidljivo je da rezultati simulacija u kojima je primijenjena strategija

slučajnog te cikličnog odabira ne odstupaju u većoj mjeri od normalne distribucije. Međutim, rezultati inspekcija primjenom SUS-*Stackelberg* strategije značajno odudaraju od normalne distribucije. Iz donjeg grafikona moguće je izvesti objašnjenje tog odudaranja.



Slika 8.3 – Rezultati simulacije za scenarij DK-E, za 6 inspekcijskih strategija; gornji dio slike prikazuje QQ grafikone, pri čemu je osjenčano područje intervala pouzdanosti 95% za normalnu razdiobu slučajnih vrijednosti; donji dio slike prikazuje pojedinačne rezultate simulacija i pripadajuće B-P dijagrame za danu inspekcijsku strategiju; vodoravni pomak pojedinačnih rezultata na donjem grafikonu napravljen je radi bolje vizualizacije

Iz prikazanih podataka vidljivo je da je navedena strategija toliko uspješna da u većem broju inspekcija (uz zadane ulazne parametre) niti nakon 25 koraka simulacije nije identificiran niti jedan prekršaj. Obzirom da ne može biti manje od 0 kršenja, velik broj inspekcija s 0 kršenja utječe na karakteristike distribucije, odnosno iskrivljuje ju. Iz prikaza rezultata vidljivo je da su simulacije u kojima je primijenjena SUS strategija uspješnije od simulacija u kojima su primijenjene slučajne te ciklične strategije. Odnosno, simulacije u kojima je primijenjena SUS strategija rezultirale su s manjim ukupnim brojem kršenja. Simulacije u kojima je primijenjena SUS-*Stackelberg* strategija rezultirale su još manjim brojem kršenja. Strategija sa značajno najlošijim rezultatima je strategija slučajnog odabira entiteta. Simulacije u kojima su primijenjene strategije *Cycle* i SUS imaju manje varijance od strategija u kojima su

primijenjene strategije *Random*, *Random entity* ili *Cycle-S* strategija, a najmanju varijancu imaju simulacije u kojima je primijenjena strategija inspekcije *SUS-Stackelberg*.

Nastavno na zaključke izvedene iz prikazanih grafikona, provedena je Kruskal-Wallis jednosmjerna analiza varijance po rangu. Rezultati provedenog Kruskal-Wallis testa pokazuju da među grupama podataka postoje statistički značajne razlike ($\chi^2 = 522,37$; $df = 5$; $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$). *Post-hoc* analiza primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju daje rezultate prikazane u nastavku (Tablica 8.5):

Tablica 8.5 – Usporedba parova rezultata simulacija za scenarij DK-E primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju, za nezavisne uzorke

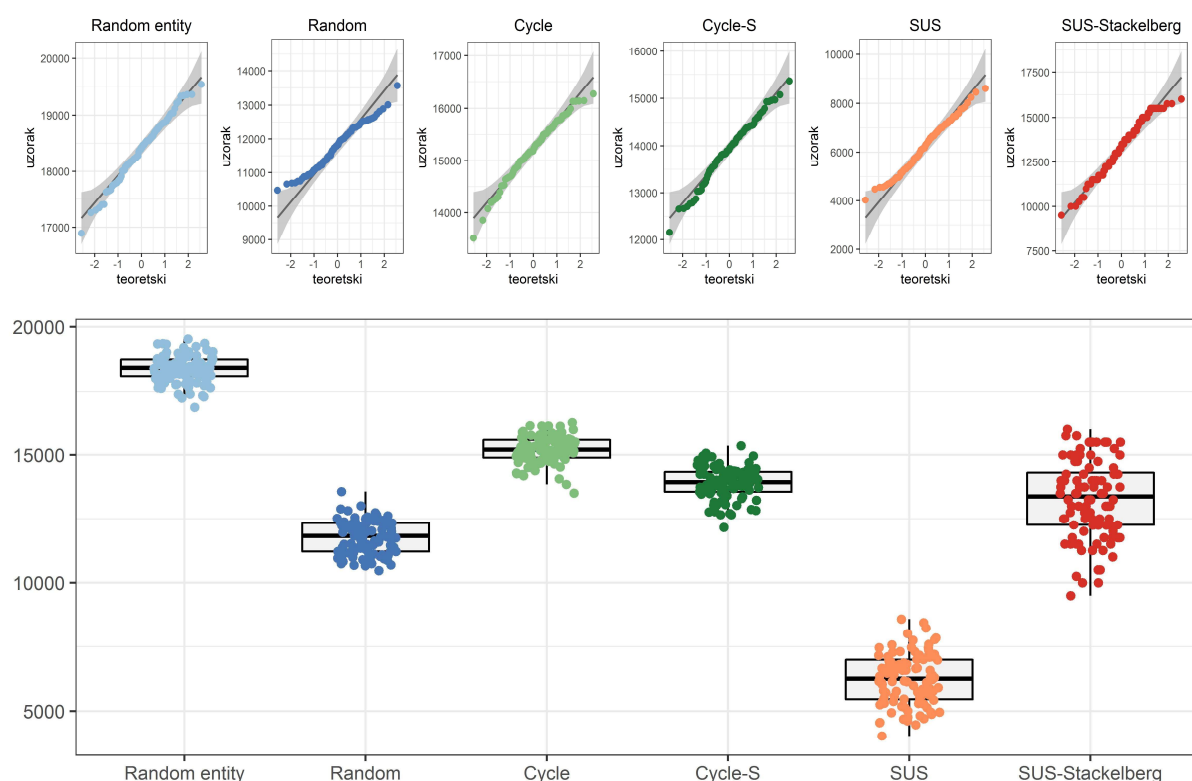
	Cycle	Cycle-S	Random	Random entity	SUS
Cycle-S	0,5990	-	-	-	-
Random	0,3461	0,9990	-	-	-
Random entity	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-14}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	-	-
SUS	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	-
SUS-Stackelberg	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	0,0052

Za postavljene hipoteze (H.1, H.2 i H.4) relevantne su usporedbe SUS strategije sa slučajnim i cikličnim strategijama (predzadnji red matrice usporedaba) te usporedba *SUS-Stackelberg* i SUS strategija (ćelija na poziciji (5,5)). Prikazani rezultati pokazuju statistički značajne razlike u broju kršenja pri primjeni SUS strategije u odnosu na primjenu *Random*, *Random entity*, *Cycle* ili *Cycle-S* strategija. Nadalje, iz rezultata je vidljivo i da postoje statistički značajne razlike pri primjeni *SUS-Stackelberg* strategije u odnosu na SUS strategiju.

8.2.2. Scenarij US-W

Slika 8.4 prikazuje rezultate simulacija 6 zadanih inspekcijskih strategija za scenarij inspekcija zaštite na radu u SAD-u (US-W). Iz QQ grafikona vidljivo je da rezultati simulacija u kojima je primijenjena strategija slučajnog odabira (*Random*) značajnije odudaraju od normalne distribucije. Donji grafikon pruža niz informacija o rezultatima simulacija. Početno, vidljivo je da strategija slučajnog odabira entiteta ponovno daje najlošije rezultate, odnosno primjenom te strategije postiže se najveći broj kršenja pravila. Nadalje, kao i u prethodnom scenariju, simulacije u kojima je primijenjena SUS strategija uspješnije su od simulacija u kojima su primijenjene slučajne te ciklične strategije. Međutim, simulacije u kojima je primijenjena *SUS-Stackelberg* strategija rezultirale su većim brojem kršenja nego simulacije u kojima je primjena SUS strategija, pa čak i *Random* strategija. Rezultati simulacija u kojima je

primijenjena SUS-Stackelberg strategija pokazuju veliku varijancu: ukupan broj kršenja varira od 9.000, pa do preko 16.000.



Slika 8.4 – Rezultati simulacije za scenarij US-W, za 6 inspekcijskih strategija; gornji dio slike prikazuje QQ grafikone, pri čemu je osjenčano područje intervala pouzdanosti 95% za normalnu razdiobu slučajnih vrijednosti; donji dio slike prikazuje pojedinačne rezultate simulacija i pripadajuće B-P dijagrame za danu inspekcijsku strategiju; vodoravni pomak pojedinačnih rezultata na donjem grafikonu napravljen je radi bolje vizualizacije

Kruskal-Wallis jednosmjerna analiza varijance po rangu pokazuje da među grupama podataka postoje statistički značajne razlike ($\chi^2 = 532,71$; $df = 5$; $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$). *Post-hoc* analiza primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju daje rezultate prikazane u nastavku (Tablica 8.6):

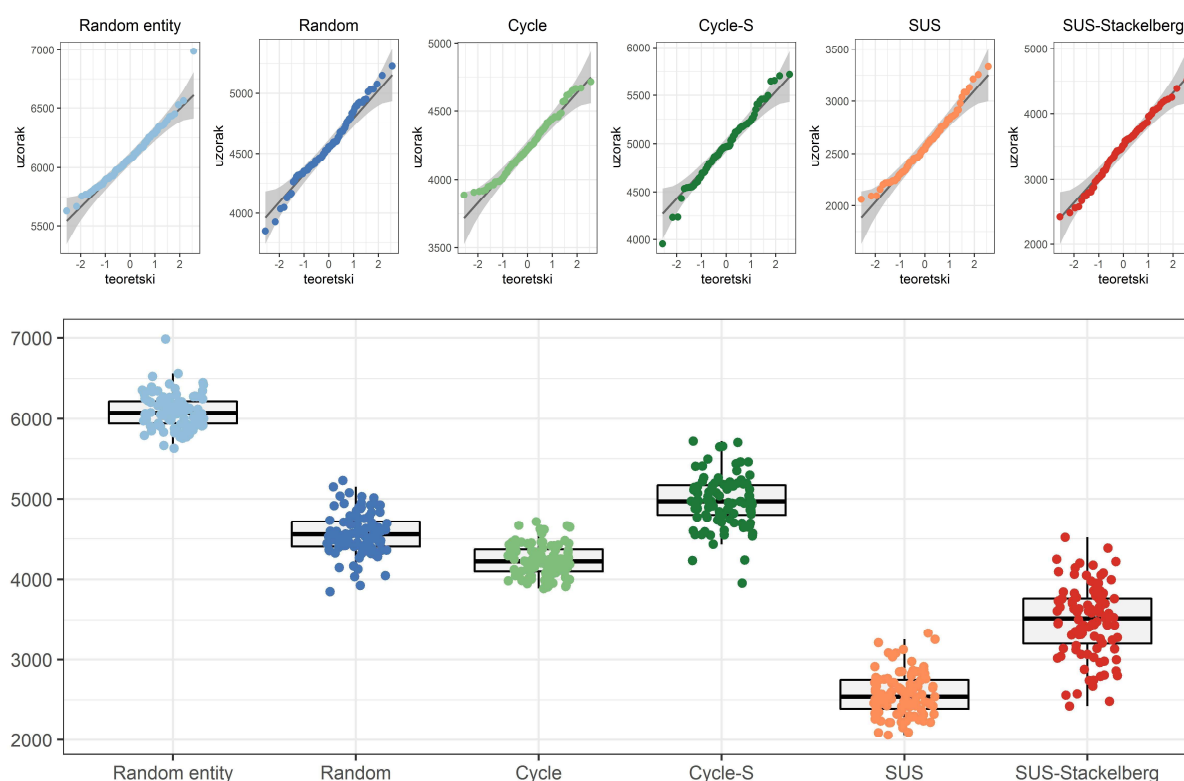
Tablica 8.6 - Usporedba parova rezultata simulacija za scenarij US-W primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju, za nezavisne uzorke

	Cycle	Cycle-S	Random	Random entity	SUS
Cycle-S	0,00051	-	-	-	-
Random	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$9,7 \cdot 10^{-7}$	-	-	-
Random entity	0,00035	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	-	-
SUS	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	0,00020	$< 2 \cdot 10^{-16}$	-
SUS-Stackelberg	$2,3 \cdot 10^{-7}$	0,78994	0,00140	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$

Prikazani rezultati potvrđuju statističku značajnost zaključka da se primjenom SUS strategije postiže manji broj kršenja nego primjenom *Random*, *Random entity*, *Cycle* ili *Cycle-S* strategija (4. redak matrice rezultata). Obzirom da je već iz analize vizualnog prikaza podataka bilo vidljivo da se primjenom *SUS-Stackelberg* strategije ne postiže manji broj kršenja nego primjenom SUS strategije, statistička značajnost rezultata u ćeliji (5,5) nije relevantna.

8.2.3. Scenarij IT-B

Slika 8.5 prikazuje rezultate 6 zadanih inspekcijskih strategija za scenarij supervizije banaka u Italiji (IT-B).



Slika 8.5 – Rezultati simulacije za scenarij IT-B, za 6 inspekcijskih strategija; gornji dio slike prikazuje QQ grafikone, pri čemu je osjenčano područje intervala pouzdanosti 95% za normalnu razdiobu slučajnih vrijednosti; donji dio slike prikazuje pojedinačne rezultate simulacija i pripadajuće B-P dijagrame za danu inspekcijsku strategiju; vodoravni pomak pojedinačnih rezultata na donjem grafikonu napravljen je radi bolje vizualizacije

Strategija slučajnog odabira entiteta ponovno daje najlošije rezultate te se primjenom te strategije postiže najveći broj kršenja pravila. Inspekcije u kojima je primijenjena SUS strategija ponovno su uspješnije od inspekcija u kojima su primijenjene slučajne te ciklične strategije. Simulacije u kojima je primijenjena *SUS-Stackelberg* strategija rezultirale su većim

brojem kršenja nego simulacije u kojima je primjena SUS strategija. Dodatno, simulacije u kojima je primijenjena strategija inspekcije *SUS-Stackelberg* ponovno (kao i poglavlju 8.2.2) imaju razmjerno veliku varijancu te ukupan broj kršenja varira od 2.400, pa do preko 4.500.

QQ grafikoni ne pokazuju da rezultati inspekcijskih strategija odudaraju od normalne distribucije (osim pri primjeni strategija *Random* i *Cycle* koje daju granične rezultate). Međutim, radi osiguravanja izravne usporedivosti s rezultatima prethodnih testova i u ovom scenariju primijenjena je Kruskal-Wallis jednosmjerna analiza varijance po rangui.

Kruskal-Wallis jednosmjerna analiza varijance po rangui pokazuje da među grupama podataka postoje statistički značajne razlike ($\chi^2 = 551,56$; $df = 5$; $p < 2,2 \cdot 10^{-1}$). *Post-hoc* analiza primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju daje rezultate prikazane u nastavku (Tablica 8.7):

Tablica 8.7 - Usporedba parova rezultata simulacija za scenarij IT-B primjenom Nemenyi testa, uz χ^2 aproksimaciju, za nezavisne uzorke

	Cycle	Cycle-S	Random	Random entity	SUS
Cycle-S	$3,60 \cdot 10^{-9}$	-	-	-	-
Random	0,03008	0,04042	-	-	-
Random entity	$< 2 \cdot 10^{-16}$	0,00033	$3,50 \cdot 10^{-13}$	-	-
SUS	$4,30 \cdot 10^{-14}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	-
SUS-Stackelberg	0,00115	$< 2 \cdot 10^{-16}$	$1,70 \cdot 10^{-12}$	$< 2 \cdot 10^{-16}$	0,00734

Prikazani rezultati potvrđuju statističku značajnost saznanja da se primjenom SUS strategije postiže manji broj kršenja nego primjenom *Random*, *Random entity*, *Cycle* ili *Cycle-S* strategija. Isto tako, obzirom da je već iz analize vizualnog prikaza podataka bilo vidljivo da se primjenom *SUS-Stackelberg* strategije ne postiže manji broj kršenja nego primjenom SUS strategije, statistička značajnost rezultata u ćeliji (5,5) nije relevantna. Međutim, primjenom *SUS-Stackelberg* strategije postiže se statistički značajno manji broj prekršaja nego primjenom *Random*, *Random entity*, *Cycle* ili *Cycle-S* strategija.

9. Rasprava

Poglavlje sadrži pregled zaključaka istraživanja. Zaključci su povezani sa saznanjima iz literature, navedena su ograničenja provedenog istraživanja te je dan pregled mogućih smjerova daljnjih istraživanja. Razmotrene su i implikacije provedenog istraživanja na praktično provođenje i analizu inspekcija usklađenosti.

Prvi cilj istraživanja bio je razviti višeagentni model centralno-koordinirane inspekcije usklađenosti u sustavu s više nadziranih organizacija, svaka od kojih se mora pridržavati više odredaba, te koji će biti primjenjiv na više različitih okruženja. Razvijeni model kalibriran je, verificiran te je provjerena njegova valjanost temeljem podataka o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, inspekcijama usklađenosti u bankarstvu te inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti na radu.

Provedeni testovi općenite valjanosti modela ICARUS (poglavlje 7.2.1) pokazuju da je razvijeni model uspješno rekreirao opažanja i zaključke identificirane u analiziranim empirijskim istraživanjima (pregled literature u poglavlju 4.2). Potvrđena su empirijska makro-opažanja da porast kazne [50][159][160][161][155] te porast razine inspekcija [50][154][148][120][155] dovodi do smanjenja broja kršenja. Pri tome provođenje inspekcije ima vrlo mali utjecaj na usklađenost kad su kazne za neusklađenost vrlo niske [157][155]. Veći trošak usklađenosti pak dovodi do više razine neusklađenosti [47][26][153]. Istraživanjem su potvrđena i opažanja o ponašanju entiteta (mikro-opažanja) da se nakon inspekcija [155][148], nakon kažnjavanja [50], pri porastu percipirane vjerojatnosti kazne [155] te pri porastu percipirane vjerojatnosti inspekcije [120] povećava razina usklađenost entiteta s relevantnim pravilima. Nadalje, pokazano je da produljenje vremena od posljednje inspekcije entiteta dovodi do porasta razine kršenja od strane tog entiteta [157][39].

U skladu s navedenim opažanjima, vidljivo je da se razvijeni model ponaša u skladu s predviđanjima ekonomskog modela odvrćanja [39][36, p. 236] te pretpostavkom da su entiteti

racionalni pri odlučivanju o usklađenosti. S druge strane, razvijeni model se ponaša suprotno od analitičkih zaključaka Tsebelisove igre inspekcije [43][23][75] koja predviđa da visina kazne neće utjecati na razinu kršenja entiteta te da će više kazne dovesti do manjeg broja inspekcija. Takav rezultat je i očekivan, obzirom da se ICARUS ne oslanja na inicijalne pretpostavke Tsebelisovog modela (pretpostavka o potpunim informacijama entiteta i inspektora, pretpostavka da su inspektori vođeni individualnim interesima, itd.), već na pretpostavku ograničene racionalnosti entiteta.

Iz svega navedenoga vidljivo je da su rezultati testova općenite valjanosti modela usklađeni s očekivanim rezultatima te teorijskim okvirom na temelju kojeg je model razvijen.

Analiza osjetljivosti modela ICARUS pokazala je kako ukupan broj kršenja u sustavu ovisi o ulaznim parametrima te ukazala na moguća područja fokusa stvarnih inspekcijskih strategija. Početno, pokazala je da najznačajniji utjecaj na ukupan broj prekršaja ima inspekcijski kapacitet. Odnosno najveće smanjenje broja prekršaja postiže se povećanjem inspekcijskog kapaciteta. Osim ovog parametra, na ukupan broj kršenja značajan utjecaj imaju iznos kazne (veća kazna dovodi do manje prekršaja) te temeljna (odnosno prosječna) sklonost entiteta preuzimanju rizika (veća temeljna sklonost preuzimanju rizika dovodi do većeg broja prekršaja). Važnosti i razlike u utjecaju ova 3 ulazna parametara na rezultate modela u suglasju su s rezultatima provjere valjanosti. Naime, provjera valjanosti je, između ostaloga, provjeravala i povezanost porasta kazne i broja kršenja (poglavlje 7.2.1.1), porasta inspekcija i broja kršenja (poglavlje 7.2.1.2) te porasta sklonosti preuzimanju rizika i broja kršenja (poglavlje 7.2.1.5). Na primjeru provjere valjanosti strategije slučajnog odabira entiteta moguće je uočiti da je porast kapaciteta od 5 puta doveo do pada broja prekršaja od gotovo 10 puta, porast kazne od otprilike 150% doveo je do pada broja prekršaja od nešto više od 50%, a povećanje inicijalne sklonosti preuzimanju rizika od 200% dovelo je do porasta broj prekršaja za nešto više od 100%. Odnosno, smjer i veličina utjecaja su u suglasju između rezultata provjera opće valjanosti i rezultata analize osjetljivosti.

Većina preostalih ulaznih parametara ima mnogo manji utjecaj na ukupan broj kršenja. Za neke od navedenih parametara bilo je i očekivano da će imati malen utjecaj na broj kršenja. Primjerice, parametri `max-deviation-resources` i `max-risk-attitude-deviation`, sukladno opisu modela u poglavlju 6.3.2, definiraju moguća odstupanja vrijednosti internih varijabla pojedinačnih entiteta od globalno definiranih vrijednosti. Obzirom da vrijednosti ovih parametara utječu na razinu rasapa, odnosno odstupanja karakteristika entiteta u pozitivnom, ali i u negativnom smjeru, za očekivat je da će se te razlike međusobno poništiti, odnosno da

na globalnoj razini (ukupan broj kršenja u cijelom sustavu) neće biti značajnijih razlika u ukupnom broju kršenja ovisnih o vrijednosti ovih parametara. Donekle neočekivano, točnost provođenja inspekcija te stopa diskontiranja također nemaju posebno velik utjecaj na ukupan broj kršenja. Obzirom na neočekivanost ovih rezultata – posebice za parametar točnosti inspekcija – trebalo bi ih provjeriti, u prvom redu kroz odgovarajuća empirijska istraživanja. Utjecaj broja pravila na rezultate je izraženiji samo pri primjeni strategije slučajnog odabira entiteta. Uzrok je činjenica da su pri primjeni te inspekcijske strategije, inspekcije razmjerno rijetke te entiteti koji dulje vrijeme nisu nadzirani češće krše pravila. Stoga veći broj pravila zapravo znači i veći broj pravila koja neće biti obuhvaćena inspekcijom. Obzirom na povezanost vremena koje je proteklo od prethodne inspekcije i broja kršenja – koja je potvrđena i provjerom valjanosti (poglavlje 7.2.1.6) – posljedica je veći broj kršenja. Činjenica da neki parametri modela imaju mali utjecaj na ukupan broj kršenja (koje predstavlja glavnu mjeru temeljem koje se analizirao i vrednovao model) ukazuje na mogućnost razvoja pojednostavljenog modela inspekcije usklađenosti koji ne bi uključio parametre s malim utjecajem, a bio bi valjan.

Valja primijetiti da je utjecaj inicijalne sklonosti preuzimanju rizika na rezultate modela manji pri primjeni strategije slučajnog odabira entiteta nego pri primjeni ostalih strategija inspekcije. Razlog je u manjem ukupnom broju inspekcija pri primjeni te strategije.

Testovi specifične valjanosti modela ICARUS (poglavlje 7.2.2) pokazali su određene sličnosti, ali i razlike u procijenjenim ulaznim parametrima za 3 razmatrana scenarija. Ove razlike, ako se pojavljuju i u stvarnosti, mogle bi biti povezane sa specifičnostima poslovnog područja u kojem entiteti djeluju, regulatornim okruženjem, kulturološkim karakteristikama, korporativnim upravljanjem, itd.

Vidljive su značajne razlike u ulaznim parametrima scenarija DK-E s jedne, te scenarija US-W i IT-B s druge strane, koje dovode do većih razlika u rezultatima. Naime, scenarij DK-E karakterizira veći inspekcijski kapacitet, niža prosječna sklonosti entiteta preuzimanju rizika te niža kazna (u odnosu na resursnu zahtjevnost ispunjavanja odredaba) u odnosu na preostala 2 scenarija. Primjerice, iako su entiteti u sva 3 scenarija u prosjeku skloni preuzimanju rizika, razlike u toj sklonosti su značajne. Tako su entiteti u scenariju US-W – u prosjeku – gotovo 3 i pol puta skloniji preuzimanju rizika nego entiteti u scenariju DK-E. Moguće devijacije sklonosti riziku pojedinog entiteta od prosječne sklonosti riziku su velike u svim scenarijima (82%-96%). Značajno veću prosječnu sklonost riziku u scenariju US-W u odnosu na scenarij DK-E moguće je povezati i s empirijskim pokazateljima koji su se pokušali rekreirati kroz provjeru specifične

valjanosti. Naime, iako ti parametri nisu izravno usporedivi, vidljivo je da se u scenariju DK-E najčešće kršeno pravilo kršilo u 19,5% slučajeva (koraka), dok u scenariju US-W čak 85% entiteta nije bilo usklađeno s jednim ili više pravila u trenutku prve inspekcije.

Obzirom da inspekcijski kapacitet, prosječna sklonost riziku i kazna imaju velik utjecaj na ukupan broj kršenja, pri testiranju hipoteza utvrđen je mnogo manji ukupan broj kršenja u scenariju DK-E u odnosu na scenarije US-W i IT-B. Naime, kao što je navedeno, inicijalna sklonost preuzimanju rizika kao i maksimalna devijacija sklonosti preuzimanju rizika najmanji su za scenarij DK-E. Zbog takve kombinacije ulaznih parametara, entiteti su neskloniji preuzimanju rizika te kršenju pravila. S druge strane, inspekcijski kapacitet u scenariju DK-E je 0,33, što je za više od 60% veće od inspekcijskog kapaciteta u scenarijima US-W i IT-B. Utjecaj ovih parametara na rezultate modela je velik, što je potvrđeno i analizom osjetljivosti.

Vidljive su značajne razlike i u točnosti inspekcija. Tako u scenariju US-W svega 3% inspekcija griješi u detekciji neusklađenosti, dok u scenariju IT-B preko 50% inspekcija griješi u detekciji neusklađenosti. Razlog bi mogao biti u različitim karakteristikama relevantne regulative. Naime, pravila zaštite na radu razmjerno su egzaktna (tzv. regulativa vođena pravilima – engl. *rule-based* [208]) te je moguće pretpostaviti da se s visokom točnošću može utvrditi usklađenost ili neusklađenost. S druge strane, bankovna regulativa se često navodi kao primjer regulative vođene principima (engl. *principle-based*) [208]. Usklađenost odnosno neusklađenost s principima teže je procijeniti te su moguća razmimoilaženja u tumačenju. Povezano s tim, moguće je pretpostaviti da u takvom okruženju nadzirani ponekad inspektora može uvjeriti u usklađenost iako je u stvarnosti neusklađen. S druge strane, koeficijent diskontiranja u sva 3 scenarija je vrlo nizak, što ukazuje da entiteti vrlo dobro pamte povijest.

Usporedba rezultata simulacija provedenih u okviru testiranja hipoteza (poglavlje 8.2) pokazala je značajne razlike u ukupnoj razini kršenja, ovisno o razmatranom scenariju te primijenjenoj inspekcijskoj strategiji. Rezultati testova hipoteza opisani u poglavljima 8.2.1, 8.2.2 i 8.2.3 pokazali su da je primjenom inspekcijske strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja (SUS) u svim razmatranim scenarijima zabilježen značajno manji broj kršenja nego pri primjeni nasumičnih ili cikličnih strategija. Međutim, primjena inspektorovog vodstva (SUS-*Stackelberg* inspekcijska strategija) dovela je do značajno boljih rezultata nego primjena strategije stohastičkog univerzalnog uzorkovanja samo u slučaju scenarija DK-E. Odnosno, primjenom SUS-*Stackelberg* inspekcijske strategije u scenariju DK-E postignut je daleko najmanji broj kršenja, dok je u US-W i IT-B scenarijima SUS-*Stackelberg* strategija bila

značajno inferiornija SUS strategiji. Navedeni rezultati omogućuju sljedeći zaključak o postavljenim hipotezama: **Hipoteze H.1 i H.2 se prihvaćaju, a hipoteza H.4 se odbacuje.**

Moguće implikacije rezultata provjera specifične valjanosti i testova hipoteza su višestruke. Kao što je već spomenuto, moguće je da DK-E s jedne, te US-W i IT-B s druge strane, predstavljaju dva tipa okruženja. U prvom tipu okruženja optimalna strategija inspeksijske agencije je provoditi inspekciju prema resursnim zahtjevima postizanja i održavanja usklađenosti s odredbama te pri tome na vjerodostojan način entitetima objaviti da će provoditi navedenu inspeksijsku strategiju. U drugom tipu okruženja, optimalna strategija agencije je provoditi inspekciju prema resursnim zahtjevima postizanja i održavanja usklađenosti s odredbama, no kriti od entiteta informaciju o primljenoj strategiji. Naravno, upitno je koliko je realna mogućnost dugotrajnog prikriivanja inspeksijske strategije, posebice ako se u model uvede mogućnost komunikacije među entitetima.

Rezultati istraživanja imaju izravne implikacije i na inspeksijsku praksu te ih je moguće primijeniti na prilagodbu postojećih i razvoj novih strategija inspekcije, što je ujedno i društveni doprinos ovog istraživanja. Prva moguća promjena inspeksijske prakse jest povećanje inspeksijskog kapaciteta ili kazne za neusklađenost, što bi trebalo dovesti do smanjenja ukupnog broja kršenja. No, iako bi povećanje inspeksijskog kapaciteta bilo očito unaprjeđenje (ako je cilj smanjenje ukupnog broja kršenja), ono je gotovo uvijek izravno povezano s povećanjem troškova inspeksijskih agencija, što takve promjene često čini teškima ili neprovedivima u realnim političkim okolnostima. Međutim, rezultati simulacije također pokazuju da točnost inspekcija u utvrđivanju kršenja ima razmjerno mali utjecaj na ukupan broj kršenja. Ovaj rezultat u kombinaciji sa saznanjima o osjetljivosti rezultata na inspeksijski kapacitet ukazuje da bi inspeksijske agencije mogle pokušati kontrolirati troškove svog djelovanja balansiranjem povećanja kapaciteta inspekcija sa smanjenjem ulaganja u inspektore, smanjenjem vremena koje se ulaže u pojedinačne inspekcije i/ili smanjivanjem opsega i iscrpnosti dokaznih postupaka. Primjerice, moglo bi biti oportuno povećati broj i/ili opseg inspekcija nauštrb njihove kvalitete provođenjem površnijih inspekcija ili angažiranjem manje iskusnih inspektora koji bi – moguće je pretpostaviti – bili i jeftiniji. S druge strane, na ukupan broj kršenja moglo bi se pokušati utjecati i indirektno. Primjerice, obzirom da zakonodavci ili nadzornici ne mogu izravno utjecati na sklonost entiteta preuzimanju rizika, mogu pokušati na nju utjecati ograničavanjem načina nagrađivanja zaposlenika i vlasnika (primjerice, putem

propisa o nagradama i primitcima), kroz licenciranje upravljačkih i/ili nadzornih struktura i slično.

Rezultati testiranja hipoteza pokazuju da bi moglo biti oportuno prilagoditi inspekcijsku praksu uzimanjem u obzir informacija o resursnoj zahtjevnosti usklađenosti s relevantnim odredbama, u cilju smanjenja ukupnog broja kršenja. Dodatno, regulatori i inspekcijske agencije mogli bi pokušati steći dodatne informacije o okruženju i sklonosti obveznika preuzimanju rizika. Ako utvrde da obveznici propisa imaju nisku sklonost preuzimanju rizika, a inspekcijske agencije imaju razmjerno visok kapacitet za provođenje inspekcija, mogli bi razmotriti mogućnost obavješćavanja obveznika da će se inspekcije provoditi u skladu s resursnom zahtjevnosću ispunjavanja regulatornih odredaba.

Daljnji društveni doprinos ovog istraživanja jest mogućnost primjene razvijene računalne simulacije od strane drugih istraživača, ali i osoba bez specijalističkih znanja o teorijskoj podlozi problema inspekcije, višeagentnom modeliranju ili računalnim simulacijama. Naime, implementirana računalna simulacija u NetLogo-u omogućuje unos većine ulaznih parametara primjenom vizualne diskretne trake, što olakšava razumijevanje očekivanih raspona te međusobnog odnosa ulaznih parametara. Vizualizacija odvijanja simulacije te prikaz kvantitativnih rezultata simulacije kao i grafički prikaz osnovnih statističkih pokazatelja olakšavaju razumijevanje odvijanja simulacije te njenih rezultata. Ove karakteristike računalne simulacije trebale bi olakšati korištenje te primjenu i prilagodbu simulacije drugim inspekcijskim problemima. Nadalje, obzirom na ove karakteristike te činjenicu da je ICARUS detaljno opisan, transparentno verificiran te je provjerena njegova valjanost, model je implementiran u računalnu simulaciju samo u NetLogo okruženju. Uključeni detaljan opis trebao bi istraživačima omogućiti razmjerno jednostavnu implementaciju u drugim programskim jezicima i simulacijskim okruženjima.

Identificirano je nekoliko ograničenja provedenog istraživanja koja ujedno predstavljaju i moguća područja daljnjih istraživanja. Početno, razvijeni model – kao i svaki model – prikazuje samo pojednostavljenu sliku stvarnosti. Stoga su i pretpostavke modela kao i mehanizmi donošenja odluka te ponašanja entiteta pojednostavljeni. Očiti primjer jest sklonost preuzimanju rizika koja je modelirana kao individualna, vremenski stabilna karakteristika entiteta (temeljem odluke istraživača). Međutim, u stvarnosti se sklonost preuzimanju rizika očito može mijenjati, temeljem iskustava rukovodstva i same organizacije, promjena u rukovodstvu organizacije ili internim/eksternim kontrolnim funkcijama, promjena korporativne

kulture ili poslovnog okruženja, itd. Nadalje, iako je model kalibriran, verificiran te je provjerena njegova valjanost, ti postupci su provedeni u odnosu na ograničeni skup sekundarnih podataka o inspekcijama usklađenosti. Uz navedeno, u okviru provjere valjanosti nije razmatrano je li model kvantitativno usklađen s empirijskim mikro-strukturama, prvenstveno zbog nemogućnosti identifikacije podataka potrebnih za takvu vrstu provjere.

Budućim istraživanjima model bi se mogao proširiti omogućavanjem promjene sklonosti preuzimanja rizika entiteta kroz vrijeme, uvođenjem dodatnih strategija učenja, uvođenjem komunikacije između entiteta te mehanizma općenitog odvrćanja, podjelom entiteta u više skupina na koje se primjenjuju donekle različite inspekcijske strategije, uvođenjem dodatnih inspekcijskih strategija koje bi, primjerice, kombinirale nekoliko osnovnih strategije inspekcije, itd. S druge strane, model bi se mogao detaljnije usmjeriti na specifično područje, odnosno prilagoditi kako bi bio valjan na višoj razini, odnosno kako bi bio kvantitativno usklađen s empirijskim mikro-strukturama (preduvjet valjanosti je dostupnost odgovarajućih podataka). Međutim, time bi se vjerojatno suzilo područje primjene modela. Ove nadogradnje i usložnjavanje modela bili bi usmjereni na povećanje realnosti modela te proširivanje ili promjenu područja primjene modela.

S druge strane, temeljem rezultata provjere valjanosti modela i analize osjetljivosti u budućim istraživanjima mogli bi se konstruirati i novi, jednostavniji modeli inspekcije usklađenosti, u kojima bi se uklonili parametri s malim utjecajem na ukupan broj kršenja. Jednostavniji modeli su poželjni zbog jednostavnijeg i jasnijeg tumačenja njihovih rezultata, utvrđivanja povezanosti parametara te razumijevanja mehanizama s ključnim utjecajem na rezultate. Takav model mogao bi biti primjenjiv na još širi opseg inspekcijskih problema te bi bio intuitivno razumljiviji.

Razvijeni model moglo bi se značajno nadograditi i uvođenjem dodatnog koraka igre te nove vrste agenata. Naime, inspekcijska okruženja nerijetko karakterizira i dodatan korak nakon same inspekcije – pravni postupak. U takvim okruženjima nadzirani entitet nakon provedene inspekcije ima mogućnost žalbe kroz pravosudni sustav (opcionalno) ili se kroz pravosudni sustav uvijek procesiraju nalazi inspekcije (obvezno) te utvrđuje opravdanost i iznos kazne. Uvođenje ovih nadogradnja značajno mijenja odnose među agentima te može značajno utjecati na njihove postupke i rezultate modela.

U radu je opisano i empirijsko istraživanje kojim su prikupljeni podaci o resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti sa svim Odluke o IS te podaci o razini

usklađenosti svake kreditne institucije u RH sa svakom odredbom Odluke o IS-u. Rezultati tog istraživanja (opisani u poglavlju 8.1.2) pokazali su da postoji visoka pozitivna korelacija između resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba. U skladu s navedenim, moguće je zaključiti sljedeće: **Hipoteza H.3 se prihvaća**. Iako su kreditne institucije u velikoj mjeri usklađene s odredbama Odluke o IS (prema procjenama vanjskih revizora, usklađene su s odredbama Odluke o IS u gotovo 97% slučajeva), najčešće kršene odredbe su upravo one koje karakterizira viša resursna zahtjevnost usklađenosti.

Utvrđena povezanost je u skladu i s opažanjima u literaturi da postoji negativna povezanost između cijene (troška) postizanja usklađenosti i ukupne razine usklađenosti [153][47][26][146]. Navedena povezanost je u skladu i s predviđanjima ekonomskog modela odvrćanja [39][36, p. 236] te s pretpostavkom da su organizacije (u ovom slučaju kreditne institucije) racionalne pri odlučivanju o usklađenosti.

Temeljem provedenog empirijskog istraživanja, moguće je identificirati više područja za daljnje istraživanje, čime bi omogućilo poopćavanje postojećih i izvođenje daljnjih zaključaka. Početno, prikupljeni podaci odnose se samo na specifičan slučaj – usklađenost kreditnih institucija u RH s odredbama Odluke o IS-u te procjenu kreditnih institucija o resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti s tim odredbama. U okviru daljnjih istraživanja mogli bi se prikupiti podaci o usklađenosti i resursnoj zahtjevnosti usklađenosti u drugim inspekcijskim kontekstima (drugi tipovi institucija, drugi propisi, itd.). Nadalje, u okviru daljnjih istraživanja mogla bi se provesti kvantifikacija resursne zahtjevnosti, odnosno troškovi usklađenosti trebali bi se moći izraziti izravno kroz monetarnu vrijednost, što bi omogućilo bolju usporedivost rezultata i primjenu statističkih testova veće statističke snage.

10. Zaključak

Ovim radom opisan je ICARUS – višeagentni model u kojem inspekcijska agencija centralno koordinira inspekcije usklađenosti većeg broja entiteta s većim brojem pravila. Model je utemeljen na saznanjima iz teorijskih istraživanja i empirijskih podataka te je implementiran u računalnu simulaciju u programskom jeziku NetLogo (C.1). Kao priprema za razvoj modela, sistematizirana su teorijska razmatranja i empirijska istraživanja vezana uz inspekciju usklađenosti, agentno modeliranje te primjenu agentnog modeliranja na inspekciju usklađenosti. U opis modela i računalne simulacije uključene su sve informacije koje bi trebalo navesti sukladno ODD+D protokolu. Model je verificiran te je zatim u 2 koraka provjerena njegova valjanost. U prvom koraku provjerena je općenita valjanost modela, odnosno u kojoj mjeri je model kvalitativno usklađen s empirijskim opažanjima na makro i mikro razini. U drugom koraku provjerena je specifična valjanost modela, odnosno u kojoj mjeri je model kvantitativno usklađen s empirijskim makro-strukturama, za 3 studije slučaja. Inicijalna procjena/kalibracija ulaznih parametara provedena je na temelju sekundarnih i prikupljenih empirijskih podataka, a sužavanje raspona provedeno je u okviru provjere specifične valjanosti. Nakon provjere valjanosti, metodom probira provedena je i analiza osjetljivosti modela. Na temelju podataka generiranih kroz simulaciju testirane su hipoteze o mogućnosti smanjivanja ukupnog broja kršenja u sustavu, ako se inspekcija provodi razmjerno resursnoj zahtjevnosti, u odnosu na slučajne i ciklične inspekcije.

Uz razvoj i analizu modela ICARUS, u radu je istražena i povezanost resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine njihova kršenja temeljem opsežnog empirijskog istraživanja koje je obuhvatilo sve kreditne institucije u RH te njihove ovlaštene revizore (cenzus). Na temelju prikupljenih podataka, testirana je hipoteza o postojanju barem srednje velike pozitivne korelacije između neusklađenosti kreditnih institucija u RH sa svim odredbama Odluke o IS-u te procjene kreditnih institucija o resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti s tim odredbama.

(Više)agentno modeliranje pokazalo se kao prikladna metoda modeliranja inspeksijskog problema. Omogućilo je primjenu saznanja o ponašanju pojedinačnih agenata (mikro razina) u izradi modela te analizu rezultata modela na makro i mikro razini. Nadalje, agentno modeliranje omogućilo je jednostavno usložnjavanje modela, odnosno uvođenje realnijih pretpostavka u osnovni model.

Kalibracija/procjena parametara modela, verifikacija i provjera valjanosti pokazale su da razvijeni model uspješno rekreira pravilnosti i obrasce ponašanja identificirane u teorijskim istraživanjima i empirijskim podacima te kvantitativne podatke identificirane analizom sekundarnih podataka o inspekcijama usklađenosti s propisima o zaštiti okoliša, zaštiti na radu te inspekcijama u bankarstvu. Time je potvrđeno da model može vjerno reproducirati obrasce identificirane analizom sekundarnih podataka (I.1).

Testovi hipoteza provedeni nad rezultatima simulacije potvrdili su da strategija inspekcije usklađenosti entiteta koja se provodi razmjerno resursnoj zahtjevnosti postizanja i održavanja usklađenosti ostvaruje manji broj neusklađenosti u sustavu od slučajne strategije (H.1) i ciklične strategije (H.2). Temeljem testova provedenih nad rezultatima simulacije odbačena je hipoteza da primjena inspektorovog vodstva na provođenje inspekcija u kojima se odabir odredaba za inspekciju usklađenosti provodi razmjerno resursnoj zahtjevnosti njihova ispunjavanja postiže manji broj neusklađenosti u odnosu na inspekciju bez primjene inspektorovog vodstva (H.4). Testovi korelacije provedeni nad podacima prikupljenima kroz empirijsko istraživanje potvrdili su da postoji visoka pozitivna korelacija između resursne zahtjevnosti ispunjavanja regulatornih odredaba i razine kršenja tih odredaba temeljem čega je prihvaćena hipoteza H.3.

U skladu s navedenim, provedeno istraživanje ostvarilo je postavljene ciljeve, odgovorilo na postavljena istraživačka pitanja te su kroz istraživanje testirane sve postavljene hipoteze.

Provedeno istraživanje podupire temeljne pretpostavke ekonomskog modela odvrćanja o (ograničenoj) racionalnosti entiteta pri odlučivanju o usklađenosti s propisima. Istraživanje je pokazalo da ukupan broj kršenja u sustavu najviše ovisi o 3 parametra (opadajući prema utjecaju): kapacitetu inspektora (viši kapacitet provođenja inspekcija dovodi do manje kršenja), iznosu kazne (viša kazna dovodi do manje kršenja) te sklonosti entiteta preuzimanju rizika (viša sklonost entiteta preuzimanju riziku dovodi do više kršenja). Implikacije ovih saznanja na inspeksijsku praksu su jasne: ako zakonodavna ili nadzorna tijela žele smanjiti broj

neusklađenosti u sustavu, potrebno je povećati inspekcijski kapacitet, povećati kazne za neusklađenost i pokušati utjecati na sklonost entiteta preuzimanju rizika. Ova saznanja u kombinaciji sa saznanjima da točnost inspekcija u utvrđivanju kršenja te vremensko diskontiranje imaju mali utjecaj na ukupan broj kršenja, omogućuju osmišljavanje kompleksnijih prilagodba postojećih ili stvaranje novih inspekcijskih strategija. Navedena saznanja te mogućnost njihove primjene u praksi ujedno predstavljaju i ključan društveni doprinos ovog istraživanja.

Daljnji društveni i znanstveni doprinos istraživanja proizlazi iz opsega primjene i jednostavnosti korištenja modela i računalne simulacije. Razvijeni model i njegova implementacija u računalnu simulaciju su fleksibilni te omogućuju primjenu i na analizu drugih inspekcijskih problema. Računalna simulacija je detaljno dokumentirana te implementirana primjenom jednostavnih grafičkih elemenata za postavljanje simulacije te praćenje njena odvijanja i rezultata. Time je omogućeno korištenje od strane širokog sloja istraživača iz različitih disciplina te drugih korisnika koji ne posjeduju specijalizirana znanja o teorijskom okviru inspekcijskog problema, agentnom modeliranju i računalnim simulacijama.

Istraživanjem su identificirana i ograničenja provedenih postupaka te – povezano s tim – područja mogućih daljnjih istraživanja. Daljnja istraživanja mogla bi rezultirati jednostavnijim inspekcijskim modelima koji će biti šire primjenjivi i intuitivno razumljiviji, ali i složenijim modelima koji će biti usmjereni na specifično područje i/ili bolje odgovarati stvarnosti.

11. Literatura

- [1] R. Baldwin, M. Cave, and M. Lodge, *Understanding regulation: theory, strategy, and practice*. Oxford University Press on Demand, 2012.
- [2] S. S. Simpson, *Corporate Crime, Law, and Social Control*. 2005.
- [3] M. L. Benson, „White-Collar Crime,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 549–558, 2009.
- [4] G. Caprio Jr., „Safe and Sound Banking: A Role for Countercyclical Regulatory Requirements?,” Policy Research Working Paper 5198, 2010.
- [5] Š. Anić and N. Klaić, *Rječnik stranih riječi*. SA NI-PLUS d.o.o. , 1998.
- [6] R. Avenhaus and M. J. Canty, „Inspection games,” in *Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications*, 2012, pp. 1605–1618.
- [7] J. Slemrod, „Cheating ourselves: The economics of tax evasion,” *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 21, no. 1, pp. 25–48, 2007.
- [8] R. Fisman and E. Miguel, „Corruption, Norms, and Legal Enforcement: Evidence from Diplomatic Parking Tickets,” *Journal of Political Economy*, vol. 115, no. 6, pp. 1020–1048, 2007.
- [9] S. Smojver, „Inspecting compliance to many rules: An agent-based model,” *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 277–295, 2016.
- [10] G. S. Becker, *Crime and Punishment : An Economic Approach*, vol. I, no. 2. 1974.
- [11] S. Smojver, „Analysis of Banking Supervision via Inspection Game and Agent-Based Modeling,” *Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, 2012.
- [12] Hrvatska narodna banka, *Odluka o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom*. Narodne novine, p. 37/2010.
- [13] „Kriminologija,” *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2012.
- [14] E. Carrabine, P. Cox, M. Lee, K. Plummer, and N. South, *Criminology: A Sociological Introduction*. New York: Routledge, 2004.
- [15] C. F. Wellford, „History And Evolution Of Criminology,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 10–17, 2009.
- [16] „Kriminalitet,” *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2012.
- [17] C. Beccaria, *O Zločinima i kaznama*. Split: Književni krug, 1990.

- [18] S. Walklate, *Understanding Criminology Current Theoretical Debates*, 3rd editio. Open University Press, 2007.
- [19] „Beccaria, Cesare Bonesano de,” *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2012.
- [20] „Lombroso, Cesare,” *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2012.
- [21] J. W. Clark, „Psychological Theories Of Crime,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 271–278, 2009.
- [22] J. Morizot and L. Kazemian, *The Development of Criminal and Antisocial Behavior: Theory, Research and Practical Applications*. 2014.
- [23] G. Tsebelis, „Penalty Has No Impact on Crime: A Game-theoretic Analysis,” *Rationality and Society*, vol. 2, no. 3, pp. 255–286, 1990.
- [24] M. J. (Editor) Miller, *21 st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., 2009.
- [25] J. L. Van Gelder and R. E. De Vries, „Traits and states: Integrating personality and affect into a model of criminal decision making,” *Criminology*, vol. 50, no. 3, pp. 637–671, 2012.
- [26] S. C. Winter and P. J. May, „Motivation for compliance with environmental regulations,” *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 20, no. 4, pp. 675–698, 2001.
- [27] R. A. Ball, „Logika definicije kriminaliteta ‘Bijelih ovratnika,’” *Kriminologija i socijalna integracija*, vol. 16, no. 1, pp. 13–21, 2006.
- [28] I. Kovčo Vukadin, „Gospodarski kriminalitet - kriminološka obilježja,” *Hrvatski ljetopis za kazneno pravo i praksu (Zagreb)*, vol. 14, no. 2, pp. 435–494, 2007.
- [29] R. G. Burns, „Environmental Crime,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 481–489, 2009.
- [30] S. R. Van Slyke, M. L. Benson, and F. T. Cullen, Eds., *The Oxford Handbook of White-Collar Crime*. Oxford University Press, 2016.
- [31] A. A. Braga, „Experimental Criminology,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 413–421, 2009.
- [32] C. M. Rennison, „Crime Reports and Statistics,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 383–390, 2009.
- [33] H. Rauhut, „Game theory,” in *The Oxford Handbook on Offender Decision Making*, Oxford Han., W. Bernasco, H. Elffers, and J.-L. van Gelder, Eds. 2017.
- [34] A. Borshchev and A. Filippov, „From System Dynamics to Agent Based Modeling,” *Simulation*, vol. 66, no. 11, pp. 25–29, 2004.
- [35] J. M. Galán *et al.*, „Errors and Artefacts in Agent-Based Modelling,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 12, no. 1, p. 1, 2009.
- [36] R. Paternoster, „Deterrence And Rational Choice Theories,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 236–244, 2009.
- [37] A. Hochstetler, „Classical Perspectives,” *21st Century Criminology A Reference Handbook*. SAGE Publications, Inc., pp. 201–209, 2009.
- [38] A. Rubinstein, *Economic Fables*. Open Book Publishers, 2012.

- [39] K. Ko, J. Mendeloff, and W. Gray, „The role of inspection sequence in compliance with the US Occupational Safety and Health Administration’s (OSHA) standards: Interpretations and implications,” *Regulation and Governance*, vol. 4, no. 1, pp. 48–70, 2010.
- [40] Y. Shoham and K. Leyton-brown, *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. Cambridge University Press, 2009.
- [41] T. L. Turocy and B. Von Stengel, „Game Theory,” *Encyclopedia of Information Systems*, pp. 403–420, 2003.
- [42] G. S. Becker, „Crime and Punishment: An Economic Approach,” *Journal of Political Economy*, vol. 76, no. 2, p. 169, 1968.
- [43] R. Pradiptyo, „Does Punishment Matter? A Refinement of the Inspection Game,” *Review of Law and Economics*, vol. 3, no. 2, pp. 197–219, 2007.
- [44] G. S. Becker, „The Economic Way of Looking at Life,” *Revista Universidad EAFIT*, vol. 29, no. 89, pp. 7–21, 1992.
- [45] *Zakon o kreditnim institucijama*. p. 159/2013., 19/2015., 102/2015.
- [46] M. A. Cohen, „Monitoring and Enforcement of Environmental Policy,” *International Yearbook of Environmental and Resource Economics*, vol. III, no. 8, p. 61, 1998.
- [47] P. J. May and S. C. Winter, „Regulatory Enforcement and Compliance: Examining Danish Agro-Environmental Policy,” *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 18, no. 4, pp. 625–651, 1999.
- [48] D. Garvie and A. Keeler, „Incomplete Enforcement With Endogenous Regulatory Choice,” *Journal of Public Economics*, vol. 55, no. 1, pp. 141–162, Sep. 1994.
- [49] H. Winter, *The Economics of Crime: An Introduction to Rational Crime Analysis*. Routledge, 2008.
- [50] W. B. Gray and J. P. Shimshack, „The Effectiveness of Environmental Monitoring and Enforcement: A Review of the Empirical Evidence,” *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 5, no. 1, pp. 3–24, 2011.
- [51] A. Rubinstein and D. Friedman, *Modeling Bounded Rationality*, vol. 65, no. 2. The MIT Press, 1998.
- [52] H. Simon, „Theories of Bounded Rationality,” *Decision and Organization*. pp. 161–176, 1972.
- [53] H. Rauhut and M. Junker, „Punishment Deters Crime Because Humans Are Bounded in Their Strategic Decision-Making,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 12, no. 3, p. 1, 2009.
- [54] H. Rauhut, „Stronger Inspection Incentives, Less Crime? Further Experimental Evidence on Inspection Games,” *Rationality and Society*, vol. 27, no. 4, pp. 414–454, 2015.
- [55] K. M. Bloomquist, „Agent-Based Simulation of Tax Reporting Compliance,” 2012.
- [56] E. Rasmusen, „Games and Information: An Introduction to Game Theory,” *International Journal of Industrial Organization*, vol. 9, no. 3, pp. 474–476, 1991.
- [57] Y. Varoufakis and S. Hargreaves Heap, *Game Theory: A Critical Introduction*, 2nd Editio. New York: Routledge, 2004.
- [58] D. Fudenberg and J. Tirole, „Game Theory.” MIT Press, Boston, p. 603, 1991.

- [59] T. S. Ferguson, „Game Theory,” *PLoS Computational Biology*, vol. 6, no. 5. pp. 1–8, 1990.
- [60] R. Avenhaus, B. von Stengel, and S. Zamir, „Inspection games,” *Handbook of Game Theory with Economic Applications*, vol. 3, pp. 1947–1987, 2001.
- [61] B. von Stengel and S. Zamir, „Leadership Games With Convex Strategy Sets,” *Games and Economic Behavior*, vol. 69, no. 2, pp. 446–457, 2010.
- [62] I. K. Geckil and P. L. Anderson, *Applied Game Theory and Strategic Behavior*. Chapman and Hall/CRC Press, 2009.
- [63] S. J. Brams, *Game Theory and the Humanities: Bridging Two Worlds*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2011.
- [64] M. J. Osborne and A. Rubinstein, *Bargaining and Markets*. Academic Press, 2005.
- [65] M. Shubik, „The Present and Future of Game Theory,” *Cowles Foundation Discussion Papers*, no. 1808, 2011.
- [66] Y. Deutsch and B. Golany, „Multiple Agents Finitely Repeated Inspection Game With Dismissals,” *Annals of Operations Research*, vol. 237, no. 1–2, pp. 7–26, 2016.
- [67] M. Drescher, „A Sampling Inspection Problem in Arms Control Agreements: a Game-Theoretic Analysis,” *The RAND Corporation Santa Monica California*, vol. RM-2972-AR, no. February, pp. 1–34, 1962.
- [68] R. Hohzaki, J. J. Cochran, L. A. Cox, P. Keskinocak, J. P. Kharoufeh, and J. C. Smith, „Inspection Games,” in *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [69] M. Maschler, „A Price Leadership Method for Solving the Inspector’s Non-constant-sum Game,” *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 13, no. 1, pp. 11–33, 1966.
- [70] R. Avenhaus, „Applications of inspection games,” *Mathematical Modelling and Analysis*, vol. 9, no. 3, pp. 179–192, 2004.
- [71] G. Tsebelis, „The Effect of Fines on Regulated Industries: Game Theory vs. Decision Theory,” *Journal of Theoretical Politics*, vol. 3, no. 1, pp. 81–101, 1991.
- [72] D. Nosenzo, T. Offerman, M. Sefton, and A. van der Veen, „Inducing Good Behavior: Bonuses Versus Fines in Inspection Games,” *CeDEx discussion paper series No. 2010-21*, 2010.
- [73] P. Abdullah, „Banking Crime Analysis And The Effectiveness Of Banking Supervision: Combining Game Theory And The Analytical Network Process Approach,” *Buletin Ekonomi Moneter dan Perbankan*, vol. 13, no. 2, pp. 215–234, 2010.
- [74] V. Kolokoltsov, H. Passi, and W. Yang, „Inspection and Crime Prevention: An Evolutionary Perspective,” *University of Strathclyde Working Paper*, pp. 1–33, Jun. 2013.
- [75] G. Tsebelis, „Are Sanctions Effective?: A Game-Theoretic Analysis,” *Journal of Conflict Resolution*, vol. 34, no. 1. pp. 3–28, 1990.
- [76] H. Rauhut and S. Jud, „Avoiding Detection or Reciprocating Norm Violations? An Experimental Comparison of Self- and Other-Regarding Mechanisms for Norm Adherence,” *Soziale Welt-Zeitschrift für Socialwissenschaftliche Forschung und Praxis*, vol. 65, no. 2, pp. 153–183, 2014.

- [77] L. Andreozzi, „Rewarding Policemen Increases Crime. Another Surprising Result From the Inspection Game.,” *Public Choice*, vol. 121, no. 1/2, pp. 69–82, 2004.
- [78] M. Brogi, „Once Bitten Twice Shy? A Study on the Effectiveness of Administrative Sanctions to Discipline Bank Board Members,” *CAREFIN Centre for Applied Research in Finance Working Paper*, pp. 1–32, 2011.
- [79] S. Shikano, M. F. Stoffel, and M. Tepe, „Information Accuracy in Legislative Oversight : Theoretical Implications and Experimental Evidence,” *Rationality and Society*, vol. 29, no. 2, pp. 226–254, 2017.
- [80] T. Brenner, „Agent Learning Representation: Advice on Modelling Economic Learning,” *Handbook of Computational Economics*, vol. 2, pp. 895–947, 2006.
- [81] E. R. Smith and F. R. Conrey, „Agent-based Modeling: A New Approach for Theory Building in Social Psychology,” *Personality and Social Psychology Review*, vol. 11, no. 1, pp. 87–104, 2007.
- [82] L. R. Izquierdo, S. S. Izquierdo, and F. Vega-Redondo, „Learning and Evolutionary Game Theory,” *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer US, pp. 1782–1788, 2012.
- [83] K. Tuyls and A. Nowe, „Evolutionary Game Theory and Multi-agent Reinforcement Learning,” *The Knowledge Engineering Review*, vol. 20, no. 1, pp. 63–90, 2005.
- [84] J. Duffy, „Agent-based Models and Muman Subject Experiments,” *Handbook of computational economics*, vol. 2, pp. 949–1011, 2006.
- [85] E. Alonso, M. D’Inverno, D. Kudenko, M. Luck, and J. Noble, „Learning in Multi-agent Systems,” *The Knowledge Engineering Review*, vol. 16, no. 3, pp. 277–284, 2001.
- [86] C. M. Macal and M. J. North, „Tutorial on Agent-based Modelling and Simulation,” *Journal of Simulation*, vol. 4, no. 3, pp. 151–162, 2010.
- [87] N. Feltovich, „Belief-Based Learning Models,” *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer US, pp. 444–447, 2012.
- [88] M. Rabin, „Incorporating Limited Rationality into Economics,” *Journal of Economic Literature*, vol. 51, no. 2, pp. 528–543, Jun. 2013.
- [89] D. O. Stahl, „Population Rule Learning in Symmetric Normal-form Games: Theory and Evidence,” *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 45, no. 1, pp. 19–35, 2001.
- [90] K. Rabuzin, M. Maleković, and M. Bača, „A Survey of the Properties of Agents,” *Journal of Information and Organizational Sciences*, vol. 30, no. 1, pp. 155–170, 2006.
- [91] D. Ross, „Psychological vs. Economic Models of Bounded Rationality,” *Journal of Economic Methodology*, vol. 21, no. 4, pp. 411–427, 2014.
- [92] D. Kahneman and A. Tversky, „Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk,” *Econometrica*, vol. 47, no. 2, pp. 263–291, 1979.
- [93] D. Kahneman and D. Lovallo, „Timid Choices and Bold Forecasts: A Cognitive Perspective on Risk Taking,” *Management Science*, vol. 39, no. 1, pp. 17–31, 1993.
- [94] S. Highhouse and P. Y. Yüce, „Perspectives, Perceptions, and Risk-Taking Behavior,” *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 65, no. 2, pp. 159–167, 1996.

- [95] N. Nicholson, E. Soane, M. Fenton-O'Creevy, and P. Willman, „Personality and Domain-specific Risk Taking,” *Journal of Risk Research*, vol. 8, no. 2, pp. 157–176, 2005.
- [96] T. Zaleskiewicz, „Beyond Risk Seeking and Risk Aversion: Personality and the Dual Nature of Economic Risk Taking,” *European Journal of Personality*, vol. 15, no. 51, pp. 105–122, 2001.
- [97] R. Axtell, „Why Agents?: On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences,” *Center on Social and Economics Dynamics - The Brookings Institution*, no. 17, pp. 1–23, 2000.
- [98] T. S. Critchfield and S. H. Kollins, „Temporal Discounting: Basic Research and the Analysis of Socially Important Behavior,” *Journal Of Applied Behavior Analysis*, vol. 34, no. 1, pp. 101–122, 2001.
- [99] A. M. Law and W. D. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991.
- [100] C. M. Macal, „Everything you Need to Know About Agent-based Modelling and Simulation,” *Journal of Simulation*, vol. 10, no. 2, pp. 144–156, 2016.
- [101] A. Borshchev and A. Filippov, „From System Dynamics to Agent Based Modeling,” *Simulation*, vol. 66, no. 11, pp. 25–29, 2004.
- [102] P. O. Siebers, C. M. Macal, J. Garnett, D. Buxton, and M. Pidd, „Discrete-event Simulation is Dead, Long Live Agent-based Simulation!,” *Journal of Simulation*, vol. 4, no. 3, pp. 204–210, 2010.
- [103] J. M. Epstein, „Agent-based Computational Models and Generative Social Science,” *Complexity*, vol. 4, no. 5, pp. 41–60, May 1999.
- [104] H. Deguchi, *Agent-Based Modelling of Socio-Technical Systems*, vol. 9. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013.
- [105] U. Wilensky and W. Rand, *An Introduction to Agent-Based Modeling Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. The MIT Press, 2015.
- [106] E. Groff and L. Mazerolle, „Simulated experiments and their potential role in criminology and criminal justice,” *Journal of Experimental Criminology*, vol. 4, no. 3, pp. 187–193, 2008.
- [107] F. Squazzoni, *Agent-Based Computational Sociology*. Wiley, 2012.
- [108] M. A. Louie and K. M. Carley, „Balancing the Criticisms: Validating Multi-Agent Models of Social Systems,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 16, no. 2, pp. 242–256, Feb. 2008.
- [109] G. Fagiolo, „Empirical Validation of Agent-Based Models: A Critical Survey,” 2006.
- [110] M. Richiardi, R. Leombruni, N. J. Saam, and M. Sonnessa, „A Common Protocol for Agent-Based Social Simulation,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 9, no. 1, p. 15, 2006.
- [111] V. Grimm *et al.*, „A standard protocol for describing individual-based and agent-based models,” *Ecological modelling*, vol. 198, no. 1, pp. 115–126, 2006.
- [112] V. Grimm, U. Berger, D. L. DeAngelis, J. G. Polhill, J. Giske, and S. F. Railsback, „The {ODD} protocol: A review and first update,” *Ecological Modelling*, vol. 221, no. 23, pp. 2760–2768, 2010.

- [113] B. Müller *et al.*, „Describing Human Decisions in Agent-Based Models - ODD+D, An Extension of the ODD Protocol,” *Environmental Modelling and Software*, vol. 48, pp. 37–48, 2013.
- [114] H. Bersini, „UML for ABM,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 15, no. 1, p. 9, 2012.
- [115] A. Lansdowne, „Traffic Simulation Using Agent-Based Modelling,” Bristol, 2006.
- [116] M.-P. Huget and J. Odell, „Representing Agent Interaction Protocols With Agent UML,” in *Agent-Oriented Software Engineering V*, 2005, vol. 3382, pp. 16–30.
- [117] A. Pokahr and L. Braubach, „A Survey of Agent-oriented Development Tools,” in *Multi-Agent Programming*, Boston, MA: Springer US, 2009, pp. 289–329.
- [118] C. Cheong and M. Winikoff, „Hermes: Designing Flexible and Robust Agent Interactions,” in *Handbook of Research on Multi-Agent Systems: Semantics and Dynamics of Organizational Models*, IGI Global, 2009, pp. 105–139.
- [119] N. Malleson, A. Heppenstall, and L. See, „Crime Reduction Through Simulation: An Agent-Based Model of Burglary,” *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 34, no. 3, pp. 236–250, 2010.
- [120] S. McPhee-Knowles, „Growing Food Safety from the Bottom Up: An Agent-Based Model of Food Safety Inspections,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 18, no. 2, p. 9, 2015.
- [121] F. J. M. Quesada, E. Tapia, T. Llàcer, and J. a. Noguera, „Tax Compliance, Rational Choice, and Social Influence: An Agent-Based Model,” *Revue française de sociologie*, vol. 55, no. 4, p. 765, 2014.
- [122] C. M. Macal and M. J. North, „Tutorial on Agent-Based Modeling and Simulation,” in *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*, 2005, pp. 2–15.
- [123] P. Windrum, G. Fagiolo, and A. Moneta, „Empirical Validation of Agent-Based Models: Alternatives and Prospects,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 10, no. 2, p. 8, 2007.
- [124] B. Heath, R. Hill, and F. Ciarallo, „A Survey of Agent-Based Modeling Practices (January 1998 to July 2008),” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 12, no. 4, p. 9, 2009.
- [125] S. Moss, „Alternative Approaches to the Empirical Validation of Agent-Based Models,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 11, no. 1, p. 5, 2008.
- [126] D. Midgley, R. Marks, and D. Kunchamwar, „The Building and Assurance of Agent-Based Models: An Example and Challenge to the Field,” *Journal of Business Research*, vol. 60, no. 8, pp. 884–893, 2007.
- [127] K. M. Bloomquist and M. Koehler, „A Large-Scale Agent-Based Model of Taxpayer Reporting Compliance,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 18, no. 2, p. 20, 2015.
- [128] J. Dréo, A. Pérowski, P. Siarry, and E. Taillard, *Metaheuristics for Hard Optimization: Methods and Case Studies*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.
- [129] V. Grimm, „Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems: Lessons from Ecology,” *Science*, vol. 310, no. 5750, pp. 987–991, 2005.
- [130] Ö. Gürcan, O. Dikenelli, and C. Bernon, „A Generic Testing Framework for Agent-

- Based Simulation Models,” *Journal of Simulation*, vol. 7, no. 3, pp. 183–201, 2013.
- [131] J. C. Thiele, W. Kurth, and V. Grimm, „Facilitating Parameter Estimation and Sensitivity Analysis of Agent-Based Models: A Cookbook Using NetLogo and ‘R,’” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 17, no. 3, p. 11, 2014.
 - [132] A. Saltelli, S. Tarantola, and F. Campolongo, „Sensitivity Analysis as an Ingredient of Modeling,” *Statistical Science*, vol. 15, no. 4, pp. 377–395, 2000.
 - [133] A. Saltelli *et al.*, *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
 - [134] M. D. Morris, „Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments,” *Technometrics*, vol. 33, no. 2, pp. 161–174, 1991.
 - [135] K. M. Bloomquist, „A Comparison of Agent-Based Models of Income Tax Evasion,” *Social Science Computer Review*, vol. 24, pp. 411–425, 2006.
 - [136] G. Zaklan, F. Westerhoff, and D. Stauffer, „Analysing Tax Evasion Dynamics via the Ising Model,” *Journal of Economic Interaction and Coordination*, pp. 1–14, 2009.
 - [137] P. Pellizzari and D. Rizzi, „Citizenship and Power in An Agent-Based Model of Tax Compliance With Public Expenditure,” *Journal of Economic Psychology*, vol. 40, pp. 35–48, 2014.
 - [138] A. L. Andrei, K. Comer, and M. Koehler, „An Agent-Based Model of Network Effects on Tax Compliance and Evasion,” *Journal of Economic Psychology*, vol. 40, pp. 119–133, 2014.
 - [139] L. Antunes, J. Balsa, and H. Coelho, „Agents that Collude to Evade Taxes,” in *The 6. Intl. Joint Conf. on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS 07)*, 2007, pp. 1255–1257.
 - [140] E. van Asselt, S. Osinga, and H. Bremmers, „Simulating Compliance Behaviour for Effective Inspection Strategies Using Agent Based Modelling,” *British Food Journal*, vol. 118, no. 4, pp. 809–823, 2016.
 - [141] T. Verwaart and N. I. Valeeva, „An Agent-based Model of Food Safety Practices Adoption,” in *Emergent Results of Artificial Economic*, 2011, pp. 103–114.
 - [142] Y. Liu and H. Ye, „The Dynamic Study on Firm’s Environmental Behavior and Influencing Factors: An Adaptive Agent-Based Modeling Approach,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 37, pp. 278–287, 2012.
 - [143] N. Malleon, „Using Agent-Based Models to Simulate Crime,” in *Agent-based models of geographical systems*, Springer, 2012, pp. 411–434.
 - [144] S. Smojver and D. Blažeković, „Information Systems Outsourcing in Croatian Banks: Developments 2005–2012,” *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, vol. 28, no. 1, pp. 259–270, Jan. 2015.
 - [145] European Banking Authority, *Guidelines on Common Procedures and Methodologies for SREP*. London, 2014.
 - [146] E. Helland, „The Enforcement of Pollution Control Laws: Inspections, Violations, and Self-Reporting,” *Review of Economics and Statistics*, vol. 80, no. 1, pp. 141–153, 1998.
 - [147] M. D. Delis and P. K. Staikouras, „Supervisory Effectiveness and Bank Risk,” *Review of Finance*, vol. 15, no. 3, pp. 511–543, Mar. 2011.
 - [148] J. P. Shimshack, „The Economics of Environmental Monitoring and Enforcement,”

Annual Review of Resource Economics, vol. 6, no. 1, pp. 339–360, 2014.

- [149] Hrvatska narodna banka, *Odluka o sadržaju revizije u kreditnim institucijama*. Narodne novine, p. 1/2009 i 75/2009.
- [150] Hrvatska narodna banka, *Odluka o sustavu unutarnjih kontrola*. Narodne novine, p. 1/2015.
- [151] J. R. Barth, G. J. Caprio, and R. Levine, „Bank Regulation and Supervision in 180 Countries from 1999 to 2011,” *Journal of Financial Economic Policy*, vol. 5, no. 2, pp. 111–219, 2013.
- [152] A. Heyes and N. Rickman, „Regulatory Dealing – Revisiting the Harrington Paradox,” *Journal of Public Economics*, vol. 72, no. 3, pp. 361–378, Jun. 1999.
- [153] W. A. Magat and W. K. Viscusi, „Effectiveness of the EPA’s Regulatory Enforcement: The Case of Industrial Effluent Standards,” *The Journal of Law and Economics*, vol. 33, no. 2, pp. 331–360, 1990.
- [154] H. Corman and N. H. Mocan, „A Time-Series Analysis of Crime, Deterrence, and Drug Abuse in New York City,” *The American Economic Review*, vol. 90, no. 3, pp. 584–604, 2000.
- [155] J. Alm and J. P. Shimshack, „Environmental Enforcement and Compliance: Lessons from Pollution, Safety, and Tax Settings,” *Tulane Economics Working Paper Series*, pp. 1–46, 2014.
- [156] J. T. Scholz and W. B. Gray, „OSHA Enforcement and Workplace Injuries: A Behavioral Approach to Risk Assessment,” *Journal of Risk and Uncertainty*, vol. 3, pp. 283–305, 1990.
- [157] W. B. Gray and J. M. Mendeloff, „The Declining Effects of OSHA Inspections on Manufacturing Injuries, 1979–1998,” *ILR Review*, vol. 58, no. 4, pp. 571–587., 2005.
- [158] D. I. Levine, M. W. Toffel, and M. S. Johnson, „Randomized Government Safety Inspections Reduce Worker Injuries with No Detectable Job Loss,” *Science*, vol. 336, no. 6083, 2012.
- [159] J. Grogger, „Certainty vs. Severity of Punishment,” *Economic Inquiry*, vol. 29, no. 2, pp. 297–309, 1991.
- [160] M. D. Delis and P. K. Staikouras, „On-Site Audits, Sanctions, and Bank Risk-Taking: An Empirical Overture Towards a Novel Regulatory and Supervisory Philosophy,” *MPRA Paper No. 16836*, 2009.
- [161] C. Almer and T. Goeschl, „Environmental Crime and Punishment: Empirical Evidence from the German Penal Code,” *Land Economics*, vol. 86, no. 4, pp. 707–726, Nov. 2010.
- [162] J. C. Chan, „Response-Order Effects in Likert-Type Scales,” *Educational and Psychological Measurement*, vol. 51, no. 3, pp. 531–540, 1991.
- [163] H. H. Friedman and T. Amoo, „Rating the Rating Scales,” *Journal of Marketing Management*, no. Winter, pp. 114–123, 1999.
- [164] E. Mazur, „Outcome Performance Measures of Environmental Compliance Assurance: Current Practices, Constraints And Ways Forward,” *OECD Environment Working Papers*, no. 18, 2010.
- [165] P. Grimm, „Social Desirability Bias,” in *Wiley International Encyclopedia of Marketing*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010.

- [166] J. H. Yu, G. Albaumb, and M. J. Swenson, „Is a Central Tendency Error Inherent in the Use of Semantic Differential Scales in Different Cultures?,” *International Journal of Market Research*, vol. 45, no. 2, pp. 213–231, 2003.
- [167] B. Everitt and A. Skrondal, *The Cambridge Dictionary of Statistics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [168] G. D. Holt, „Asking Questions, Analysing Answers: Relative Importance Revisited,” *Construction Innovation*, vol. 14, no. 1, pp. 2–16, Jan. 2014.
- [169] N. Schwarz, „Self-Reports: How the Questions Shape the Answers,” *American Psychologist*, vol. 54, no. 2, pp. 93–105, 1999.
- [170] R. Tourangeau and K. Rasinski, „Cognitive Processes Underlying Context Effects in Attitude Measurement,” *Psychological Bulletin*, vol. 103, no. 3, pp. 299–314, 1988.
- [171] A. Tkalac Verčić, D. Sinčić Ćorić, and N. Pološki Vokić, *Priručnik za metodologiju istraživačkog rada*. Zagreb: MEP, 2010.
- [172] M. Friendly, „Mosaic Displays for Multi-Way Contingency Tables,” *Journal of the American Statistical Association*, vol. 89, no. 425, pp. 190–200, 1994.
- [173] J. W. Kotrlik and H. A. Williams, „The Incorporation of Effect Size in Information Technology, Learning, and Performance Research,” *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 1–7, 2003.
- [174] A. Agresti, *Analysis of Ordinal Categorical Data: Second Edition*. Wiley, 2012.
- [175] A. Roscino and A. Pollice, „A Generalization of the Polychoric Correlation Coefficient,” in *Data Analysis, Classification and the Forward Search: Proceedings of the Meeting of the Classification and Data Analysis Group (CLADAG) of the Italian Statistical Society*, 2006, pp. 135–142.
- [176] J. Fox, „Package ‘polycor’ - Polychoric and Polyserial Correlations,” 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/package=polycor>.
- [177] J. D. Mancuso, „Seven Deadly Sins of Statistical Analysis,” *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 55, no. 8, pp. 897–898, 1997.
- [178] T. R. Knapp, „Treating Ordinal Scales as Interval Scales: An Attempt To Resolve the Controversy,” *Nursing Research*, vol. 39, no. 2, pp. 121–123, 1990.
- [179] J. D. Brown, „Likert Items and Scales of Measurement?,” *Shiken Research Bulletin (JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter)*, vol. 15, no. 1, pp. 10–14, 2011.
- [180] P. R. Hinton, *Statistics Explained*. Routledge, 2014.
- [181] P. Murè and V. Pesic, „Are Sanctions Effective in Improving Bank Performance? A Study on Supervision and Administrative Sanctions Upon Italian Banks During the 1998- 2009 Period,” *CAREFIN Centre for Applied Research in Finance Working Paper*, no. 23, 2010.
- [182] F. J. Miguel Quesada, J. a. Noguera, T. Llacer, and E. Tapia Tejada, „Exploring Tax Compliance: An Agent-Based Simulation,” in *ECMS 2012 Proceedings edited by: K. G. Troitzsch, M. Moehring, U. Lotzmann*, 2012, pp. 638–643.
- [183] F. Stonedahl and U. Wilensky, „BehaviorSearch.org,” 2017. [Online]. Available: <http://www.behaviorsearch.org/about.html>. [Accessed: 30-Aug-2017].
- [184] D. J. Sheskin, *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. CRC

Press, 2003.

- [185] G. R. Norman and D. L. Streiner, *PDQ statistics*, 3rd ed., vol. 1. London: BC Decker Inc, 2003.
- [186] T. Pohlert, „Package ‘PMCMR’ - Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums,” 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/PMCMR/PMCMR.pdf>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [187] U. Wilensky, „NetLogo,” *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University*, 1999.
- [188] K. Kravari and N. Bassiliades, „A Survey of Agent Platforms,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 18, no. 1, 2015.
- [189] J. C. Thiele, „R Marries NetLogo: Introduction to the RNetLogo Package,” *Journal of Statistical Software*, vol. 58, no. 2, pp. 1–41, 2014.
- [190] R Core Team, „R: A Language and Environment for Statistical Computing.” Vienna, Austria, 2017.
- [191] RStudio Team, „RStudio: Integrated Development Environment for R.” Boston, MA, 2015.
- [192] H. Wickham, *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2009.
- [193] H. Wickham, „Package ‘plyr’ - Tools for Splitting, Applying and Combining Data,” 2016. [Online]. Available: <http://had.co.nz/plyr>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [194] H. Jeppson, H. Hofmann, and D. Cook, „ggmosaic: Mosaic Plots in the ‘ggplot2’ Framework,” 2017. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/package=ggmosaic>.
- [195] H. Wickham, „Package ‘tidyverse,’” 2017. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/tidyverse/tidyverse.pdf>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [196] H. Wickham, „Reshaping Data with the {reshape} Package,” *Journal of Statistical Software*, vol. 21, no. 12, pp. 1–20, 2007.
- [197] B. Auguie and A. Antonov, „Package ‘gridExtra’ - Miscellaneous Functions for ‘Grid’ Graphics,” 2016. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/gridExtra/gridExtra.pdf>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [198] B. Ripley, „Package ‘MASS’ - Support Functions and Datasets for Venables and Ripley’s MASS,” 2017. [Online]. Available: <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [199] G. Pujol *et al.*, „Package ‘sensitivity’ - Global Sensitivity Analysis of Model Outputs,” 2017. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/sensitivity/sensitivity.pdf>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [200] E. Neuwirth, „Package ‘RColorBrewer,’” 2014. [Online]. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/RColorBrewer/RColorBrewer.pdf>. [Accessed: 27-Aug-2017].
- [201] J. E. Baker, „Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm,” in *Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms*, 1987, pp. 14–21.
- [202] C. R. Reeves and J. E. Rowe, *Genetic Algorithms—Principles and Perspectives*, vol. 20. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.

- [203] L. Tesfatsion and K. L. Judd, *Handbook of Computational Economics*, vol. 2. 2006.
- [204] L. W. Sherman, „The Power Few: Experimental Criminology and the Reduction of Harm,” *Journal of Experimental Criminology*, vol. 3, no. 4, pp. 299–321, Nov. 2007.
- [205] T. R. Browning, „Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions,” *IEEE Transactions On Engineering Management*, vol. 48, no. 3, 2001.
- [206] S. Railsback *et al.*, „Improving Execution Speed of Models Implemented in NetLogo,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 20, no. 1, 2017.
- [207] F. P. Holgado-Tello, S. Chacón-Moscoso, I. Barbero-García, and E. Vila-Abad, „Polychoric Versus Pearson Correlations in Exploratory and Confirmatory Factor Analysis of Ordinal Variables,” *Quality and Quantity*, vol. 44, no. 1, pp. 153–166, 2009.
- [208] J. Black, „The Rise, Fall and Fate of Principles Based Regulation,” in *Law Reform and Financial Markets*, Elgar Fina., K. Alexander and N. Moloney, Eds. 2010, pp. 3–34.
- [209] „Prekršaj,” *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2012.
- [210] „Pravo,” *Hrvatska enciklopedija*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2012.
- [211] R. Axelrod and R. O. Keohane, „Achieving Cooperation Under Anarchy: Strategies and Institutions,” *World Politics*, vol. 38, no. 1, pp. 226–254, 1985.
- [212] D. E. Knuth, „Two notes on notation,” *The American Mathematical Monthly*, vol. 99, no. 5, pp. 403–422, 1992.

12. Prilozi

12.1. Prilog A: odredbe Odluke o IS

U tablici u nastavku navedene su sve odredbe „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ [12].

Odredba	Sadržaj
Čl. 3.	Uprava kreditne institucije dužna je odrediti člana uprave koji će biti nadležan za uspostavu i nadzor procesa upravljanja informacijskim sustavom.
Čl. 4.	Uprava kreditne institucije dužna je uspostaviti adekvatnu organizacijsku strukturu, odgovarajuće funkcije i odbore te u skladu s tim prenijeti ovlasti kako bi se osiguralo primjereno upravljanje informacijskim sustavom kreditne institucije.
Čl. 5. st.(1)	Uprava kreditne institucije dužna je donijeti strategiju informacijskog sustava koja mora biti u skladu s poslovnom strategijom kreditne institucije.
Čl. 5. st.(2)	Strategiju informacijskog sustava kreditne institucije potrebno je razraditi donošenjem strateških i operativnih planova.
Čl. 6.	Uprava kreditne institucije dužna je donijeti interne akte kojima se uređuje upravljanje informacijskim sustavom te osigurati provođenje tih akata.
Čl. 7.	Uprava kreditne institucije dužna je osigurati da svi korisnici informacijskog sustava budu upoznati sa sadržajem internih akata vezanih uz informacijski sustav u skladu s dodijeljenim ovlastima te potrebama korisnika informacijskog sustava.
Čl. 8.	Kreditna institucija je dužna definirati kriterije, načine i postupke izvješćivanja uprave i nadzornog odbora kreditne institucije o relevantnim činjenicama vezanima uz funkcionalnost i sigurnost informacijskog sustava.
Čl. 9.	Uprava kreditne institucije dužna je uspostaviti funkciju voditelja sigurnosti informacijskog sustava neovisnu o funkciji voditelja organizacijske jedinice za informacijsku tehnologiju te definirati njegove ovlasti, odgovornosti i djelokrug rada.
Čl. 10.	Uprava kreditne institucije dužna je imenovati odbor za upravljanje informacijskim sustavom ili druge odbore čija uloga treba biti praćenje i nadziranje informacijskog sustava i njegovih aktivnosti te koordinacija inicijativa vezanih uz informacijski sustav, a koje se tiču usklađenosti s poslovnim ciljevima i poslovnom strategijom kreditne institucije.
Čl. 11.	Uprava kreditne institucije dužna je donijeti metodologiju upravljanja projektima kojom će se definirati kriteriji, načini i postupci upravljanja projektima vezanima uz informacijski sustav.

Odredba	Sadržaj
Čl. 12.	Opća pravila za primjenu i uspostavu sustava upravljanja rizicima u smislu Zakona o kreditnim institucijama i propisa donesenih na temelju tog Zakona moraju se primijeniti i na upravljanje rizikom informacijskog sustava.
Čl. 13.	Kreditna institucija je dužna procijeniti i svesti na prihvatljivu razinu rizike koji proizlaze iz ugovornih odnosa s pravnim i fizičkim osobama čije su aktivnosti vezane uz informacijski sustav kreditne institucije.
Čl. 14.	Kreditna institucija je dužna kontinuirano nadzirati način i kvalitetu pružanja ugovorenih usluga vezanih uz informacijski sustav kreditne institucije.
Čl. 15. st.(1)	Metodologija koju je kreditna institucija dužna donijeti u skladu s člankom 187. stavkom 5. Zakona o kreditnim institucijama mora sadržavati kriterije, načine i postupke revizije informacijskog sustava kreditne institucije zasnovane na procjeni rizika.
Čl. 15. st.(2)	Na unutarnju reviziju informacijskog sustava primjenjuju se odredbe Odluke o sustavu unutarnjih kontrola („Narodne novine“, br. 1/2009., 75/2009. i 2/2010.).
Čl. 16.	Kreditna je institucija dužna donijeti interni akt koji će biti okvir za upravljanje sigurnošću informacijskog sustava (u nastavku teksta: politika sigurnosti informacijskog sustava) te definirati odgovornosti koje se odnose na područje sigurnosti informacijskog sustava.
Čl. 17.	Kreditna je institucija dužna klasificirati i zaštititi informacije prema stupnju njihove osjetljivosti s obzirom na moguće posljedice narušavanja povjerljivosti, integriteta i raspoloživosti informacija.
Čl. 18.	Kreditna institucija je dužna kontrolirati pristup resursima informacijskog sustava, prostorijama s resursima informacijskog sustava kao i sustavima koji su podrška funkcioniranju informacijskog sustava te primijeniti odgovarajuće upravljačke, logičke i fizičke kontrole pristupa. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti povlaštenom i udaljenom pristupu resursima informacijskog sustava.
Čl. 19.	Kreditna institucija je dužna uspostaviti sustav upravljanja korisničkim pravima pristupa koji obuhvaća procese evidentiranja, autorizacije, identifikacije i autentifikacije te nadzora korisničkih prava pristupa.
Čl. 20.	Kreditna institucija je dužna u skladu s procjenom rizika osigurati izradu i odrediti vrijeme čuvanja operativnih i sistemskih zapisa koji će omogućiti rekonstruiranje događaja, otkrivanje neovlaštenih pristupa i radnji na informacijskom sustavu, identificiranje problema te utvrđivanje odgovornosti.
Čl. 21.	Kreditna institucija je dužna zaštititi resurse informacijskog sustava od malicioznoga programskog kôda primjenom odgovarajućih upravljačkih, logičkih i fizičkih kontrola.
Čl. 22.	Kreditna je institucija dužna uspostaviti proces upravljanja hardverskom imovinom informacijskog sustava tijekom njezina životnog ciklusa. Proces upravljanja hardverskom imovinom mora obuhvatiti postupke detektiranja, evidentiranja, raspolaganja, praćenja, obnavljanja i odlaganja te imovine.
Čl. 23. st.(1)	Kreditna je institucija dužna uspostaviti proces upravljanja promjenama softverskih komponenata informacijskog sustava koji obuhvaća barem sljedeće postupke: a) utvrđivanje početnih inačica softverskih komponenata informacijskog sustava, b) identifikacija i praćenje svih programskih promjena aplikacijskog softvera koji podržava pružanje bankovnih i financijskih usluga, c) identifikacija i praćenje svih promjena arhitekture baza podataka koje podržavaju pružanje bankovnih i financijskih usluga i d) identifikacija i praćenje promjena svih ostalih softverskih komponenata informacijskog sustava koje utječu ili mogu utjecati na funkcionalnost i/ili sigurnost informacijskog sustava.

Odredba	Sadržaj
Čl. 23. st.(2)	Promjene softverskih komponenata informacijskog sustava moraju biti evidentirane i dokumentirane onim slijedom kako su nastajale zajedno s vremenom nastanka promjene.
Čl. 23. st.(3)	Sve promjene softverskih komponenata informacijskog sustava prije uvođenja u produkcijski rad potrebno je na odgovarajući način testirati i odobriti.
Čl. 24.	Kreditna je institucija dužna definirati postupke izrade, pohrane, održavanja i čuvanja dokumentacije koja se odnosi na informacijski sustav te osigurati da je dokumentacija točna, potpuna i ažurna.
Čl. 25.	Kreditna institucija je dužna osigurati primjereno i kontinuirano stručno obrazovanje i osposobljavanje svih zaposlenika kreditne institucije koji se koriste informacijskim sustavom.
Čl. 26.	Na proces upravljanja kontinuitetom poslovanja primjenjuju se odredbe Odluke o upravljanju rizicima („Narodne novine“, br. 1/2009., 41/2009., 75/2009. i 2/2010.) osim ako ovom Odlukom nije drugačije propisano.
Čl. 27. pod. a)	Osim obveza propisanih Odlukom o upravljanju rizicima u okviru upravljanja kontinuitetom poslovanja kreditna institucija dužna je: donijeti plan(ove) oporavka informacijskog sustava koji će omogućiti oporavak i raspoloživost resursa informacijskog sustava potrebnih za odvijanje kritičnih i/ili ključnih poslovnih procesa u zahtijevanom vremenu te
Čl. 27. pod. b)	periodično i nakon značajnih promjena u poslovnim procesima ili na informacijskom sustavu na odgovarajući način testirati plan(ove) oporavka informacijskog sustava te sastaviti pisana izvješća o rezultatima testiranja.
Čl. 28.	Kreditna institucija je dužna uspostaviti proces upravljanja incidentima koji će omogućiti pravodoban i učinkovit odgovor u slučaju narušavanja sigurnosti i funkcionalnosti resursa informacijskog sustava koji podržavaju odvijanje poslovnih procesa.
Čl. 29.	Kreditna institucija je dužna u slučaju težih incidenata u primjerenom roku od nastanka incidenta obavijestiti Hrvatsku narodnu banku o incidentu, njegovu učinku i poduzetim radnjama.
Čl. 30. st.(1)	Kreditna institucija je dužna uspostaviti proces upravljanja pričuvnom pohranom koji obuhvaća postupke izrade, pohrane i testiranja pričuvnih kopija podataka te restauracije podataka s pričuvnih kopija podataka kako bi se osigurala raspoloživost podataka u slučaju potrebe te omogućio oporavak odnosno ponovna uspostava kritičnih i/ili ključnih poslovnih procesa u zahtijevanom vremenu.
Čl. 30. st.(2)	Pričuvne kopije podataka moraju biti ažurne i pohranjene na primjeren način na jednoj ili više lokacija, od kojih najmanje jedna mora biti, u skladu s procjenom rizika, dovoljno udaljena od lokacije na kojoj se nalaze izvorni podaci (od kojih su izrađene pričuvne kopije podataka).
Čl. 31.	Kreditna institucija je dužna, u skladu s procjenom rizika i procijenjenim utjecajem neraspoloživosti pojedinih procesa odnosno resursa informacijskog sustava potrebnih za odvijanje tih procesa na poslovanje kreditne institucije, osigurati raspoloživost pričuvnoga računalnog centra s odgovarajućom opremljenošću, funkcionalnošću i razinom sigurnosti koji je na odgovarajućoj udaljenosti od primarnoga računalnog centra.
Čl. 32.	Kreditna institucija je dužna definirati načine, kriterije i postupke razvoja informacijskog sustava, pri čemu treba uzeti u obzir funkcionalne i sigurnosne aspekte.
Čl. 33.	Kreditna institucija je dužna uspostaviti proces razvoja informacijskog sustava u skladu s donesenom metodologijom upravljanja projektima.

Odredba	Sadržaj
Čl. 34.	Kreditna institucija je dužna, u sklopu procesa razvoja informacijskog sustava unutar kreditne institucije, uspostaviti i dokumentirati proces programskog razvoja i isporuke informacijskog sustava koji obuhvaća postupke analize i projektiranja, programiranja, testiranja te uvođenja u produkcijski rad.
Čl. 35.	Kreditna institucija je dužna osigurati da sve razvijene softverske komponente informacijskog sustava kao i nove hardverske komponente informacijskog sustava prije uvođenja u produkcijski rad budu na odgovarajući način testirane i odobrene.
Čl. 36.	Kreditna institucija je dužna na odgovarajući način razdvojiti razvojnu, testnu i produkcijsku okolinu.
Čl. 37. st.(1)	Kreditna institucija je dužna primijeniti sigurne i učinkovite autentifikacijske metode za potvrdu identiteta i ovlasti osoba, procesa i sustava.
Čl. 37. st.(2)	Autentifikacija osoba mora uključivati kombinaciju najmanje dvaju načina potvrđivanja korisničkog identiteta, gdje je god to moguće primijeniti.
Čl. 38.	Kreditna institucija je dužna osigurati odgovarajuću potvrdu svog identiteta na distribucijskom kanalu elektroničkog bankarstva kako bi korisnici elektroničkog bankarstva mogli provjeriti identitet i izvornost kreditne institucije.
Čl. 39.	Kreditna institucija je dužna osigurati postojanje odgovarajućih operativnih i sistemskih zapisa kako bi se osigurala neporecivost i dokazivost radnji povezanih s elektroničkim bankarstvom.

12.2. Prilog B: upitnik za kreditne institucije

U nastavku je upitnik koji je 6. veljače 2012. godine poslan kreditnim institucijama, te kojim su prikupljeni podaci o resursnoj zahtjevnosti ispunjavanja i održavanja usklađenosti s odredbama odredbe „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ [12]. Izgled i boje su istovjetni izvorniku.

Upute za popunjavanje: Molimo Vas da za svaku navedenu odredbu Odluke odgovorite na postavljena pitanja odabirom odgovarajućeg radio button-a. Pojašnjenje pitanja zapisano je u komentaru polja u kojem je zapisano pitanje. Radi bolje preglednosti, pojašnjenje pitanja nalazi se i na listu „Pojašnjenje“				Koliki resursi su potrebni za ispunjenje i održavanje usklađenosti s ovom odredbom?				
Članak	Stavak	Podstavak	Sadržaj „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ („Narodne novine“ br. 37/2010)	vrlo mali	mali	osrednji	veliki	vrlo veliki
3.			Uprava kreditne institucije dužna je odrediti člana uprave koji će biti nadležan za uspostavu i nadzor procesa upravljanja informacijskim sustavom.	☐	☐	☐	☐	☐
4.			Uprava kreditne institucije dužna je uspostaviti adekvatnu organizacijsku strukturu, odgovarajuće funkcije i odbore te u skladu s tim prenijeti ovlasti kako bi se osiguralo primjereno upravljanje informacijskim sustavom kreditne institucije.	☐	☐	☐	☐	☐

5.	(1)	Uprava kreditne institucije dužna je donijeti strategiju informacijskog sustava koja mora biti u skladu s poslovnom strategijom kreditne institucije.	O	O	O	O	O
	(2)	Strategiju informacijskog sustava kreditne institucije potrebno je razraditi donošenjem strateških i operativnih planova.	O	O	O	O	O
6.		Uprava kreditne institucije dužna je donijeti interne akte kojima se uređuje upravljanje informacijskim sustavom te osigurati provođenje tih akata.	O	O	O	O	O
7.		Uprava kreditne institucije dužna je osigurati da svi korisnici informacijskog sustava budu upoznati sa sadržajem internih akata vezanih uz informacijski sustav u skladu s dodijeljenim ovlastima te potrebama korisnika informacijskog sustava.	O	O	O	O	O
8.		Kreditna institucija je dužna definirati kriterije, načine i postupke izvješćivanja uprave i nadzornog odbora kreditne institucije o relevantnim činjenicama vezanima uz funkcionalnost i sigurnost informacijskog sustava.	O	O	O	O	O
9.		Uprava kreditne institucije dužna je uspostaviti funkciju voditelja sigurnosti informacijskog sustava neovisnu o funkciji voditelja organizacijske jedinice za informacijsku tehnologiju te definirati njegove ovlasti, odgovornosti i djelokrug rada.	O	O	O	O	O
10.		Uprava kreditne institucije dužna je imenovati odbor za upravljanje informacijskim sustavom ili druge odbore čija uloga treba biti praćenje i nadziranje informacijskog sustava i njegovih aktivnosti te koordinacija inicijativa vezanih uz informacijski sustav, a koje se tiču usklađenosti s poslovnim ciljevima i poslovnom strategijom kreditne institucije.	O	O	O	O	O
11.		Uprava kreditne institucije dužna je donijeti metodologiju upravljanja projektima kojom će se definirati kriteriji, načini i postupci upravljanja projektima vezanima uz informacijski sustav.	O	O	O	O	O
12.		Opća pravila za primjenu i uspostavu sustava upravljanja rizicima u smislu Zakona o kreditnim institucijama i propisa donesenih na temelju tog Zakona moraju se primijeniti i na upravljanje rizikom informacijskog sustava.	O	O	O	O	O
13.		Kreditna institucija je dužna procijeniti i svesti na prihvatljivu razinu rizike koji proizlaze iz ugovornih odnosa s pravnim i fizičkim osobama čije su aktivnosti vezane uz informacijski sustav kreditne institucije.	O	O	O	O	O
14.		Kreditna institucija je dužna kontinuirano nadzirati način i kvalitetu pružanja ugovorenih usluga vezanih uz informacijski sustav kreditne institucije.	O	O	O	O	O
15.	(1)	Metodologija koju je kreditna institucija dužna donijeti u skladu s člankom 187. stavkom 5. Zakona o kreditnim institucijama mora sadržavati kriterije, načine i postupke revizije informacijskog sustava kreditne institucije zasnovane na procjeni rizika.	O	O	O	O	O
	(2)	Na unutarnju reviziju informacijskog sustava primjenjuju se odredbe Odluke o sustavu unutarnjih kontrola („Narodne novine“, br. 1/2009., 75/2009. i 2/2010.).	O	O	O	O	O
16.		Kreditna je institucija dužna donijeti interni akt koji će biti okvir za upravljanje sigurnošću informacijskog sustava (u nastavku teksta: politika sigurnosti informacijskog sustava) te definirati odgovornosti koje se odnose na područje sigurnosti informacijskog sustava.	O	O	O	O	O

17.		Kreditna je institucija dužna klasificirati i zaštititi informacije prema stupnju njihove osjetljivosti s obzirom na moguće posljedice narušavanja povjerljivosti, integriteta i raspoloživosti informacija.	☐	☐	☐	☐	☐
18.		Kreditna institucija je dužna kontrolirati pristup resursima informacijskog sustava, prostorijama s resursima informacijskog sustava kao i sustavima koji su podrška funkcioniranju informacijskog sustava te primijeniti odgovarajuće upravljačke, logičke i fizičke kontrole pristupa. Posebnu pozornost potrebno je posvetiti povlaštenom i udaljenom pristupu resursima informacijskog sustava.	☐	☐	☐	☐	☐
19.		Kreditna institucija je dužna uspostaviti sustav upravljanja korisničkim pravima pristupa koji obuhvaća procese evidentiranja, autorizacije, identifikacije i autentifikacije te nadzora korisničkih prava pristupa.	☐	☐	☐	☐	☐
20.		Kreditna institucija je dužna u skladu s procjenom rizika osigurati izradu i odrediti vrijeme čuvanja operativnih i sistemskih zapisa koji će omogućiti rekonstruiranje događaja, otkrivanje neovlaštenih pristupa i radnji na informacijskom sustavu, identificiranje problema te utvrđivanje odgovornosti.	☐	☐	☐	☐	☐
21.		Kreditna institucija je dužna zaštititi resurse informacijskog sustava od malicioznoga programskog kôda primjenom odgovarajućih upravljačkih, logičkih i fizičkih kontrola.	☐	☐	☐	☐	☐
22.	(1)	Kreditna je institucija dužna uspostaviti proces upravljanja hardverskom imovinom informacijskog sustava tijekom njezina životnog ciklusa.	☐	☐	☐	☐	☐
	(2)	Proces upravljanja hardverskom imovinom mora obuhvatiti postupke detektiranja, evidentiranja, raspolaganja, praćenja, obnavljanja i odlaganja te imovine.	☐	☐	☐	☐	☐
23.	(1)	Kreditna je institucija dužna uspostaviti proces upravljanja promjenama softverskih komponenata informacijskog sustava koji obuhvaća barem sljedeće postupke:	☐	☐	☐	☐	☐
	a)	utvrđivanje početnih inačica softverskih komponenata informacijskog sustava,	☐	☐	☐	☐	☐
	b)	identifikacija i praćenje svih programskih promjena aplikacijskog softvera koji podržava pružanje bankovnih i financijskih usluga,	☐	☐	☐	☐	☐
	c)	identifikacija i praćenje svih promjena arhitekture baza podataka koje podržavaju pružanje bankovnih i financijskih usluga i	☐	☐	☐	☐	☐
	d)	identifikacija i praćenje promjena svih ostalih softverskih komponenata informacijskog sustava koje utječu ili mogu utjecati na funkcionalnost i/ili sigurnost informacijskog sustava.	☐	☐	☐	☐	☐
	(2)	Promjene softverskih komponenata informacijskog sustava moraju biti evidentirane i dokumentirane onim slijedom kako su nastajale zajedno s vremenom nastanka promjene.	☐	☐	☐	☐	☐
	(3)	Sve promjene softverskih komponenata informacijskog sustava prije uvođenja u produkcijski rad potrebno je na odgovarajući način testirati i odobriti.	☐	☐	☐	☐	☐
24.		Kreditna je institucija dužna definirati postupke izrade, pohrane, održavanja i čuvanja dokumentacije koja se odnosi na informacijski sustav te osigurati da je dokumentacija točna, potpuna i ažurna.	☐	☐	☐	☐	☐

25.		Kreditna institucija je dužna osigurati primjereno i kontinuirano stručno obrazovanje i osposobljavanje svih zaposlenika kreditne institucije koji se koriste informacijskim sustavom.	☐	☐	☐	☐	☐
26.		Na proces upravljanja kontinuitetom poslovanja primjenjuju se odredbe Odluke o upravljanju rizicima („Narodne novine“, br. 1/2009., 41/2009., 75/2009. i 2/2010.) osim ako ovom Odlukom nije drugačije propisano.	☐	☐	☐	☐	☐
27.		Osim obveza propisanih Odlukom o upravljanju rizicima u okviru upravljanja kontinuitetom poslovanja kreditna institucija dužna je:	☐	☐	☐	☐	☐
	a)	donijeti plan(ove) oporavka informacijskog sustava koji će omogućiti oporavak i raspoloživost resursa informacijskog sustava potrebnih za odvijanje kritičnih i/ili ključnih poslovnih procesa u zahtijevanom vremenu te	☐	☐	☐	☐	☐
	b)	periodično i nakon značajnih promjena u poslovnim procesima ili na informacijskom sustavu na odgovarajući način testirati plan(ove) oporavka informacijskog sustava te sastaviti pisana izvješća o rezultatima testiranja.	☐	☐	☐	☐	☐
28.		Kreditna institucija je dužna uspostaviti proces upravljanja incidentima koji će omogućiti pravodoban i učinkovit odgovor u slučaju narušavanja sigurnosti i funkcionalnosti resursa informacijskog sustava koji podržavaju odvijanje poslovnih procesa.	☐	☐	☐	☐	☐
29.		Kreditna institucija je dužna u slučaju težih incidenata u primjerenom roku od nastanka incidenta obavijestiti Hrvatsku narodnu banku o incidentu, njegovu učinku i poduzetim radnjama.	☐	☐	☐	☐	☐
30.	(1)	Kreditna institucija je dužna uspostaviti proces upravljanja pričuvnom pohranom koji obuhvaća postupke izrade, pohrane i testiranja pričuvnih kopija podataka te restauracije podataka s pričuvnih kopija podataka kako bi se osigurala raspoloživost podataka u slučaju potrebe te omogućio oporavak odnosno ponovna uspostava kritičnih i/ili ključnih poslovnih procesa u zahtijevanom vremenu.	☐	☐	☐	☐	☐
	(2)	Pričuvne kopije podataka moraju biti ažurne i pohranjene na primjeren način na jednoj ili više lokacija, od kojih najmanje jedna mora biti, u skladu s procjenom rizika, dovoljno udaljena od lokacije na kojoj se nalaze izvorni podaci (od kojih su izrađene pričuvne kopije podataka).	☐	☐	☐	☐	☐
31.		Kreditna institucija je dužna, u skladu s procjenom rizika i procijenjenim utjecajem neraspoloživosti pojedinih procesa odnosno resursa informacijskog sustava potrebnih za odvijanje tih procesa na poslovanje kreditne institucije, osigurati raspoloživost pričuvnoga računalnog centra s odgovarajućom opremljenošću, funkcionalnošću i razinom sigurnosti koji je na odgovarajućoj udaljenosti od primarnoga računalnog centra.	☐	☐	☐	☐	☐
32.		Kreditna institucija je dužna definirati načine, kriterije i postupke razvoja informacijskog sustava, pri čemu treba uzeti u obzir funkcionalne i sigurnosne aspekte.	☐	☐	☐	☐	☐
33.		Kreditna institucija je dužna uspostaviti proces razvoja informacijskog sustava u skladu s donesenom metodologijom upravljanja projektima.	☐	☐	☐	☐	☐

34.		Kreditna institucija je dužna, u sklopu procesa razvoja informacijskog sustava unutar kreditne institucije, uspostaviti i dokumentirati proces programskog razvoja i isporuke informacijskog sustava koji obuhvaća postupke analize i projektiranja, programiranja, testiranja te uvođenja u produkcijski rad.	☐	☐	☐	☐	☐
35.		Kreditna institucija je dužna osigurati da sve razvijene softverske komponente informacijskog sustava kao i nove hardverske komponente informacijskog sustava prije uvođenja u produkcijski rad budu na odgovarajući način testirane i odobrene.	☐	☐	☐	☐	☐
36.		Kreditna institucija je dužna na odgovarajući način razdvojiti razvojnu, testnu i produkcijsku okolinu.	☐	☐	☐	☐	☐
37.	(1)	Kreditna institucija je dužna primijeniti sigurne i učinkovite autentifikacijske metode za potvrdu identiteta i ovlasti osoba, procesa i sustava.	☐	☐	☐	☐	☐
	(2)	Autentifikacija osoba mora uključivati kombinaciju najmanje dvaju načina potvrđivanja korisničkog identiteta, gdje je god to moguće primijeniti.	☐	☐	☐	☐	☐
38.		Kreditna institucija je dužna osigurati odgovarajuću potvrdu svog identiteta na distribucijskom kanalu elektroničkog bankarstva kako bi korisnici elektroničkog bankarstva mogli provjeriti identitet i izvornost kreditne institucije.	☐	☐	☐	☐	☐
39.		Kreditna institucija je dužna osigurati postojanje odgovarajućih operativnih i sistemskih zapisa kako bi se osigurala neporecivost i dokazivost radnji povezanih s elektroničkim bankarstvom.	☐	☐	☐	☐	☐

Uz upitnik, kreditnim institucijama dostavljena su i sljedeća objašnjenja:

Upitnik prikuplja podatke o upravljanju informacijskim sustavom i „Odluci o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ („Narodne novine“, br. 37/2010) te općenito o regulatornom okviru koji se odnosi na informacijske sustave u kreditnim institucijama. Upitnik propituje, u prvom redu, stavove rukovodstva Banke o predmetnoj materiji.

Preporuka za operativno popunjavanje upitnika:

Obzirom na navedeni sadržaj, upitnik bi trebao popuniti voditelj organizacijske jedinice informacijske tehnologije i/ili član Uprave banke zadužen za informacijsku tehnologiju, uz koordinaciju s voditeljem sigurnosti informacijskog sustava.

Pitanje	Pojašnjenje pitanja
Koliki resursi su potrebni za ispunjenje i održavanje usklađenosti s ovom odredbom?	Prilikom razmatranja potrebnih resursa u obzir bi trebalo uzeti, između ostalog, sljedeće: Financijske troškove ili ulaganja u softverske i hardverske komponente, kao i u informacijsku imovinu i to: Jednokratne (primjerice, nabava softvera ili hardvera, inicijalna izobrazba djelatnika, konzultantske usluge i sl.) Periodičke (primjerice, obnavljanje licenca, troškovi održavanja, periodička izobrazba djelatnika i sl.) Izvanredne (primjerice, financiranje razvoja dodatnih funkcionalnosti i sl.). Angažman djelatnika banke: - Angažman na implementaciji (primjerice, uspostava hardverske infrastrukture, razvoj programske podrške, inicijalna izobrazba i sl.) - Angažman na održavanju (primjerice, održavanje softverskih rješenja, održavanje infrastrukture, razvoj dodatnih funkcionalnosti, periodička izobrazba i sl.) Administrativno opterećenje djelatnika (primjerice, potreba za periodičkim ili kontinuiranim provođenjem određenih analiza, održavanjem sastanaka, prikupljanjem podataka, sastavljanjem dokumenata, popunjavanjem obrazaca i sl.).

12.3. Prilog C: upitnik za ovlaštene revizore

Upitnik kojim je propitivana usklađenost kreditnih institucija s odredbama „Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom“ [12] upućen je ovlaštenim revizorima 11. travnja 2012. godine. Pitanja upitnika (odnosno tekst odredaba Odluke) identična su upitniku upućenom kreditnim institucijama, priloženom u poglavlju 12.2. Razlika među upitnicima je u ponuđenim odgovorima, koji su prikazani u nastavku. Izgled i boje su istovjetni izvorniku.

U kojoj mjeri je kreditna institucija ispunila odredbe Odluke o primjerenom upravljanju informacijskim sustavom?					
U potpunosti neispunjeno	Velikom većinom neispunjeno	Uglavnom neispunjeno	Uglavnom ispunjeno	Velikom većinom ispunjeno	U potpunosti ispunjeno
☐	☐	☐	☐	☐	☐

Uz upitnik, ovlaštenim revizorima dostavljena su i sljedeća objašnjenja:

U okviru ovog pitanja analizira se utjecaj postupaka definiranih nekom odredbom, a ne samo formalno ispunjavanje odredbe. Primjerice, ako je Banka ustrojila odbor za upravljanje informacijskim sustavom i prije stupanja na snagu čl. 10. Odluke, tada se u odgovoru na pitanje trebaju razmotriti potencijalni pozitivni utjecaji ustrojavanja tog odbora, a ne samog naknadnog formalnog ispunjavanja odredbe Odluke.

U okviru razmatranja da li je provođenje postupaka navedenih u specifičnoj odredbi pozitivno utjecalo na unaprijeđenje stanja informacijskog sustava trebalo bi uzeti u obzir moguće pozitivne učinke na:

- *funkcionalnost informacijskog sustava,*
- *sigurnost informacijskog sustava,*
- *upravljanje informacijskim sustavom.*

Životopis

Slaven Smojver rođen je 1978. godine u Zagrebu. 2001. diplomirao je na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) u Zagrebu, a 2008. stekao je akademski stupanj magistra znanosti na Ekonomskom fakultetu u Zagrebu (EFZG). 2009. godine upisao je sveučilišni doktorski studij na Fakultetu organizacije i informatike (FOI) u Varaždinu.

Od 2004. godine zaposlen je kao supervizor u Hrvatskoj narodnoj banci gdje procjenjuje primjerenost upravljanja informacijskim sustavima te adekvatnost samih informacijskih sustava u kreditnim institucijama, institucijama za platni promet te institucijama za elektronički novac, kao i implikacije korištenja informacijske tehnologije na poslovanje tih institucija.

Sudjelovao je u izradi većeg broja zakona i podzakonskih akata vezanih uz informacijske sustave, osiguravao preuzimanje kontrole nad informacijskim sustavima kreditnih institucija, savjetovao u zemlji i inozemstvu, održao mnogobrojna predavanja vezana uz informacijske sustave kreditnih institucija, kontrolu, reviziju te sigurnost informacijskih sustava i slične teme u zemlji i inozemstvu, provodio istraživanja o informacijskim sustavima te analizirao i ocjenjivao revizorska izvješća i rad vanjskih revizora. Predstavnik je Hrvatske narodne banke u nekoliko međunarodnih i domaćih tijela.

Od 2002. do 2004. radio je na razvoju bankovnog softvera u ulogama rukovoditelja, projektanta i programera.

U lipnju 2013. izabran je u nastavno zvanje predavača te je nositelj predmeta „Upravljanje sigurnosnim incidentima u IT sustavima“ koji se održava u okviru specijalističkog diplomskog stručnog studija primijenjenog računarstava – sistemski smjer pri Visokom učilištu Algebra.

Od 2012. do 2016. bio je član Upravnog odbora hrvatskog ogranka međunarodne organizacije ISACA.

Od 2007. godine posjeduje certifikate Certified Information Systems Auditor (CISA), CompTIA Security+ i GIAC GPCI, a od 2008. i Certified Information Security Manager (CISM).

Popis objavljenih radova

Znanstveni časopisi s međunarodnom recenzijom:

1. Smojver S: „Inspecting Compliance to Many Rules: An Agent-Based Model“, Interdisciplinary Description of Complex Systems (INDECS), 14(3), 2016, pp. 277-295
2. Smojver S, Blažeković D: „Information systems outsourcing in Croatian banks: Developments 2005 – 2012“, Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 28(1), 2015, pp. 259-270

Magistarski rad:

„Supervizija informacijskih sustava banaka“, Ekonomski fakultet u Zagrebu, Zagreb, travanj 2008

Poglavlja u knjigama (na hrvatskom jeziku, s recenzijom):

1. Panian, Ž., Spremić, M. i suradnici: „Korporativno upravljanje i revizija informacijskih sustava“, Zgombić & partneri, Zagreb, 2007
Poglavlje: „Smjernice za održavanje kontinuiteta poslovanja“, pp. 255-284

Znanstveni radovi objavljeni u zbornicima međunarodnih skupova:

1. Smojver S: „Survey on the US National Security Agency (NSA): Opinions, Concern and Information Security Awareness“, Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent, Varaždin, Hrvatska, 2015., pp. 159-166 (predavanje, rad, znanstveni)
2. Smojver S: „Complexity of Information Systems and Bank Size: A Case Study of Croatian Banks“, Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent, Varaždin, Hrvatska, 2014., pp. 78-85 (predavanje, rad, znanstveni)
3. Smojver S: „Analysis of Banking Supervision via Inspection Game and Agent-Based Modeling“, Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent, Varaždin, Hrvatska, 2012., pp. 355-362 (predavanje, rad, znanstveni)
4. Smojver S: „Selection of Information Security Risk Management Method Using Analytic Hierarchy Process (AHP)“, Proceedings of the Central European Conference

on Information and Intelligent Systems, Varaždin, Hrvatska, 2011., pp. 119-126
(predavanje, rad, znanstveni)

Stručna predavanja (posljednje 3 godine):

1. Smojver S: „Smjernice o izvješćivanju o značajnim incidentima u skladu s Direktivom (EU) 2015/2366“, u organizaciji Hrvatske gospodarske komore i Hrvatske narodne banke, Zagreb, lipanj 2018. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
2. Smojver S: „Smjernice o sigurnosnim mjerama za operativne i sigurnosne rizike povezane s platnim uslugama na temelju Direktive (EU) 2015/2366“, u organizaciji Hrvatske gospodarske komore i Hrvatske narodne banke, Zagreb, lipanj 2018. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
3. Smojver S: „Kako se uvjeriti da je vaš informacijski sustav siguran?“, CYBERrisk konferencija, u organizaciji časopisa „Zaštita“, Zagreb, svibanj 2018. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
4. Smojver S: „Što je zapravo novac u digitalnom svijetu?“, Centar za informacijsku sigurnost (CIS), Zagreb, Hrvatska, svibanj 2018. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
5. Smojver S: „IT-related regulation - IT SREP, Cloud outsourcing, PSD2“, UniCredit Global IT Audit Conference, Zagreb, Hrvatska, travanj 2018. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
6. Smojver S: „Kako se uvjeriti da je vaš informacijski sustav siguran?“, „Od pogleda u prošlost do strateškog partnerstva za budućnost“, u organizaciji Hrvatskog instituta internih revizora, Vodice, Hrvatska, travanj 2018. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
7. Smojver S: „Cyber rizici u bankarstvu“, u organizaciji Hrvatske narodne banke, Zagreb, studeni 2017. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
8. Smojver S: „Što kibernetička sigurnost znači za vas?“, „ICTI2017“, u organizaciji Instituta za osiguranje i časopisa „Tectus“, Opatija, svibanj 2017. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
9. Smojver S: „Novi izazovi u postizanju kibernetičke sigurnosti“, „Novi trendovi u internoj reviziji – priprema za nadolazeće promjene“, u organizaciji Hrvatskog instituta

- internih revizora, Vodice, Hrvatska, travanj 2017. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
10. Smojver S: „Tehnološki aspekti promjena koje donosi Direktiva (EU) 2015/2366 i sigurnost elektroničkih plaćanja“, u organizaciji Hrvatske gospodarske komore, Zagreb, travanj 2017. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 11. Smojver S: „Plaćanje putem interneta i sigurnost informacijskih sustava banaka“, u organizaciji OWASP Hrvatska, Zagreb, prosinac 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 12. Smojver S: „Kibernetička sigurnost u bankama: Rizici, regulativa i izazovi“, „SIGBANK - Sigurnost banaka i ostalih financijskih institucija“, u organizaciji časopisa „Zaštita“, Zagreb, listopad 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 13. Smojver S: „Kibernetička sigurnost u bankama: Rizici, regulativa i izazovi“, u organizaciji Hrvatskog instituta za bankarstvo i osiguranje (HIBO), Zagreb, listopad 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 14. Smojver S: „Cyber risks for e-banking and payment services“, u organizaciji Europske bankovne regulatorne agencije (EBA), London, UK, rujan 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 15. Smojver S: „Neutorizirane transakcije inicirane putem internetskog bankarstva u RH u 2014. i 2015.“ u organizaciji Udruge za reviziju i kontrolu informacijskog sustava Ogranak Hrvatska, Zagreb, svibanj 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 16. Smojver S: „Unutargrupna eksternalizacija“, „Nove kompetencije – ključ uspjeha“, u organizaciji Hrvatskog instituta internih revizora, Poreč, Hrvatska, travanj 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 17. Smojver S: „Case Study: Internet Banking – Hacking and Response“, „International Conference on Supervision of Operational and IT Risk Management“, u organizaciji De Nederlandsche Bank i Federalne agencije za bankarstvo BiH, Sarajevo, BiH, travanj 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)
 18. Smojver S: „Implementation of EBA’s Guidelines on the security of internet payments“, „International Conference on Supervision of Operational and IT Risk Management“, u

organizaciji De Nederlandsche Bank i Federalne agencije za bankarstvo BiH, Sarajevo, BiH, travanj 2016. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)

19. Smojver S: Overview of the Internet Banking Fraud in Croatia, FSec, u organizaciji Fakulteta Organizacije i informatike, Varaždin, Hrvatska, rujan 2015. (pozvano predavanje, ppt prezentacija, stručni)