



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



**МОДЕЛ АРХИТЕКТУРЕ  
ИНФОРМАЦИОНОГ СИСТЕМА  
КАТАСТРА НЕПОКРЕТНОСТИ  
ЗАСНОВАН НА  
БЛОКЧЕЈН ТЕХНОЛОГИЈИ**  
ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:  
проф. др Ђорђе Пржуљ

Кандидат:  
Мирослав Стефановић

Нови Сад, 2023. године.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА<sup>1</sup>

|  |  |
|--|--|
| Врста рада:  | Докторска дисертација  |
| Име и презиме аутора:  | Мирослав Стефановић  |
| Ментор (титула, име, презиме, звање, институција)            | др Ђорђе Пржуљ, ванредни професор, Факултет техничких наука, УНС   |
| Наслов рада:   | Модел архитектуре информационог система катастра непокретности заснован на блокчејн технологији  |
| Језик публикације (писмо):                                   | Српски (ћирилица)  |
| Физички опис рада:   | Унети број:<br>Страница број 129<br>Поглавља 7<br>Референци 226<br>Табела 16<br>Слика 29<br>Листинга 17<br>Графикона 0<br>Прилога 1  |
| Научна област:   | Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент  |
| Ужа научна област (научна дисциплина):                       | Информационо–комуникациони системи   |
| Кључне речи / предметна одредница:                           | Блокчејн технологија, технологија дистрибуиране књиге трансакција, јединствени токени, <i>ERC-20</i> , <i>ERC-721</i> , катастар непокретности   |
| Резиме на језику рада:                                       | У оквиру дисертације проучава се могућност примене блокчејн технологије у катастру непокретности. Врши се идентификација проблема катастра непокретности које је могуће ублажити применом блокчејн технологије. Предлог решења за ублажавања изабраних проблема дат је у форми паметног уговора. Паметни уговор је тестиран кроз примену у дефинисаним случајевима употребе. Предложен је модела информационог система катастра непокретности, са компонентом засновану на блокчејн технологији која је задужена за управљање трансакцијама. |
| Датум прихватања теме од стране надлежног већа:              | 27.10.2022.  |
| Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)                |  |
| Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција) | Председник: др Соња Ристић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду<br>Члан: др Дарко Стефановић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду<br>Члан: др Душан Савић, ванредни професор, Факултет организационих наука, Универзитет у Београду  |

<sup>1</sup> Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не кориче се са тезом.

|           |   |
|-----------|---|
|           | <p>Члан: др Теодора Вучковић, доцент, Факултет техничких наука,<br/>Универзитет у Новом Саду</p> <p>Члан: др Горан Маринковић, ванредни професор, Факултет техничких<br/>наука, Универзитет у Новом Саду</p> <p>Ментор: др Ђорђе Пржуљ, ванредни професор, Факултет техничких<br/>наука, Универзитет у Новом Саду</p> |
| Напомена: |   |

**UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

**KEY WORD DOCUMENTATION<sup>2</sup>**

|   |  |
|---|--|
| Document type:  | Doctoral dissertation  |
| Author:   | Miroslav Stefanović  |
| Supervisor (title, first name, last name, position, institution)              | Dr. Đorđe Pržulj, Assistant professor, Faculty of Technical Sciences, UNS  |
| Thesis title:   | Model of Information System Architecture for Land Administration System Based on Blockchain Technology   |
| Language of text (script):  | Serbian language (Cyrillic script)   |
| Physical description:   | Number of:<br>Pages 129<br>Chapters 7<br>References 226<br>Tables 16<br>Illustrations 29<br>Listings 17<br>Graphs 0<br>Appendices 1  |
| Scientific field:   | Industrial Engineering and Engineering Management  |
| Scientific subfield (scientific discipline):                                  | Information and Communication Systems  |
| Subject, Key words:   | Blockchain technology, distributed ledger technology, non-fungible tokens, ERC-20, ERC-721, land administration systems  |
| Abstract in English language:   | In this dissertation, the possibility of applying blockchain technology to the real estate cadastre is studied. Real estate cadastre problems that can be alleviated by applying blockchain technology are being identified. The proposed solution for alleviating the selected problems is given in the form of a smart contract. The smart contract has been tested through implementation in defined use cases. A model of the information system of the real estate cadastre with a component based on blockchain technology that is responsible for managing transactions was proposed. |
| Accepted on Scientific Board on:  | 27.10.2022   |
| Defended:<br>(Filled by the faculty service)                                  |  |
| Thesis Defend Board:<br>(title, first name, last name, position, institution) | President: Dr. Sonja Ristić, professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad<br>Member: Dr. Darko Stefanović, professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad<br>Member: Dr. Dušan Savić, associate professor, Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade  |

<sup>2</sup> The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5Г – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

|       |   |
|-------|---|
|       | <p>Member: Dr. Teodora Vučković, assistant professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Member: Dr. Goran Marinković, associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad</p> <p>Mentor: Dr. Đorđe Pržulj, associate professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad</p> |
| Note: |   |

# Садржај

---

|   |      |
|---|------|
| Садржај.....  | VI   |
| Резиме.....   | VIII |
| <i>Summary</i> .....  | IX   |
| Листа слика.....  | X    |
| Листа табела.....   | XI   |
| Листа листинга.....   | XII  |
| Листа скраћеница.....   | XIII |
| 1. Уводна разматрања.....   | 1    |
| 1.1 Мотивација и опис предмета истраживања.....                   | 1    |
| 1.2 Задачи и циљеви истраживања.....                              | 3    |
| 1.3 План истраживања.....   | 4    |
| 1.4 Истраживачка питања и хипотезе.....                           | 4    |
| 1.5 Резултати истраживања и научни допринос дисертације.....      | 5    |
| 1.6 Структура дисертације.....                                    | 6    |
| 2. Теоријске основе и стање у области.....                        | 8    |
| 2.1 Катастар непокретности.....                                   | 9    |
| 2.1.1 <i>Cadastrre 2014</i> .....                                 | 12   |
| 2.1.2 Модел домена катастра непокретности – <i>LADM</i> .....     | 17   |
| 2.1.3 <i>Cadastrre 2034</i> .....                                 | 21   |
| 2.1.4 Проблеми у КН.....  | 24   |
| 2.2 Блокчејн технологија.....                                     | 27   |
| 2.2.1 Архитектура Биткоин блокчејна.....                          | 27   |
| 2.2.2 Проблем византијских генерала.....                          | 30   |
| 2.2.3 Механизми консензуса.....                                   | 31   |
| 2.2.4 Основне карактеристике блокчејн технологија.....            | 33   |
| 2.2.5 Паметни уговори.....  | 33   |
| 2.2.6 Безбедност информација у блокчејн технологији.....          | 35   |
| 2.3 Блокчејн технологија у е-управи и катастру непокретности..... | 42   |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.    | Паметни уговор.....  | 47  |
| 3.1.1 | Избор блокчејн платформе .....                                       | 48  |
| 3.1.2 | <i>Ethereum Request for Comments</i> стандарди.....                  | 52  |
| 3.1.3 | Имплементација.....  | 60  |
| 4.    | Модел архитектуре информационог система катастра непокретности ..... | 80  |
| 5.    | Верификација модела.....   | 87  |
| 5.1   | Испитивање хипотеза .....  | 94  |
| 5.2   | Ограничења .....   | 101 |
| 5.3   | Теоријске и практичне импликације.....                               | 103 |
| 6.    | Закључци и правци будућих истраживања .....                          | 104 |
| 6.1   | Правци будућих истраживања.....                                      | 104 |
| 7.    | Литература .....   | 106 |
|       | Прилог А – Програмски код паметног уговора.....                      | 123 |

У свету у којем готово две трећине укупне популације користи интернет није изненађујуће да готово све државе улажу значајне ресурсе у развој електронске управе. Као и у свим другим областима и у области електронске управе неопходно је ићи у корак са новим информационо-комуникационим технологијама. Једна од нових информационо-комуникационих технологија, која је препозната због свог потенцијала у примени у електронској управи, је блокчејн технологија.

Блокчејн технологија предложена као могуће решење у великом броју области електронске управе. Једна од области која се у истраживањима најчешће помиње је катастар непокретности. Катастар непокретности је систем од великог значаја за велики број заинтересованих страна. Ипак, и поред великог значаја, у катастру непокретности и даље постоји значајан број проблема, посебно у неразвијеним и у државама у развоју.

У овој докторској дисертацији истраживане су могућности примене блокчејн технологије у катастру непокретности. Препознати су проблеми који и даље постоје у катастру непокретности и на основу карактеристика блокчејн технологије извршена је селекција проблема које је могуће ублажити применом блокчејн технологије. Конкретна имплементација блокчејн технологије предложена је у форми паметног уговора који ублажава селектоване проблеме. Тестирање паметног уговора извршено је кроз дефинисане случајеве употребе. Поред тога, предложен је и модел архитектуре информационог система катастра непокретности који ће имати компоненту за управљање трансакцијама засновану на блокчејн технологији.

Резултати ове дисертације могу се сагледати са два аспекта. Један као могућност ублажавања дела проблема у катастру непокретности, а што представља предложени модела архитектуре информационог система, као и новог програмског интерфејса који је послужио као основа за развој паметног уговора. Други представља могућност да се предложени модел и интерфејс користе и у другим областима и то не само електронске управе, већ у свим случајевима у којима не постоји трећа страна од поверења, а где постоји потреба за дељењем власништва над јединственим ентитетима.

Поред тога, предложена имплементација паметног уговора задовољава све дефинисане случајеве употребе трансакција у катастрима непокретности, што одлази корак даље у односу на досадашња истраживања, која су се обично бавила само најједноставнијим случајевима.



# Summary

---

In a world where almost two-thirds of the total population uses the Internet, it is not surprising that almost all countries invest significant resources in the development of e-government. As in all other fields, it is necessary to keep up with new information and communication technologies in the field of electronic administration. One of the new information and communication technologies, which is recognized for its potential in application in electronic administration, is blockchain technology.

Blockchain technology is proposed as a possible solution in a large number of areas of electronic administration. One of the areas most often mentioned in research are land administration systems. Land administration system is a system of great importance for a large number of interested parties. However, despite its great importance, there is still a significant number of problems in land administration systems, especially in underdeveloped and developing countries.

In this doctoral dissertation, the possibilities of application of blockchain technology in land administration systems were researched. The problems existing in land administration systems have been recognized and based on the characteristics of blockchain technology, a selection of problems that can be mitigated by applying blockchain technology has been made. A concrete implementation of blockchain technology is proposed in the form of a smart contract that alleviates selected problems. Smart contract testing was performed through defined use cases. In addition, a model of the architecture of the information system for land administration systems which will have a transaction management component based on blockchain technology was proposed.

The results of this dissertation can be seen from two aspects. One as the possibility of mitigating part of the problems in land administration systems, which represents the proposed model of the architecture of the information system, as well as the new programming interface that served as the basis for the development of a smart contract. The second represents the possibility to use the proposed model and interface in other areas, not only electronic administration, but in all cases where there is no trusted third party, and where there is a need to share ownership of unique entities.

In addition, the proposed implementation of the smart contract satisfies all defined transaction use cases in land administration systems, which goes one step further compared to previous research, which usually only dealt with the simplest cases.

# Листа слика

---

|  |    |
|--|----|
| Слика 2-1. Шематски приказ односа регистра земљишта и катастра .....   | 10 |
| Слика 2-2. <i>UML</i> дијаграм класа основних апстракција трансакција КН.....  | 11 |
| Слика 2-3. <i>UML</i> дијаграм класа основних <i>LADM</i> класа.....   | 18 |
| Слика 2-4. <i>UML</i> дијаграм класа <i>LADM</i> пакет странке .....   | 18 |
| Слика 2-5. <i>UML</i> дијаграм класа <i>LADM</i> административног пакета .....   | 19 |
| Слика 2-6. <i>UML</i> дијаграм класа <i>LADM</i> пакета просторних јединица.....                                       | 19 |
| Слика 2-7. <i>UML</i> дијаграм класа <i>LADM</i> пакета премера.....   | 20 |
| Слика 2-8. <i>UML</i> дијаграм класа <i>LADM</i> пакета просторних описа .....   | 20 |
| Слика 2-9. Класификација грешака у географским информационим системима .....   | 26 |
| Слика 2-10. Биткоин трансакције.....   | 29 |
| Слика 2-11. Ланац блокова .....  | 29 |
| Слика 2-12. Биткоин блокови .....  | 30 |
| Слика 3-1. Десет корака за проверу примењивости и избор БТ платформе.....  | 49 |
| Слика 3-2. <i>UML</i> дијаграм класа за <i>ERC-20</i> .....  | 54 |
| Слика 3-3. <i>UML</i> дијаграм класа за <i>ERC-721</i> .....   | 56 |
| Слика 3-4. <i>UML</i> дијаграм класа за <i>ERC-165</i> .....   | 58 |
| Слика 3-5. <i>UML</i> дијаграм класа за <i>LandAdministrationSystemInterface</i> .....                                 | 58 |
| Слика 3-6. <i>UML</i> дијаграм класа за <i>LandAdministrationSystem</i> .....  | 60 |
| Слика 4-1. Модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ ..... | 84 |
| Слика 4-2. Кретање вредности Етера у америчким доларима.....   | 85 |
| Слика 4-3. Кретање вредности гаса у <i>gwei</i> -ма .....  | 85 |
| Слика 5-1. Процес купопродаје непокретности.....   | 90 |
| Слика 5-2. Процес купопродаје непокретности заснован на предложеном моделу ...   | 92 |
| Слика 5-3. Број трансакција по протеклом времену <i>Ropstein</i> .....   | 96 |
| Слика 5-4. Протекло време у секундама по трансакцији <i>Ropstein</i> .....   | 97 |
| Слика 5-5. Број трансакција креирања токена по протеклом времену <i>Sepolia</i> .....                                  | 98 |
| Слика 5-6. Протекло време у секундама по трансакцији за креирање токена <i>Sepolia</i>                                 | 98 |
| Слика 5-7. Број трансакција по протеклом времену <i>Sepolia</i> .....  | 99 |
| Слика 5-8. Протекло време у секундама по трансакцији <i>Sepolia</i> .....  | 99 |

# Листа табела

---

|  |    |
|--|----|
| Табела 2-1. Годишњи број преноса власништва над земљиштем на 1.000.000 парцела .....               | 12 |
| Табела 2-2. Годишњи број спорова око граница парцела на 1.000.000 парцела .....                    | 12 |
| Табела 2-3. Годишњи број спорова око власништва на 1.000.000 парцела .....                         | 12 |
| Табела 2-4. Време потребно за регистрацију поделе земљишта изражено у данима .                     | 12 |
| Табела 2-5. Време потребно за регистрацију преноса власништва над земљиштем изражено у данима..... | 12 |
| Табела 2-6. Потпуност просторних података у катастру .....   | 13 |
| Табела 2-7. Потпуност текстуалних података у регистру земљишта .....                               | 13 |
| Табела 2-8. Снаге КН.....  | 13 |
| Табела 2-9. Слабости КН.....   | 14 |
| Табела 2-10 Узроци нетачности у КН према временској фази.....                                      | 25 |
| Табела 2-11. Удео <i>pool</i> -ова у укупном <i>hashrate</i> -у .....                              | 36 |
| Табела 2-12. Удео адреса у потврђеним блоковима.....   | 37 |
| Табела 2-13. Таксономија рањивости паметних уговора у Етереум мрежи .....                          | 39 |
| Табела 2-14. Преглед предности примене БТ у е-управи .....   | 43 |
| Табела 2-15. Преглед могућности конкретних поља примене БТ у КН.....                               | 45 |
| Табела 4-1. Архитектурални стилови према типу апликације .....                                     | 81 |

# Листа листинга

---

|   |    |
|---|----|
| Листинг 1. <i>LandAdministrationSystemInterface</i> .....   | 62 |
| Листинг 2. Моделовање <i>LADM</i> основних класа у паметном уговору .....   | 63 |
| Листинг 3. Пример имплементације <i>ownersOf</i> функције.....  | 65 |
| Листинг 4. Пример имплементације <i>tokensOf</i> и <i>shareOf</i> функција .....  | 66 |
| Листинг 5. Пример имплементације <i>transferFrom</i> функције.....  | 68 |
| Листинг 6. Пример имплементације <i>approveOwner</i> и <i>isOwnerApproved</i> функција .....  | 70 |
| Листинг 7. Пример имплементације <i>mint</i> функције .....   | 71 |
| Листинг 8. Пример имплементације <i>isOwnerInRealEstateOwners</i> и <i>isOwnerInOwnedRealEstate</i> функција .....  | 72 |
| Листинг 9. Пример имплементације <i>isZeroAddress</i> функције .....  | 73 |
| Листинг 10. Пример имплементација <i>getIndexOfOwnerForRealEstate</i> и <i>getIndexOfRealEstateForOwner</i> функција.....   | 74 |
| Листинг 11. Пример имплементација <i>addToRealEstateOwnersIfNewOwner</i> и <i>removeFromRealEstateOwnersIfNoShare</i> функција.....   | 75 |
| Листинг 12. Пример имплементација <i>addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate</i> и <i>removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare</i> функција .....  | 76 |
| Листинг 13. Пример декларације грешака <i>zeroAddress</i> , <i>notApproved</i> , <i>notOwnerOrMaster</i> , <i>notOwningBigEnoughShare</i> и <i>documentHashMustBeProvided</i> ..... | 77 |
| Листинг 14. Пример поруке о грешци <i>zeroAddress</i> у случају позива функцији <i>tokenOf</i> са нула адресом као аргументом .....   | 78 |
| Листинг 15. Пример поруке о грешци <i>notApproved</i> у случају позива функцији <i>transferFrom</i> када власнику није одобрен да врши трансакције .....                            | 78 |
| Листинг 16. Пример поруке о грешци <i>notOwnerOrMaster</i> у случају позива функцији <i>transferFrom</i> када адреса која је позвала функцију није власник или мастер адреса .....  | 79 |
| Листинг 17. Пример поруке о грешци <i>documentHashMustBeProvidedParameters</i> у случају позива функцији <i>transferFrom</i> када није прослеђена хеш вредност докумената .....     | 79 |

# Листа скраћеница

---

## Српски језик

|                 |   |  |
|-----------------|---|--|
| <b>БТ</b>       | – | блокчејн технологија                   |
| <b>е-управа</b> | – | електронска управа                     |
| <b>ИКТ</b>      | – | информационо-комуникационе технологије |
| <b>ИС</b>       | – | информациони систем                    |
| <b>КН</b>       | – | катастар непокретности                 |
| <b>МК</b>       | – | механизам консензуса                   |
| <b>РГЗ</b>      | – | Републички геодетски завод             |
| <b>ФРЈ</b>      | – | Федеративна Република Југославија      |

## Енглески језик

|             |   |   |
|-------------|---|---|
| <b>API</b>  | – | <i>Application Programing Interface</i>           |
| <b>DLT</b>  | – | <i>Distributed Ledger Technology</i>              |
| <b>EIP</b>  | – | <i>Ethereum Improvement Proposals</i>             |
| <b>ERC</b>  | – | <i>Ethereum Request for Comment</i>               |
| <b>IPFS</b> | – | <i>Inter Planetary File System</i>                |
| <b>ISO</b>  | – | <i>International Standardization Organization</i> |
| <b>LADM</b> | – | <i>Land Administration Domain Model</i>           |
| <b>LAS</b>  | – | <i>Land administration system</i>                 |
| <b>PoW</b>  | – | <i>Proof-of-work</i>                              |
| <b>PoS</b>  | – | <i>Proof-of-stake</i>                             |
| <b>DPoS</b> | – | <i>Delegated Proof-of-stake</i>                   |
| <b>PoET</b> | – | <i>Proof-of-elapsed-time</i>                      |
| <b>PBFT</b> | – | <i>Practical-byzantine-fault-tolerance</i>        |
| <b>RPC</b>  | – | <i>Remote Procedure Call</i>                      |
| <b>TC</b>   | – | <i>Technical Committee</i>                        |
| <b>URI</b>  | – | <i>Uniform Resource Identifier</i>                |

## Француски језик

|            |   |  |
|------------|---|--|
| <b>FIG</b> | – | <i>Fédération Internationale des Géomètres</i> |
|------------|---|--|

# 1. Уводна разматрања

---

У 2020. години више од 60% укупне популације планете било је повезано на Интернет [1]. Стога није изненађујуће да према истраживању о електронској управи (е-управа), које су спровеле Уједињене нације 2020 године, све државе улажу значајне напоре у унапређење е-управе. У 159 од 193 држава чланица, ниво стања е-управе оцењен је као веома висок [2]. Систем е-управе који је тренутно имплементиран и који је заснован на традиционалним информационо-комуникационим технологијама (ИКТ), често се назива управа 2.0. Имајући у виду константан развој ИКТ, јавља се потреба за такозваном управом 3.0. Управа 3.0 би требало да надогради већ развијену употребу традиционалних ИКТ са новим технологијама као што су *big data*, вештачка интелигенција и блокчејн технологија (енгл. *blockchain technology*, БТ), а све то како би се пружиле иновативне услуге фокусиране на корисника [3] [4].

Од поменутих нових технологија, БТ је препозната као технологија која може проузроковати највише промена (енгл. *disruptive technology*) [5] [6] [7]. Блокчејн је сачињен од блокова који су „повезани у ланац“, где сваки блок представља структуру података и верификован је од стране *P2P* мреже, тј. од стране дистрибуиране мреже чворова. БТ, у ствари представља прву имплементацију технологије дистрибуиране књиге трансакција (енгл. *distributed ledger technology*, *DLT*). Основне карактеристике *DLT*-а су децентрализован дизајн и имплементација заснована на *peer-to-peer (P2P)* мрежама. *P2P* мрежа представља самоорганизујућу, децентрализовану мрежу коју сачињавају равноправни учесници, чворови (енгл. *nodes*). *DLT* пружа могућност одржавања постојаног и транспарентног регистра трансакција који ће се реплицирати код свих учесника у *P2P* мрежи, без потребе за посредником који ће вршити валидацију трансакција и управљати мрежом [8].

Једна од области е-управе која се често наводи као област у којој примена *DLT* и БТ може довести до унапређења су катастри непокретности [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16].

## 1.1 Мотивација и опис предмета истраживања

Катастар непокретности (КН) представља систем од великог значаја и његова основна улога је да управља подацима о правима, ограничењима и одговорностима које физичка или правна лица имају над непокретностима и да те податке пружа на увид заинтересованим странама. У већини случајева КН се састоји од два подсистема и то су: регистар земљишта и катастар. Регистар земљишта представља званичну евиденцију права над непокретношћу и води евиденцију о правној ситуацији над одређеном непокретношћу. Регистар земљишта пружа одговоре на питања ко је власник одређене непокретности или неког њеног дела и на основу ког правног

документа је то право засновано. Катастар представља регистар просторних података и пружа одговоре на питања везана за локацију одређене непокретности [17].

И поред великог значаја, у КН се често налазе подаци који нису у складу са стварном правном, просторном и топографском ситуацијом, односно КН се не налази у исправном стању [18]. Процеси прикупљања података, обраде података и погрешне употребе података су идентификовани као узроци који доводе до тога да катастар не буде у исправном стању [19], а исто се може речи и за регистар земљишта.

Када се говори о процесу обраде података битно је напоменути да су пре дигитализације, подаци из КН чувани у папирној форми, у виду различитих докумената, књига и катастарских мапа. У таквој организацији пословања било је јако тешко имплементирати неки систем који би омогућио спровођење ограничења интегритета. Термин ограничење интегритета овде се користи како би се представила формална изјава, дефиниција или квалификација, која се користи како би се описали захтеви које је потребно испунити, како би се обезбедила логичка конзистентност података. Логичка конзистенција података је један од шест квалитативних елемената описаних у *ISO 19157:2013 Geographic Information – Data quality standard*-у [20]. Током процеса обраде података, односно дигитализације, у већини случајева, нетачности које су постојале у папирној форми КН су пренете у дигитални формат.

Поред тога што су током процеса обраде података, односно трансформације података из аналогног у дигитални формат, постојеће нетачности пренете у нови систем, и сам процес обраде података је идентификован као један од извора нетачности. Наиме, током тог процеса може дићи до ненамерних људских грешака, те су се нове нетачности појављивале у систему [18].

Процес погрешне употребе података, односно неовлашћене манипулације подацима, такође је идентификован као један од извора нетачности КН-а. Под неовлашћеном манипулацијом подацима овде се подразумевају активности намерне измене или уништавања података кроз неовлашћене канале. Конкретно, корупција и преваре се наведе као разлози зашто долази до неовлашћене манипулације и креирања нових нетачности у КН-у [21] [22].

Поред наведених проблема, још један проблем је заједнички за велики број КН, а то је дугачко време трајања процеса регистрације трансакције. Један од примера је и Шведска у којој процес регистрације трансакције у КН може трајати и до шест месеци [23], док у Србији, тај процес може трајати и дуже од две године. Током тог периода нови власник непокретности има ограничена права, те се самим тим КН не налази у исправном стању, јер не обавља једну од својих функција, а то је да буде регистар стварних права над непокретностима. Поред тога, дуго време трајања регистрације, потенцијално омогућава појаву проблема двоструког трошења (енгл. *double spending*) и такви случајеви нису тако ретки и у случају Србије, неки још увек чекају судске епилоге.

У складу са претходно наведеним, идентификује се основна мотивација за истраживањем на следећи начин:

Како проценат популације који користи Интернет расте из године у годину, тако расту и очекивања од е-управе да пружи све већи број услуга како становништву (енгл. *person to government*), тако и правним субјектима

(енгл. *business to government*) и то на безбедан, транспарентан и поуздан начин. У циљу остварења ових очекивања неопходно је ићи у корак са новим ИКТ које овај процес могу олакшати и унапредити. КН представља један од сегмената е-управе који се у значајној мери већ ослања на ИКТ, али и поред тога постоји одређен број проблема који још увек није решен. Поставља се питање у којој мери БТ може довести до испуњавања захтева који се постављају пред КН, али и ублажити ефекте дела нерешених проблема.

Истраживање је фокусирано на два проблема: процес обраде података као извор неисправности и погрешна употреба података као извор неисправности. Под проблемом процеса обраде података, посебна пажња ће бити посвећена трансакцијама у КН, односно времену које је потребно за регистрацију трансакција. Биће сагледано на који начин примена БТ може допринети ублажавању овог проблема. Такође, биће анализирано и на који начин примена БТ може умањити могућност погрешне употребе односно неовлашћене манипулације подацима КН.

На основу представљених проблема, предмет истраживања је дефинисан као развој модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ чијом имплементацијом ће бити:

- скраћено време потребно за регистрацију трансакција у КН и на тај начин ублажени негативни ефекти који су доводили до тога да КН не буде у исправном стању, а јављали су се као последица процеса обраде података и
- умањена могућност неовлашћене манипулације подацима и на тај начин ублажени негативни ефекти који су доводили до тога да КН не буде у исправном стању, а јављали су се као последица погрешна употребе података.

## 1.2 Задаци и циљеви истраживања

Основни задаци у оквиру предложеног истраживања су:

1. идентификовати основне проблеме у савременим системима КН,
2. идентификовати основне карактеристике технологије *DLT*,
3. истражити могућности решавања или ублажавања постојећих проблема у КН употребом БТ, која, у време спровођења овог истраживања, представља једну од најшире прихваћених *DLT*-а,
4. истражити ограничења у могућностима примене и потенцијалне недостатке примене *DLT* и БТ у КН,
5. извршити селекцију проблема које је могуће решити или ублажити употребом *DLT* и БТ.

Најзначајнији циљеви су:

1. предложити модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ који ће понудити решење за проблеме дефинисане у задатку 3,



2. имплементирати компоненту за управљање трансакцијама система КН засновану на БТ и
3. верификовати предложену компоненту КН засновану на БТ.

### 1.3 План истраживања

План истраживања представљаће модификацију структуре и тока истраживања који је описан у [24] и проширен у [25]. У [25] предложено је и пет фаза истраживања, које су за потребе овог истраживања модификоване на следећи начин:

- Фаза 1 – Упознавање са основним концептима кроз систематски преглед литературе које обухвата области КН, *DLT* и БТ;
- Фаза 2 – Позиционирање предложене теме кроз дефинисање проблема, циљева и хипотеза;
- Фаза 3 – Идентификовање кључних чинилаца истраживања;
- Фаза 4 – Креирање модела архитектуре информационог система КН заснован са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ;
- Фаза 5 – Тестирање модела кроз његову имплементацију и симулацију трансакција, дискусија добијених резултата, и идентификовање праваца даљих истраживања.

Поменуте фазе не представљају хронолошке активности и део фаза се међусобно преклапа, тако да се прве три фазе у већем делу истраживања спроводе симултано. Такође у [25] предложено је објављивање резултата истраживања по фазама, као незаобилазни корак рада на дисертацији.

### 1.4 Истраживачка питања и хипотезе

На основу прегледа литературе дефинисани су и следећи кључни чиниоци истраживања:

- Тачност података КН;  
Основна функција КН је да управља подацима о правима, ограничењима и одговорностима које физичка или правна лица имају над непокретностима и да те податке пружа на увид заинтересованим странама. Стога је неопходно сагледати КН са аспекта задовољења функције коју треба да обавља, те уочити проблеме који постоје у обављању задате функције. Потребно је истражити и утврдити узроке који доводе до тога да се КН не налази у исправном стању.
- Децентрализација, перзистенција, анонимност, могућност ревизије и паметни уговори (енгл. *smart contracts*) као главне карактеристике технологије дистрибуиране књиге трансакција;  
БТ представља технологију за дистрибуирано чување вишеструких копија јединствене књиге трансакција (енгл. *ledger*). Сви учесници који чувају стање јединствене књиге трансакција консензусом одлучују о садржају књиге и управљају садржајем на начин да једном уписан садржан не може бити измењен. Потребно је сагледати БТ са аспекта могућности које она

пружа у управљању трансакцијама, али и ограничења и недостатке који постоје у овој технологији.

Истраживање се може дефинисати кроз следећа истраживачка питања (ИП):

- ИП 1. Који су основни проблеми и изазови који се постављају пред савремене КН?
- ИП 2. Које су предности примене БТ у КН?
- ИП 3. Који проблеми КН се могу ублажити или решити применом БТ?
- ИП 4. Који су изазови у примени БТ у КН?

На основу представљених потреба за истраживањем дефинисане су следеће хипотезе:

- Х1. На основу модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, могуће је развити информациони систем који ће умањити могућност неовлашћене манипулације подацима;
- Х2. На основу модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, могуће је развити информациони систем који ће скратити време потребно за регистрацију трансакција у КН;
- Х3. На основу модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, могуће је развити информациони систем који ће умањити могућност појаве двоструког трошења непокретности;
- Х4. На основу модела архитектура информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ могуће је развити информациони систем који може обрадити све потребне случајеве употребе КН везане за трансакције власништва.

## **1.5 Резултати истраживања и научни допринос дисертације**

У поглављу 1.3 представљен је план истраживања ове дисертације. Током прве од пет фаза, спроведен је систематски преглед литературе и то прво у области КН, где су истраживани начини реализације КН, проблеми који постоје у савременим КН, узроци тих проблема, и предлози решења и правци даљих истраживања. Потом је спроведен систематски преглед литературе из области БТ, начина имплементације, основних карактеристика и ограничења. У фазама 2 и 3, на основу прегледа литературе извршена ја анализа проблеме чије ефекте је могуће ублажити применом БТ у КН. У 4 фази креиран је модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, те дефинисан програмски интерфејс и развијен паметни уговор за управљање трансакцијама. Према сазнањима аутора, у литератури, до сада није приказан програмски интерфејс за креирање паметног уговора који подржава све неопходне случајеве употребе трансакција КН, нити конкретна имплементација паметног уговора. У последњој фази спроведено је тестирање предложеног паметног уговора кроз симулацију случајева

употребе односно трансакција КН које је показало да је могуће користити БТ као компоненту за управљање трансакцијама у КН.

Научни допринос дисертације се огледа у чињеници да је на основу предложеног модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ могуће је имплементирати информациони систем који би ублажио део проблема који постоје у савременим катастрима непокретности. Предложени модела архитектуре информационог система заснован на БТ, иако иницијално развијан за КН, може бити примењени и на друге информационе системе у којима постоји потреба за вођењем прецизне евиденције трансакција, а не постоји трећа страна од поверења. Један од резултата је и спецификација програмског интерфејса за пренос власништва над деловима *non-fungible* токена, где *non-fungible* токени могу представљати било какву јединствену појаву или ентитет из реалног система. Специфицирани програмских интерфејс се може користити за имплементацију паметних уговора. Предложени интерфејс би могао да се искористи и за иницирање израде новог стандарда који би допунио постојеће ERC20 и ERC721 за креирање паметних уговора.

По питању утицаја које предложени модел архитектуре система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ може имати на друштво и заједницу, највећи утицај би био на повећање поверења у државне институције. У неразвијеним земљама, али и у земљама у развоју, непостојање поверења у државне институције као последица корупције, која за резултат има неовлашћену манипулацију података, представља велики проблем и тај проблем је препознат од стране великог броја аутора. Такође, грађани би били сигурнији у то да њихова имовина неће бити отуђена, јер се применом БТ за регистрацију трансакција таква могућност значајно смањује. Чак и у случају развијених земаља, у којима постоји поверење у државне институције, на могућност примене блокчејн технологије за управљање трансакцијама се гледа позитивно, јер може додатно појачати поверење у државне институције.

## 1.6 Структура дисертације

Основну структуру дисертације сачињава шест поглавља која су представљена у наставку:

Поглавље 1 – *Уводна разматрања*, представља кратак преглед тренутног стања и трендова у области е-управе. Идентификоване су савремене ИКТ које могу довести до развоја управе 3.0, попут БТ. КН је препознат као један од сегмената е-управе у којем би примена БТ могла довести до унапређења и управо ту је пронађена мотивација за рад на овој дисертацији. У оквиру овог поглавља представљени су задаци и циљеви истраживања, као и план истраживања који је реализован кроз пет фаза. Приказана су истраживачка питања и хипотезе као и резултати истраживања и научни допринос дисертације.

Поглавље 2 – *Теоријске основе и стање у области*, је организовано тако представљањем неопходних концепата креира увод за истраживање које је представљено у наредним поглављима. Представљен је концепт КН, као и

истраживања која су ostavila највише трага у развоју КН, да би потом били представљени проблеми који постоје у савременим КН. Након КН, представљена је БТ, почевши од архитектуре, са посебним освртом на механизме консензуса. Представљене су основне карактеристике БТ, појам паметних уговора, а посебна пажња посвећена је и безбедности информација у БТ.

Поглавље 3 – *Паметни уговор* отпочиње приказом случајева употребе које је неопходно подржати кроз конкретну имплементацију паметног уговора. Следи део дисертације у којој је приказан начин избора платформе за имплементацију, као и најзначајнији стандарди, односно програмски интерфејси за изабраној платформи. У наставку поглавља је приказан предлог новог програмског интерфејса, као и конкретна имплементација паметног уговора за регистрацију трансакција КН. Поглавље закључује детаљна дискусија предложене имплементације.

Поглавље 4 – *Модел архитектуре информационог система катастра непокретности* је поглавље у којем је на основу ранијих истраживања и решења из поглавља 3 дат предлог модела архитектуре информационог система, те дискутована позиција БТ и предложеног паметног уговора у новом информационом систему.

Поглавље 5 – *Верификација модела* даје осврт предложеног одела и резултата тестирања са аспекта хипотеза постављених у поглављу 1.4. У овом поглављу приказана су и нека од ограничења која постоје у предложеном решењу као и теоријске и практичне импликације докторске дисертације.

Поглавље 6 – *Закључци и правци будућих истраживања* даје кратак прегледа резултата остварених истраживањем у овој дисертацију те указује на правце будућих истраживања.

Поглавље 7 – *Литература*, представља списак свих научних радова, истраживања, дисертација и других релевантних извора који су коришћени током израде ове дисертације.

## 2. Теоријске основе и стање у области

---

Први прописи који су се бавили земљиштем датирају између VII и VIII века, док су данас у примени углавном закони који вуку корене из закона и прописа који су доношени током XIX века. У Европи постоји неколико „породица“ правних система који се примењују у КН и то:

- код Наполеон (енгл. *Code Napoleon*) – неке од земаља у којима се примењује су Француска, Белгија, Италија, Португал и Шпанија,
- опште право (енгл. *common law*) – неке од земаља у којима се примењује су Уједињено Краљевство Велике Британије и Северне Ирске и Република Ирска,
- нордијски систем – неке од земаља у којима се примењује су Данска, Финска и Шведска,
- источно европски систем – неке од земаља у којима се примењује су Мађарска, Пољска и Словенија и
- немачки систем – неке од земаља у којима се примењује су Немачка, Аустрија и Швајцарска.

Термин „породица“ овде означава да се у већини случајева не ради о идентичним правним системима за КН, чак и када припадају истој „породици“, већ да међу њима и тада постоје одређене разлике. Поред тога, када се говори о источно европском систему, који је обухватао бивше комунистичке земље, значајне промене десиле су се након пада комунизма. Неке од бивших комунистичких држава враћале су се системима који су постојали пре Другог светског рата, док су неке прелазиле на потпуно нове правне системе, па је и њихова припадност истој „породици“ правних система сада упитна [26]. Различити правни системи директно су утицали на постојање различитих процедура и система рада самих КН.

Крајем XX века КН су прошли кроз велике промене. Развој просторних информационих технологија, довели су до појаве нових визија, модела и улога које КН треба да испуне. Према [27], неки од најзначајних концепата и докумената из овог периода који су довели до радикалне промене разумевања КН и њихових потенцијала су:

- Вишенаменски катастри (енгл. *Multi-Purpose Cadastres*) [28] [29],
  - Искази о катастру (енгл. *FIG Statement on the Cadastre*) [30],
  - Декларација из Богора (енгл. *The Bogor Declaration*) [31],
  - Декларација из Батхурста (енгл. *The Bathurst Declaration*) [32],
  - Катастар 2014 (енгл. *Cadastre 2014*) [33],
  - Парадигма управљања земљиштем (енгл. *Land Management Paradigm*) [34]
- и

- Основни катастарски модел домена (енгл. *The Core Cadastral Domain Model*) [35].

Део ових и других основних концепата и радова биће представљени у наставку поглавља.

## 2.1 Катастар непокретности

КН (енгл. *Land Administration System – LAS*) представља систем у којем се чувају подаци о власништву [17], адреси [36] [37], намени земљишта [38] [39], праву коришћења, о зградама и становима [40] [41] [42] [43], пореским обавезама [44] [45], али уједно и физички, просторни и топографски подаци попут координата и мапа. Поред тога, подаци који се налазе у КН користе се и за управљање катастрофама [46], одрживи развој [47], обезбеђење хране [48] [49], управљање након сукоба [50] и просторно планирање [51]. Закон о државном премеру и катастру [52] Републике Србије дефинише КН као „основни јавни регистар о непокретности и правима над њима“. Под непокретностима подразумевају се земљиште, надземни и подземни грађевински објекти и посебни делови који чине грађевинску целину. Термин објекти, односи се на зграде, привредне објекте, објекте културе, спорта и рекреације, склоништа и друге грађевинске објекте. КН испуњава велики број задатака, а главни задатак је да управља подацима о правима, ограничењима и одговорности које странка има над непокретношћу и да те податке пружа на увид заинтересованим странама.

КН састоји се од:

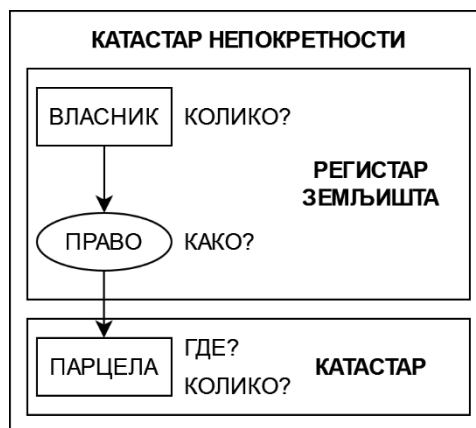
- елабората премера – који представља скуп докумената и података насталих у поступку пројектовања и реализације катастарског, комасационог премера или постојећег премера, а на основу који се оснива или обнавља КН,
- збирке исправа – која представља скуп исправа на основу којих је извршен упис или брисање уписа на непокретностима и
- базе података КН – која представља скуп географских и других података о непокретностима, стварним правима и одређеним облигационим правима на њима и нарочито садржи податке о: парцелама, објектима, посебном деловима објеката и имаоцима права на непокретностима.

КН је најчешће организован кроз два подсистема, регистар земљишта и катастар где:

- регистар земљишта представља процес званичног бележења права над земљиштем кроз тапије или листове непокретности, што подразумева да постоји званична евиденција над земљиштем заснована на одређеној правној ситуацији, која пружа одговор на питања:
  - КО има право над одређеном непокретношћу и
  - КАКО, односно на основу ког правног документа, има право над одређеном непокретношћу,
- катастар представља методички уређен јавни попис података који се односе на земљиште унутар једне државе или неког њеног дела и који је заснован на мерењима њених граница, те пружа одговор на питања:

- ГДЕ се налази одређена непокретност и
- КОЛИКИ простор заузима [2].

Шематски приказ односа регистра земљишта и катастра приказан је на слици 2-1.



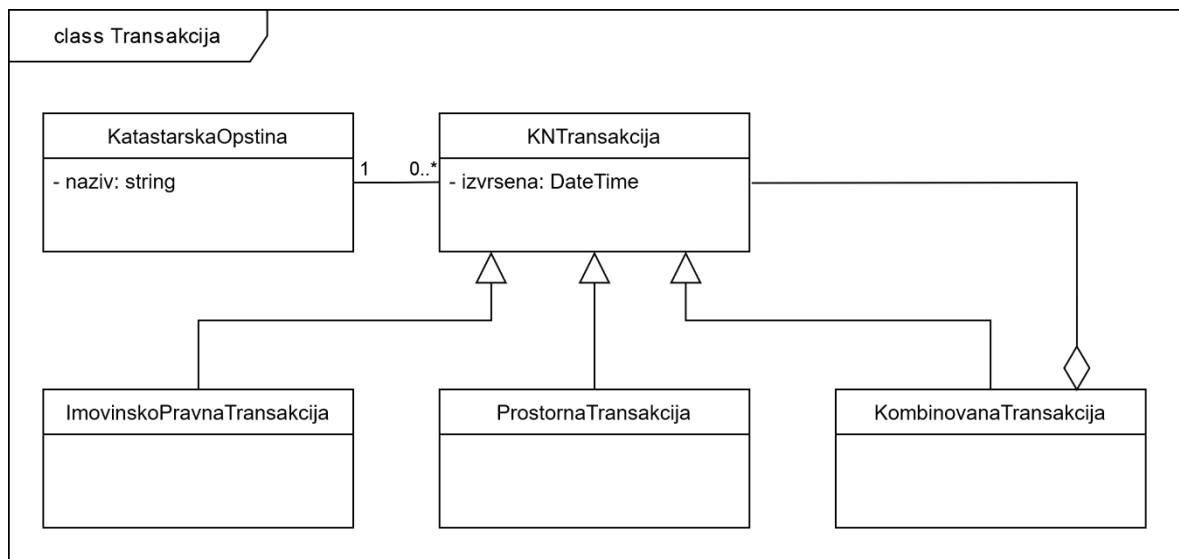
Слика 2-1. Шематски приказ односа регистра земљишта и катастра

Основни термини везани за КН су земљиште, катастар и регистрација земљишта и најчешће се дефинишу као:

- земљиште – подразумева простор на површини Земље који укључује воду, тло, стене, минерале и карбонате испод и изнад тог простора, као и ваздух изнад тог простора. Подразумева све ствари које су везане за фиксни простор или тачку на површини Земље, укључујући и простор покривен водом.
- катастар – представља методично уређен јавни инвентар свих података везаних за непокретности у одређеној држави који је заснован на премереним границама. Такве непокретности су систематски идентификоване неким засебним средствима означавања. Границе непокретности и идентификатори парцеле обично су приказани у мапама крупне размере који, заједно са регистрима, могу приказати податке о природи, величини и правима везаним за одређену парцелу.
- регистрација земљишта – представља процес званичног бележења права на земљиштем кроз тапије и листове непокретности [17].

Након процеса прикупљања и уређивања података и иницијалног успостављања КН, основни задатак управљања КН је одржавање тих података у исправном стању, тако што ће се спроводити трансакције које рефлектују промене које се дешавају у реалном свету [53]. Термин трансакције овде се користи како би се описала трансформација стања која има особине атомарности (енгл. *atomicity*), очување конзистентности (енгл. *consistency preservation*), изолације (енгл. *isolation*) и трајности (енгл. *durability*). *ISO Technical Specification (ISO/TS) 19103:2005 (ISO 19103: Geographic information – Conceptual schema language, 2015)* дефинише *Unified Modeling Language (UML)* као концептуални језик за спецификацију географских

информација [54]. На слици 2-2 приказан је *UML* дијаграм класа основних апстракција трансакција у КН [53].



Слика 2-2. *UML* дијаграм класа основних апстракција трансакција КН [53]

Класа *KatastarskaOpstina* се користи за представљање катастарске просторне јединице која служи како би се територија једне државе поделила на мање јединице, и на тај начин олакшало управљање. Трансакције у КН могу бити имовинско-правне, просторне или комбиноване и то је представљено класом *KNTransakcija* и генерализацијама ка класама *ImovinskoPravnaTransakcija*, *ProstornaTransakcija* и *KombinovanaTransakcija*, те агрегацијом између класа *KNTransakcija* и *KombinovanaTransakcija* [53].

Имовинско-правне трансакције су трансакције које подразумева промене само у имовинско-правним подацима које се спроводе само у регистру земљишта. Пример имовинско-правно трансакције је промена власника непокретности, података о власнику непокретности, стављање или скидање ограничења попут хипотеке или промена намене земљишта. Ове трансакције могу бити једноставне, попут промене адресе становања власника непокретности, до сложенијих случајева, у којима неколико власника непокретности, са различитим уделима у власништву, врше пренос власништва на нове власнике у новом различитом учешћу у власништву. Догађаји из реалног света, на основу који се могу спроводити имовинско-правне трансакције могу бити купопродаја, поклон, наслеђивање и други [53].

Просторне трансакције су трансакције које подразумевају промене само у просторним подацима и које се спроводе само у катастру. Просторне трансакције се обично односе на скуп парцела које формирају једну хомогену површину. Пример просторне трансакције може да буде уцртавање непокретности на парцели као последице откривене неусаглашености између регистра земљишта и катастра [53].

Комбиноване трансакције су трансакције које подразумевају промене и у регистру земљишта и катастру, односно које се спроводе у оба регистра. Пример комбиноване трансакције је подела парцеле. У случају поделе парцеле, прво се



спроводи просторна трансакција којом се у катастру од једне парцеле креирају две парцеле. Ове измене у просторним подацима иницирају измене у подацима који се чувају у регистру земљишта, односно иницирају имовинско-правне трансакције [53].

### 2.1.1 Cadastre 2014

У истраживању које је спроведено 1997. године и презентовано у [55], рађена је упоредна процена различитих система КН. Истраживање је обухватило 53 државе и регије, укључујући и Федеративну Републику Југославију (ФРЈ). Под упоредном проценом подразумева се поређење перформанси организације са неким стандардом или са неком другом организацијом [56] и спроводи се са циљем како би једна организација учила од других организација, како би се иницирале промене и како би се нагласила потреба за реструктурирањем унутар организације, односно, како би се препознала најбоља пракса и како би се та пракса имплементирала.

Неки од резултата истраживања [55] који су од значаја за овај рад, приказани су у табелама од 2-1 до 2-7.

Табела 2-1. Годишњи број преноса власништва над земљиштем на 1.000.000 парцела

| <b>Годишњи број преноса власништва над земљиштем на 1.000.000 парцела</b> |          |
|---|----------|
| <b>Пондерисана средња вредност</b>  | 29.769   |
| <b>ФРЈ</b>  | око 2000 |

Табела 2-2. Годишњи број спорова око граница парцела на 1.000.000 парцела

| <b>Годишњи број спорова око граница парцела на 1.000.000 парцела</b> |      |
|--|------|
| <b>Пондерисана средња вредност</b>                                   | 211  |
| <b>ФРЈ</b>   | 2145 |

Табела 2-3. Годишњи број спорова око власништва на 1.000.000 парцела

| <b>Годишњи број спорова око власништва на 1.000.000 парцела</b> |     |
|---|-----|
| <b>Пондерисана средња вредност</b>                              | 95  |
| <b>ФРЈ</b>  | 300 |

Табела 2-4. Време потребно за регистрацију поделе земљишта изражено у данима

| <b>Време потребно за регистрацију поделе земљишта изражено у данима</b> |         |
|---|---------|
| <b>Средња вредност</b>  | 120     |
| <b>ФРЈ</b>  | 25 – 60 |

Табела 2-5. Време потребно за регистрацију преноса власништва над земљиштем изражено у данима

| <b>Време потребно за регистрацију преноса власништва над земљиштем изражено у данима</b> |         |
|--|---------|
| <b>Средња вредност</b>   | 46      |
| <b>ФРЈ</b>   | 25 – 60 |

Табела 2-6. Потпуност просторних података у катастру

| Потпуност просторних података у катастру |                        |                     |        |        |
|--|------------------------|---------------------|--------|--------|
| Држава                                   | Дигитализоване<br>мапе | Координатне<br>мапе | Остало | Укупно |
| Данска                                   | 80%                    | 10%                 | 10%    | 100%   |
| ФРЈ                                      | 5%                     | 90%                 | 5%     | 100%   |
| Литваније                                | 18%                    | 18%                 | 0%     | 36%    |

Табела 2-7. Потпуност текстуалних података у регистру земљишта

| Потпуност текстуалних података у регистру земљишта |                  |        |        |
|--|------------------|--------|--------|
| Држава   | Дигитални формат | Остало | Укупно |
| Данска   | 45%              | 55%    | 100%   |
| ФРЈ  | 30%              | 70%    | 100%   |
| Литванија  | 25%              | 0%     | 25%    |

Из резултата истраживања, може се видети да је у случају ФРЈ, број спорова везаних за земљиште, неколико пута већи него што је пондерисана средња вредност добијена на основу података из све 53 државе и територије. У случају граница, односно података из катастра, број спорова је чак 10 пута већи од пондерисане средње вредности, док је у случају власништва, односно података који се налазе у регистру земљишта, број спорова 3 пута већи од пондерисане средње вредности. Оно што је такође занимљиво је што прикупљени подаци за ФРЈ приказују релативно кратко време потребно за регистрацију трансакција у КН, односно дупло краће време него што је пондерисана средња вредност. Са друге стране, тренутно у Републици Србији, случајеви трансакција власништва покренути 2020. године, још увек нису били завршени почетком 2022. године, и време потребно се у односу на резултате из овог истраживања, вишеструко продужило.

Истраживање [55] је представљало увод у истраживање *Cadaster 2014* [33] које је требало да да визију КН у 2014. години. У истраживању је, кроз попуњавање упитника, учествовао 31 КН. На основу упитника дефинисане су снаге и слабости КН које су представљене у табелама 2-8 и 2-9.

Табела 2-8. Снаге КН

| Особина  | Значај |
|--|--------|
| Државна гаранција власништва                                       | 10     |
| Брза услуга корисника  | 9      |
| Потпуна покривеност  | 9      |
| Свеобухватан, поуздан, безбедан систем                             | 7      |
| Систем је компјутеризован и аутоматизован, дигитални подаци        | 6      |
| Систем испуњава и друге захтева                                    | 4      |
| Интеграција различитих система                                     | 3      |
| Регистрација земљишта и катастарско мапирање у једној организацији | 3      |
| Правна подршка   | 3      |

|  |   |
|--|---|
| Добре основне мапе   | 2 |
| Задовољава локалне потребе / Флексибилност и тржишна оријентисаност / Децентрализованост / Укљученост приватног сектора / Јефтин / Професионалан | 1 |

Табела 2-9. Слабости КН

| Особина  | Значај |
|--|--------|
| Ограничена компјутеризација  | 9      |
| Повезаност регистра земљишта и катастра недовољно ефикасна или неадекватна   | 9      |
| Конзистенција на националном нивоу би могла бити боља  | 3      |
| Административна контрола над земљиштем од стране различитих организација   | 3      |
| Ниски буџетски фондови   | 3      |
| Некомплетан правни оквир   | 3      |
| Ниска тачност мапа   | 3      |
| Споро ажурирање и услуживање корисника   | 3      |
| Неодржив модел финансирања   | 3      |
| Скуп / дуплирање података, посла   | 2      |
| Систем недовољно ефикасан / низак степен покривености / високи трошкови инвестиција / крута структура, ниска флексибилност | 1      |

Као највеће снаге КН идентификоване су државна гаранција власништва, потпуна покривеност и брза услуга, док се на дну листе налазе правна подршка, добре основне мапе и задовољење локалних потреба.

Када се говори о особинама које су препознате као примарне слабости КН, а то су ограничена компјутеризација и недовољно ефикасна или неадекватна повезаност регистра земљишта и катастра, у периоду од објављивања ових резултата, ситуација се сигурно променила. Ограничена компјутеризација више свакако није проблем, док неадекватна повезаност регистра земљишта и катастра представља проблем који је још увек присутан и о којем ће се више говорити у поглављу 2.1.4.

*Cadaster 2014* [33] дефинише шест смерница за развој катастра до 2014. године. Ових шест смерница се баве мисијом и садржајем, организацијом, техничким развојем, приватизацијом и повратком инвестиција у КН. Те смернице су:

- Смерница 1 – КН ће приказивати комплетну правну ситуацију над земљиштем, укључујући и јавна права и ограничења.  
Светска популација расте, а са њом и коришћење земљишта. Апсолутна контрола индивидуалних или правних ентитета над земљиштем се све више ограничава од стране јавног интереса. Како би се задржала безбедност власништва над земљиштем неопходно је да КН пружају све потребне информације везане за земљиште.
- Смерница 2 – Раздвојеност између „мапа“ и „регистра“ биће укинута.

Ова раздвојеност била је неопходна као последица доступних технологија, оловка и папир нису дозвољавали другачије решење.

- Смерница 3 – Катастарско мапирање биће замењено катастарским моделовањем.

Мапе су увек биле модели, али доступна технологија није дозвољавала употребу тих модела на флексибилан начин. Стога је у мапирању флексибилност постигана различитим размерама. Различите размере су представљане различитим моделима података. Модерне технологије дозвољавају креирање мапа различитих размера и регистре у различитим формама на основу истог модела.

- Смерница 4 – КН заснован на папиру и оловци ће нестати.

Геоматске технологије ће бити нормалан алат за катастарске послове. Решења која ће имати ниске трошкове су могућа само када се ова технологија користи у комбинацији са *LEAN* административним процедурама, где се под тим подразумева идентификовање и елиминисање активности које не доносе нову вредност. Развијене земље, земље у развоју, као и земље у транзицији имају потребе за моделима тренутне ситуације како би решили проблеме насељености, околине и разумне употребе земљишта.

- Смерница 5 – КН ће бити приватизован у значајној мери. Јавни и приватни сектор ће блиско сарађивати.

Јавни системи теже да буду мање флексибилни и оријентисани ка кориснику него приватне организације. Слободна економија захтева флексибилност на тржишту земљиштем, на планирању земљишта и његовом коришћењу. Флексибилност ће лакше бити обезбеђена кроз приватне институције. Ипак, због сигурности, повезаност са јавним сектором је обавезна.

- Смерница 6 – КН ће покривати трошкове.

КН захтевају значајне инвестиције, али земљишни документи и безбедност представљају вредност која вишеструко надмашује инвестиције. Инвестициони и оперативни трошкови треба да буду барем делимично покривени од стране оних који профитирају од КН.

Нешто новији анализа снага, слабости, могућности и ризика (енгл. *Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats – SWOT*) Републичког геодетског завода (РГЗ) у Републици Србији приказана је у Стратегији мера и активности за повећање квалитета услуга у области геопросторних података и уписа права на непокретностима у званичној државној евиденцији – Реформски пут Републичког геодетског завода до 2020. године [57] из 2017. године. Законом о државном премеру и катастру и уписима права о непокретностима [52] [58] послове из делокруга КН у Републици Србији спроводи Републички геодетски завод.

Као снаге препознате:

- да је на целој територији Републике Србије успостављен КН,
- да је 90% катастарских општина дигитализовано,

- да системи катастар водова, адресни регистар, топографско-картографска делатност и дигитални архив добро раде,
- да РГЗ представља водећу институцију која је надлежна за одржавање просторних података, услуга и геодетских референтних основа у Републици Србији,
- да РГЗ има добру репутацију код повезаних државних органа,
- да је РГЗ водећа институција у примени *EU INSPIRE* директиве,
- да РГЗ има стабилне изворе финансирања за текуће активности.

Чињеница да је на целој територији Републике Србије успостављен КН и да је 90% катастарских општина дигитализовано свакако представља напредак у односу на резултате представљене у [55]. Такође, примена *EU INSPIRE (Infrastructure for spatial information in Europe)* директиве, која за циљ има креирање инфраструктуре за просторне податке на нивоу Европске уније, намењене успостављању заједничке политике животне средине [59], показује да РГЗ прати стандарде који се примењују на нивоу Европске уније.

Као слабости препознате су:

- неусклађеност података у регистру земљишта и катастру,
- неажурност података,
- неажурност других евиденција,
- велики број заосталих предмета
- нејасни закони (превасходно везани за решавање заосталих предмета),
- недостатак интегрисаног катастарског информационог система,
- постоје пословне делатности које нису довољно развијене, попут документационог система и управљачког система,
- застарелост опреме,
- старосна и образовна структура запослених.

Идентификовани недостаци биће посебно коментарисани у поглављу 2.1.4 које ће се бавити проблемима КН.

Као могућности препознате су:

- коришћења искустава других земаља које су прошле кроз процес модернизације КН,
- могућност додатног финансирања у виду зајмова од међународних институција намењених за модернизацију КН,
- успостављање сарадње са министарством надлежним за послове одбране у областима од заједничког интереса,
- пружање додатних услуга кроз Националну инфраструктуру геопросторних података,
- раст тржишта за коришћење просторних података,
- покретање начела отворених података за просторне податке са циљем подстицања коришћења просторних података,
- сарадња са институцијама из Европе ради лакшег приступа фондовима и финансирање пројеката од националног интереса.

Као ризик препознат је:

- бирократски апарат који пружа отпор променама у КН.

Као резултат [33], препозната је потреба за креирањем модела домена КН који ће представљати широко прихваћени стандард. Почетком 2000-тих, Међународна федерација геодета (фра. *Fédération Internationale des Géomètres – FIG*), у сарадњи са Техничким комитетом 211 за географске информације/геоматику, Међународне организације за стандардизацију (енгл. *International Standardization Organization / Technical Committee 211 Geographic information/Geomatics – ISO/TC211*), уз помоћ Програма Уједињених нација за насеља (енгл. *United Nations Human Settlements Programme – UN Habitat*), Заједничког истраживачког центра Европске Уније (енгл. – *EU/Joint Research Centre*) и представника *FIG*-а из Холандије, Канаде, Јапана, Јужне Африке, Кеније, Јужне Кореје, САД, Шведске, Финске, Немачке, Мађарске, Француске, Тајланда, Аустралије, Малезије, Данске и Шпаније, радили су на креирању овог стандарда и стандард је објављен 2012. године као *ISO 19152 Geographic information – Land Administration Domain Model – LADM* [60].

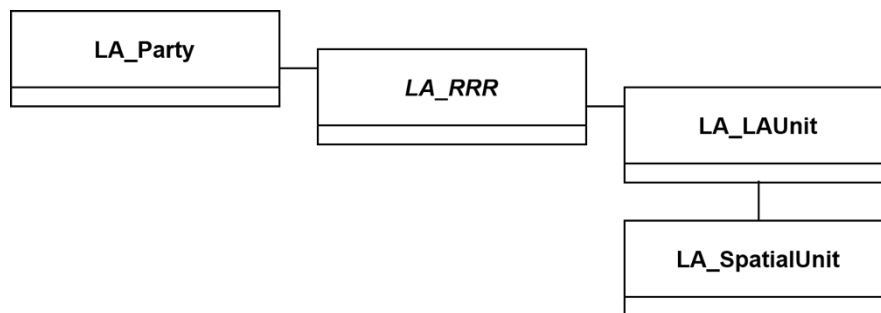
### 2.1.2 Модел домена катастра непокретности – *LADM*

Модел домена катастра непокретности (енгл. *Land Administration Domain Model – LADM*) *ISO 19152:2012* представља полазну тачку за ефикасан развој КН и може представљати основу било ког КН [61]. *LADM* не пружа универзално решење за конкретне катастре непокретности. Уместо тога, он представља референтни модел за креирање профила за одређену државу. У домену географских информација, профил представља „скуп једног или више основних стандарда или подскуп основних стандарда, и тамо где је то примењиво, идентификацију изабраних клаузула, класа, могућности и параметара тих основних стандарда, који су неопходни за постизање одређене функција“ [62]. Као резултат креиран је велики број националних профила попут [63] [64] [65] [66].

Фокус *LADM* је на правима, одговорностима и ограничењима (енгл. *Rights, Restrictions, Responsibilities – RRR*) која се односе на земљиште, али и на просторне компоненте. Под правом се подразумева формални или неформални основ власништва или основ за предузимање неки активности, под ограничењима подразумева се формални или неформални основ за суздржавање од одређених активности и под одговорностима подразумева се формална или неформални основ за обавезу обављања активности. *LADM* представља референтни модел и тежи да испуни барем два веома важна задатка:

1. да пружи основу за даљи развој и прилагођавање ефикасног и ефективног система за управљање земљиштем, уместо да се стално размишља и имплементирају исте функционалности.
2. да креира заједнички речник, односно онтологију, која ће произићи из овог стандарда, а која ће омогућити заинтересованим странама, не само унутар једне државе, већ и онима које се налазе у различитим државама, да лакше комуницирају [67].

*LADM* је заснован на четири основне класе *LA\_Party*, *LA\_RRR*, *LA\_LAUnit* и *LA\_SpatialUnit*, и оне су представљене *UML* дијаграмом класа на слици 2-3.



Слика 2-3. UML дијаграм класа основних LADM класа

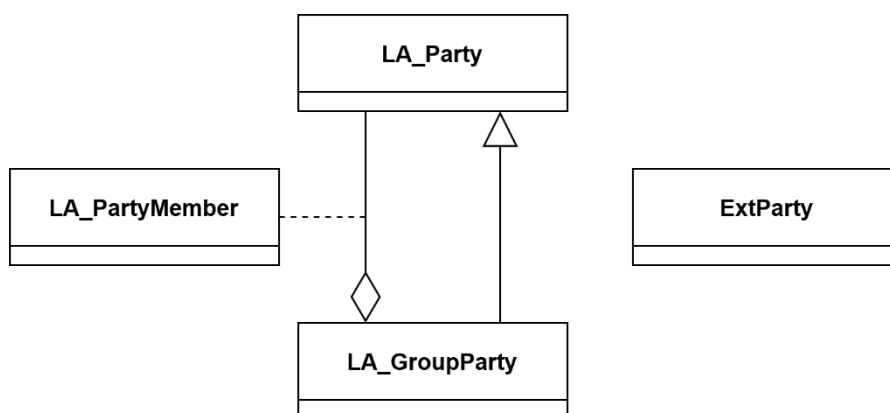
Основне LADM класе су дефинисане тако да њихове инстанце представљају:

1. инстанце класе *LA\_Party* класе представљају ентитете који могу бити особе, организације или групе особа и/или организација,
2. инстанце поткласа *LA\_RRR* представљају права, ограничења и одговорности,
3. инстанце класе *LA\_LAUnit* представљају административне информације које се односе на просторне јединице и
4. инстанце класе *LA\_SpatialUnit* представљају просторне информације о непокретностима.

LADM садржи пет пакета и то:

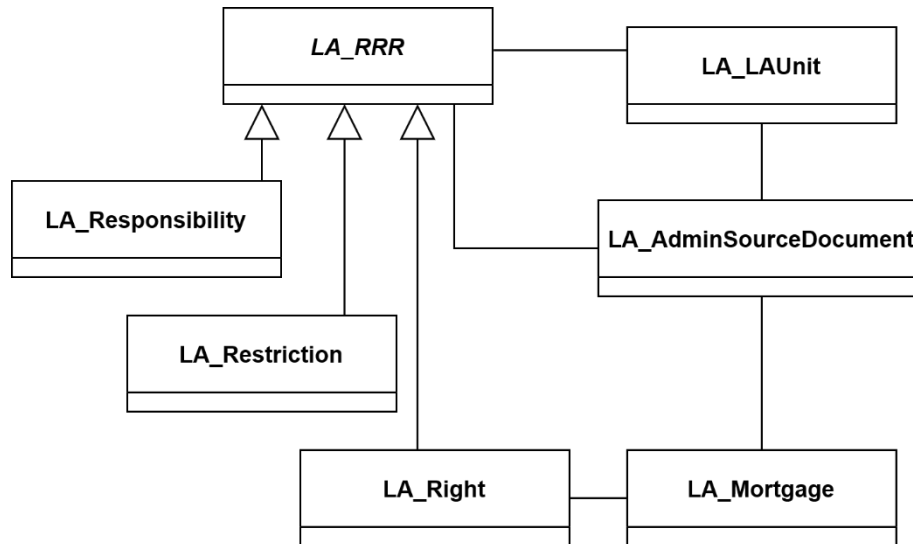
- пакет странке (енгл. *party package*),
- административни пакет (енгл. *administrative package*),
- пакет просторних јединица (енгл. *spatial unit package*),
- пакет премера (енгл. *surveying package*) и
- пакет просторних описа (енгл. *spatial description package*).

LADM пакет странке садржи класу *LA\_Party* и њену специјализацију *LA\_GroupParty*. Такође, постоји опциона класификација са класом *LA\_PartyMember*, као и класа *ExtParty* која представља стереотип који означава скуп елемената које LADM очекује од неког екстерног извора. UML дијаграм класа пакета странке је приказан на слици 2-4.



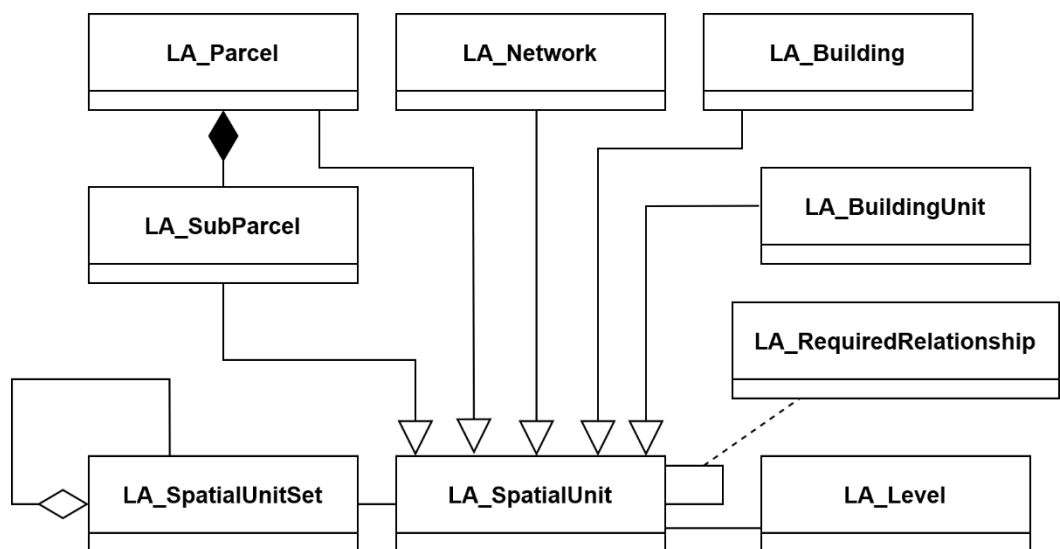
Слика 2-4. UML дијаграм класа LADM пакет странке

*LADM* административни пакет садржи апстрактну класу *LA\_RRR* са њеним специјализацијама, *LA\_Right*, за представљање права, *LA\_Restrictions*, за представљање ограничења и *LA\_Responsibility*, за представљање одговорности. Сва права, ограничења и одговорности су заснована на одређеним документима који су представљени класом *LA\_AdminSourceDocument*. *UML* дијаграм класа административног пакета је приказан на слици 2-5.



Слика 2-5. *UML* дијаграм класа *LADM* административног пакета

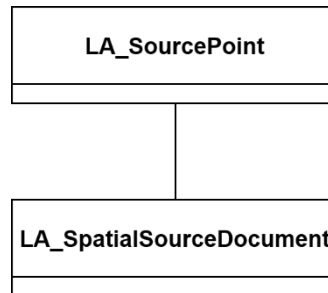
*LADM* пакет просторних јединица садржи класу *LA\_SpatialUnit* и поткласе *LA\_Parcel* за представљање парцела, *LA\_SubParcel* за представљање делова парцеле, *LA\_Building* за представљање грађевина, *LA\_BuildingUnit* за представљање делова грађевине и *LA\_Network*, за представљање инфраструктурне мреже. *UML* дијаграм класа административног пакета је приказан на слици 2-6.



Слика 2-6. *UML* дијаграм класа *LADM* пакета просторних јединица

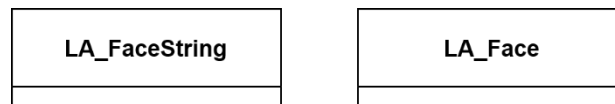


*LADM* пакет премера садржи две класе *LA\_SourcePoint* и *LA\_SpatialSourceDocument*. Инстанца *LA\_SourcePoint* класе је изворна тачка која је документована кроз изворне просторне документе настале током премера који представљају инстанце класе *LA\_SpatialSourceDocument*. *UML* дијаграм класа пакета премера је приказан на слици 2-7.



Слика 2-7. *UML* дијаграм класа *LADM* пакета премера

*LADM* пакет просторних описа садржи две класе *LA\_FaceString* и *LA\_Face*. Инстанце *LA\_FaceString* класе се користе како би описале просторне јединице преко полилинија у дводимензионалном приказу, које се могу пројектовати на горе или доле како би се добиле тродимензионална интерпретација просторне јединице. Инстанце класе *LA\_Face* се користе како би се приказале границе просторне јединице као површине три димензије. *UML* дијаграм класа пакета премера је приказан на слици 2-8.



Слика 2-8. *UML* дијаграм класа *LADM* пакета просторних описа

Према [68] *LADM* се и даље налази углавном у фокусу академске заједнице. Углавном се и даље развијају национални профили и истражује се у којој мери тренутни системи одговарају *LADM* препорукама. У неким случајевима *LADM* је проширен додатним слојевима података, попут намене земљишта [69], али и да би се специфицирала и додатна ограничења која постоје у КН, посебно када се говори о интерној конзистенцији података између регистра земљишта и катастра [70] о чему ће се више говорити у поглављу 2.1.4.

Оно што је важно напоменути је да су трансакције КН ван опсега *LADM* из разлога што трансакције у значајно мери зависе од правне регулативе и значајно се разликују од државе до државе. На пример, у Турској, Генерални директорат регистра земљишта и катастра спроводи 25 различитих имовинско-правних и просторних трансакција, које захтевају различите документе од различитих институција [71]. У Словенији пренос власништва над пољопривредним земљиштем подразумева учешће барем 5 странака и то: продавац, купац, нотар, катастарска канцеларија и КН, који треба да прођу кроз 12 корака/активности у том процесу [72]. У случају Шведске, трансакције у КН подразумевају учешће неколико странака и то: продавац, купац, агент

за продају непокретности, КН, као и банке купца и продавца и подразумевају 34 различита корака [23].

Проширење LADM-а које би укључило и трансакције и примену БТ је предложено 2018. године као *New Working Item Proposal for Edition II of LADM* [64] [68].

### 2.1.3 *Cadastr* 2034

Истраживање какве карактеристике и какве улоге КН треба да испуњава након 2014. године је представљено у [27] и данас се обично говори о *Cadastr* 2034. Правећи аналогију са шест смерница *Cadastr* 2014, предложено је 6 концептуално-дизајнерских елемената КН у 2034. години и то су:

- КН прецизног премера (енгл. *Survey-Accurate Cadastres*),
- 3Д/4Д КН (енгл. *3D/4D Cadastres*),
- КН у реалном времену (енгл. *Real-Time Cadastres*),
- глобални КН (енгл. *Global Cadastres*),
- објектно-оријентисан КН (енгл. *Object-Oriented Cadastres*) и
- органски КН (енгл. *Organic Cadastres*).

Под термином КН прецизног премера подразумева се да савремени дигитални КН треба да чувају просторне податке са прецизношћу мањом од једног центиметра, односно тачне вредности које су утврђене током катастарског премера. Овакав ниво прецизност неопходан је за управљање зградама, комуналном инфраструктуром, прецизном пољопривредом, навигацијом, као и за праћење промена нивоа мора. Део ових прецизних података, који су постојали као резултат катастарских премера који су се водили у папирној форми, изгубио је на тачности током процеса дигитализације током 80-тих и 90-тих година прошлог века. Током претходних година КН Новог Зеланда, Аустралије, Малезије и Израела улагали су додатне напоре како би достигли КН прецизног премера. КН прецизног премера не представља новину, већ тековину о којој се говори још од 90-тих година прошлог века [73] [74] [75] [76] [77].

Како КН представља модел реалног система који постоји у 3Д простору и који се мења у времену, стога је за очекивати да ће КН у будућности моћи боље да моделује овај реалан систем у односу на тренутну праксу примене 2Д модела. Могућност развоја 3Д КН је била у фокусу истраживања током претходне деценије и неки од радова објављени на ову тему су [78] [79] [80] [81] [82] [83].

КН у реалном времену односи се на потребу да се промене у КН, било да се ради о просторним подацима или о подацима везаним за власништво, ажурирају тренутно уместо да то представља процес који може трајати недељама или месецима. О овој потреби ће се детаљније говорити у поглављу 2.1.4.

Глобални КН је потреба која је произашла из чињенице да свет функционише као глобално тржиште и поремећаји у једној држави, могу изазвати проблеме у државама, како у окружењу, тако и на другом континентима. Стога је јасна потреба за постојањем интероперабилних КН. Пример је светска економска криза из 2008. године, када информације о стању тржишта некретнинама и пракси везаној за хипотеке, нису биле доступне иностраним инвеститорима на време.

Под објектно-оријентисаним катастром подразумева се одступање од устаљеног модела употреба парцела за представљање непокретности. Иако ће парцеле наставити да буду важан начин за приказ земљишта, у одређеним случајевима, оне не представљају најбољи модел за представљање објеката из КН.

Органски КН представља потребу, која се најчешће везује за појаве из природе, за флору и фауну, где је потребно представити променљиве границе, попут променљивих површина насељених одређеном животињском врстом.

Две државе које су посебну пажњу усмериле на *Cadastrre 2034*, су Аустралија и Нови Зеланд, чије су националне стратегије представљене у [84] и [85].

Своја размишљања на предложени *Cadastrre 2034* је у [86] изнело 10 водећих експерата из области КН и они дају другачију слику будућности КН. *Keith Clifford Bell* из Светске банке наводи да у фокусу будуће КН треба да буде:

- социјална, правна и зелена агенда,
- обезбеђење основних права, поштења, транспарентности, одговорности и владавине права,
- децентрализација управе и
- одрживи развој.

*Keith Clifford Bell* истиче да када се говори о прецизности премера, она треба да буде на нивоу који задовољава конкретну потребу, те да је потребно регистровати парцеле и у правном и у јавном власништву, и бележити само неопходна права. То се посебно односи на земље у развоју у којима значајан део популације живи испод границе сиромаштва и где је потребно усмерити доступне фондове у важније правце. Такође, скреће се пажња на управљање земљиштем, јер се дешава да се елита богати на рачун сиромашних или животне средине. Висок ниво корупције оптерећује КН многих земаља, што доводи до неовлашћеног манипулисања подацима КН. То води до тога да је неопходно да постоји поверење у КН, али то је тешко постићи када друштвене структуре моћи врше опструкцију. *Keith Clifford Bell* као закључак наводи да су од највећег значаја потпуност података и добра управа, док КН у реалном времену или КН са прецизношћу премера не треба да имају предност у односу на потребе за чистом водом, храном или санитарним условима.

*Dr. Mohamed El-Sioufi* руководи са *Shelter Branch, UN-Habitat* те сматра да предложени *Cadastrre 2034* може бити у користи у одређеним ситуацијама, када се ради о непокретностима од великог значаја. Са друге стране, у фокусу *UN-Habitat*-а су сиромашни, те се наводи да је у Африци само око 30% земљишта евидентирано у КН (2010. година), док само 2% жена има власништво над непокретностима. Стога се сматра да фокус треба да буде на регистрацији права коришћења некретнина и проналаска начина да се тај регистар интегрише са КН.

*Jürg Kaufmann*, коаутор *Cadastrre 2014*, се слаже да је прецизност премера у КН неопходна, као и да постоји оправдање за увођења 3Д/4Д КН, али наводи значај граница. Дефинисање граница правно-просторних објеката је неопходно у свету у којем је пренасељеност све већи проблем, као и у случајевима где имамо све више комплексних просторних објеката. Такође, *Jürg Kaufmann* износи став да ће потреба за међународно повезаним КН испунити применом савремених ИКТ.

*Jarmo Ratia* је директор финског КН, износи забринутост везану за границе. У Финској, КН је установљен на основу фиксних тачака које се налазе на земљи, док се једино у градовима користе координате, те сматра да би прелазак на потпуно координатни систем представљао корак ка непознатом. Такође, поставља се и питање природних граница, које се често користе и које не прате логику катастарских парцела.

*Dr. Dimitris Rokos* из грчког КН, сматра да прецизност премера у КН са собом доноси значајна повећања трошкова, док 3Д/4Д КН тек треба да буде формализован. Уместо тога, истиче чињеницу да су у значајној мери КН различити од државе до државе и да би и даље више пажње требало посветити примени INSPIRE и LADM како би се постигла интероперабилност између КН.

*Daniel Steudler*, коаутор *Cadastre 2014*, сматра да КН представља систем докумената, и да је неопходно боље документовати права, ограничења и одговорности над непокретностима. Такође, у светлу климатских промена, износи став да би се у КН могла водите евиденција о правима коришћења воде, као и о емисији карбонских гасова. КН не би требало да се фокусиран на цртање мапа, већ на чување података на начин који ће омогућити да ти подаци буду лако доступни.

*Dr. Clarissa Augustinus*, директор *UN-Habitat-a*, сматра да будући КН треба да буде фокусиран на сиромашне и да буде у могућности да прати промене и превиђања да ће до 2030. године више од 50% популације планети живети у урбаним срединама што ће довести до креирања непланираних и нелегалних насеља.

*Dorine Burmanje*, члан борда директора холандског КН и *Martin Salzmann* из холандског КН сматрају да КН будућности треба да представља мрежу међусобно повезаних организација и заједница, који ће представљати основу успешне е-управе.

*Daniel Roberge* директор КН Квебека, Канада, сматра да је прецизност премера КН прави смер за развијене земље, али да то не треба да буде у фокусу КН земаља у развоју. По питању 3Д/4Д КН, става је да је то нешто што ће се тешко постићи, јер иако ће технолошки то бити могуће, људски и финансијски ресурси ће бити веома високи. Проблем са ресурсима такође доводи у питање и могућност креирања КН у реалном времену.

*Paul van der Molen*, бивши директор *Kadaster International*, сматра да је корупција највећи проблем који је везан за КН и поставља питање да ли ће КН моћи да опстане уколико настави да функционише како је то до сада био случај, а изгуби поверење јавности.

Закључак који се намеће из ове анализе је да је предлог *Cadastre 2034* креиран са фокусом на развијене државе и урбане средине. Усмерен је на прецизност, детаље (права, ограничења, одговорности, 3Д/4Д) и пружање услуга у реалном времену. Међутим, земље у развоју имају потпуно другачије приоритете. Стога не постоји једно решење које ће задовољити све, али предлози за будући КН свакако представљају добру основу за даља истраживања [86].

Иако се део експерата фокусирао на потребе земаља у развоју и чињеницу да предложени *Cadastre 2034* не задовољава њихове потребе, неопходно је узети у обзир да предложени *Cadastre 2034* треба да буде смерница развоја након *Cadastre 2014*. Неразвијене и земље у развоју, још увек имају пред собом потребу за

имплементацијом смерница из *Cadastre 2014*, те није ни за очекивати да су њихове потребе једнаке оним у развијеним земљама.

#### 2.1.4 Проблеми у КН

Као што је наведено у 2.1, КН представља основни јавни регистар непокретности и права над њима. Из те дефиниције, јасна је потреба за одржавањем тачности података ускладиштених у КН. Термин тачност се овде користи за представљање подударности података похрањених у КН са стварном правном, просторном и топографском ситуацијама [18]. Нажалост, КН често нису у исправном стању. Нетачности се могу наћи и у регистру земљишта и катастару. Пример нетачности у регистру земљишта може бити у вези са подацима о власнику, уделу власништва, хипотеци, коришћењу земљишта, површини непокретности или неки други подаци. Слично, нетачности у катастру се могу односити на податке о локацији (просторна, хоризонтална и вертикална), површини, границама, темама или на неке друге податке. Прикупљање података, обрада података и погрешне употребе података су идентификовани као узроци који воде ка томе да подаци у катастру буду нетачни [19], а исто се може рећи и за податке који се чувају у регистру земљишта. О овим узроцима више речи је било у 1.1

Нетачност података КН такође доводи до ситуације у којој два подсистема КН, регистар земљишта и катастар, често нису у интерно конзистентном стању. Интерно конзистентно стање је стање у којем се подаци који се чувају у оба подсистема, а односе се на исти ентитет из стварног света, на пример, површину непокретности, исти/једнаки. Илустрације ради, у [87] наводи се да је само 5% података који се чувају у регистру земљишта и катастру у Хрватској у интерно конзистентном стању. Уколико КН није у интерно конзистентном стању, онда није ни у исправном стању [70] и у конкретном примеру, то би значило би да је 95% података који се чувају у хрватском КН у неисправном стању. Иако недостатак унутрашње конзистенције указује на нетачно стање, ако су регистар земљишта и катастар у конзистентном стању, и даље могу бити у неисправном стању, пошто подаци и даље можда нису у складу са стварном правном, просторном и топографском ситуацијом. Овај проблем је прилично чест у земљама у којима је у процесу стварања савременог КН било потребно усагласити податке из различитих извора и када су у употреби, у различитим деловима земље, били различити правни системи за КН. У тим случајевима било је неопходно законом дефинисати који извор података ће се сматрати тачним у случају неконзистентности. У Србији, у „Закону о државном премеру и катастру“, наведено је да се у случају интерне неконзистенције, подаци који се чувају у регистру земљишта сматрају тачним [52]. Овај проблем је препознат од стране РГЗ и као једна од слабости КН [57].

Постоји и озбиљнији узрок за појаву нетачности у КН, који је веома чест у неразвијеним и земљама у развоју, а то је проблем намерне „људске грешке“. Неовлашћено манипулисање подацима, као резултат корупције или преваре, су још један од узрока за појаву нових нетачности које читав КН доводе у нетачно стање [21] [22]. Овај проблем је посебно истакнут и у анализи предлога *Cadaster 2034* од стране експерата [86]. Термин неовлашћено манипулисање података овде се односи на чин

намерног уређивања, уништавања, или манипулисање подацима преко неовлашћених канала.

Још један разлог зашто се КН налази у неисправном стању је чињеница да је процес регистрације трансакције у КН траје необично дуго у већини земаља. На пример, процес регистрације трансакције може трајати до шест месеци у Шведској [23] или до 24 месеца у Србији. Управо ова неажурност података и велики број заосталих предмета су препознати као проблем и од стране РГЗ [57], али његово решавање је истакнуто и као један од елемената *Cadaster 2034* кроз КН у реалном времену [86]. Током периода потребног за регистрацију трансакције, нови власник непокретности има ограничена права, јер још увек није признат као *de jure* (лат.) власник непокретности. Поред тога, чињеница да регистрација трансакција у КН траје дуго, отвара простор за двоструко трошење (енгл. *double spending*) непокретности, односно двоструку продају непокретности и ови случајеви нису ретки.

Двоструко трошење некретнина може звучати необично будући да некретнине представљају материјалну имовину, али трансакције некретнинама се обично спроводе кроз процес регистрације, било у суду или некој другој државној установи, а не једноставним преузимањем имовине у posed. Стога је могуће имати случај двоструког трошења, где се иста некретнина продаје више пута, пре него што се трансакција званично региструје. Када се деси двоструко трошење непокретности, обично се прва трансакција региструје у КН, али овакви случајеви најчешће заврше на суду и потребно је доста времена да би се дошло до правоснажне пресуде. Док траје судски поступак ни једна од заинтересованих страна нема успостављена права над конкретном некретнином.

Нешто детаљнији узроци нетачности у КН према временској фази у којој су настали у којој су настали су представљени у [88] и приказани у табели 2-10.

Табела 2-10 Узроци нетачности у КН према временској фази

| Фаза                  | Узроци грешке  |
|-----------------------|--|
| Прикупљање података   | Непрецизност током мерења<br>Непрецизна опрема<br>Погрешна процедура снимања<br>Грешке у анализи индиректно прикупљених података |
| Унос података         | Грешке дигитализације<br>Природа нејасних природних граница<br>Друге форме уноса података  |
| Чување података       | Нумеричка прецизност<br>Просторна прецизност (у растерским системима)  |
| Манипулисање подацима | Погрешни интервали класа<br>Грешке граница<br>Лажни полигони и пропација грешке  |
| Презентовање података | Скалирање<br>Погрешни излазни уређаји  |
| Коришћење података    | Погрешно разумевање информација<br>Погрешно коришћење података   |

Овако настале нетачности изазивају нетачности у финалној верзији КН као што је приказано на слици 2-9.



Слика 2-9. Класификација грешака у географским информационим системима

Позиционе и нетачности атрибута резултују нетачним координатама одређеног објекта или нетачним приказом његових карактеристика/квалитета. Логичка конзистенција се односи на случајеве када се, на пример, централне линије коловоза не секу на средини раскрснице. Потпуност се односи на случајеве када се, на пример, уклоне полигони који описују земљиште у случају када је њихова површина мања од одређеног минималног прага.

У [89] као најзначајнији проблеми у процесу управљање КН идентификовани су:

- неусаглашеност садржаја евиденције и односу на стварно стање,

- у законској регулативи није прецизно дефинисан садржај катастарских евиденција,
- као последица наслеђивања података из различитих извора, структура евиденције је релативно комплексна,
- перформансе ажурирања и претраживања обимних катастарских евиденција су лоше,
- не постоји прецизна дефиниција инфраструктуре просторних података на нивоу државе,
- не постоји стандардни формат за размену података и
- подацима није могуће приступити на униформан начин, независно од технологије у системима који ступају у интеракцију.

## 2.2 Блокчејн технологија

БТ представља прву имплементацију технологије дистрибуиране главне књиге трансакција. *DLT* је решење које уместо централизованог регистра има јединствен регистар који је дистрибуиран између више чворова (енгл. *nodes*) са децентрализованом контролом. Ови чворови бележе, деле и синхронизују податке преко мреже и чине податке безбедним тако што постижу консензус о садржају регистра [90]. Прва конкретна имплементације БТ је Биткоин (енгл. *Bitcoin*) блокчејн, али током година имплементирани су различите *DLT* платформе [91].

У БТ трансакције се чувају у ланцу блокова. Блокови се додају хронолошким редом на начин који могућност манипулације или фалсификовања чини мало вероватним [92]. Да би се то постигло, БТ се ослања на криптографску хеш функцију (енгл. *hash function*), асиметричну криптографију и механизам дистрибуираног консензуса [93]. Главне предности БТ су ефикасност, сигурност, отпорност и транспарентност. Чињеница да је могуће лако пратити и управљати сложеним евиденције података уз помоћ БТ чини ово решење веома ефикасним. Систем је обезбеђен тако што је фалсификовање података скоро немогуће, јер су подаци дистрибуирани између великог броја међусобно повезаних чворова. Дистрибуираност података и чињеница да не постоји јединствена тачка отказа (енгл. *single point of failure*) чини систем отпорним, а чињеница да је коришћење система јавно, чини га транспарентним [94]. БТ такође доноси предности децентрализације, анонимност, перзистенције и ревизије [93].

### 2.2.1 Архитектура Биткоин блокчејна

Архитектура БТ биће описан на примеру Биткоин блокчејна. Биткоин блокчејн је креиран од стране особе или особа иза алијаса Сатоши Накамото (енгл. *Satoshi Nakamoto*). Основна идеја иза Биткоин блокчејна била је да се створи верзија електронског новца (дигитална валута, крипто-валута), која ће омогућити директна плаћања између страна у трансакцији, без потребе да се користе финансијске институције. Такође, било је потребно онемогућити поништавање трансакција, што је препознато као проблем који је оптерећивао системе засноване на трећим странама од поверења. Стога је предложен систем заснован на криптографском доказу уместо на



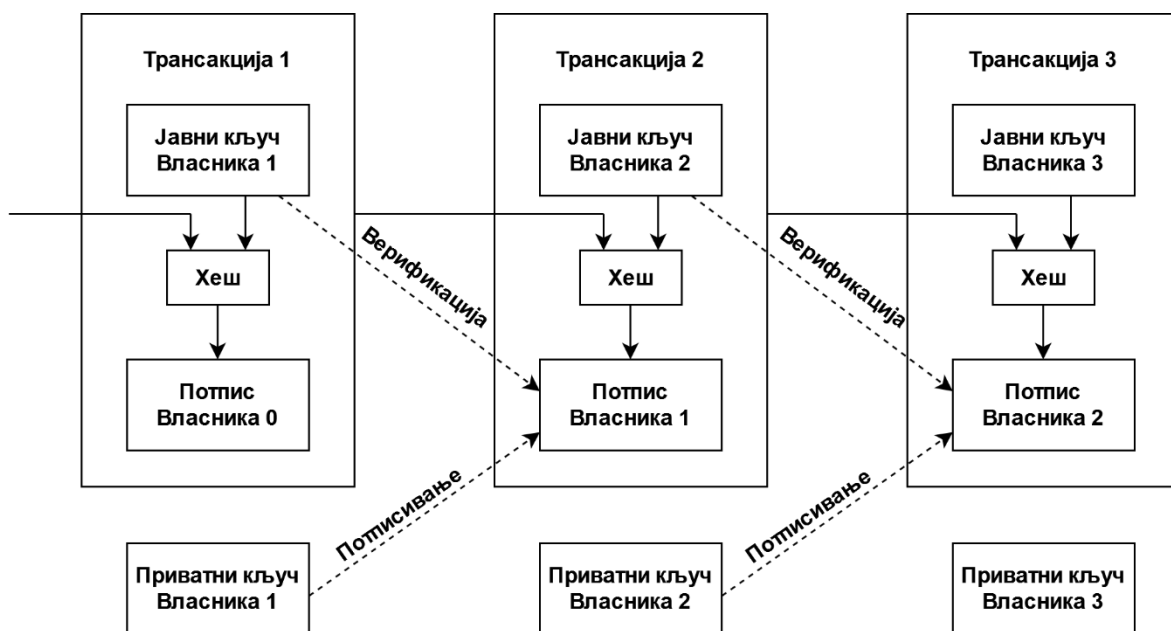
поверењу, као и решење проблема двоструког трошење употребом P2P дистрибуираног сервера за временску одредницу (енгл. *timestamp*) [95].

У Биткоин блокчејну, електронски новац се дефинише као ланац дигиталних потписа. Алгоритам дигиталних потписа (енгл. *Digital Signature Algorithm*) се користи како би се генерисао пар великих бројева који се у рачунарским системима представљају као низ бинарних бројки [96]. Та два броја представљају такозвани приватни и, математички повезани, јавни кључ [97]. Употреба два различита кључа где се један кључ користи за криптовање, а други за декриптовање документа назива се асиметрична криптографија. Под термином криптографија подразумева се софтвер или хардвер који трансформише поруку писану као обичну поруку у криптовану поруку. Под термином криптовање подразумева се процес у којем се порука писана као "обичан текст" трансформише тако да буде неразумљива, док је декриптовање супротан процес.

У случају Биткоин блокчејна власник електронског новца преноси власништво на новог власника тако што дигиталним потписом потписује хеш вредност претходне трансакције и јавни кључ новог власника. Овај процес илустрован је на слици 2-10 на следећи начин:

- Трансакција 1 представља раније завршену трансакцију и тренутни власник криптовалуте је Власник 1,
- Власник 1 жели да пренесе одређену количину криптовалуте Власнику 2,
- Власник 1 као улазне параметре узима хеш вредност трансакције 1 и јавни кључ Власника 2,
- својим приватним кључем, Власник 2 потписује хеш вредност улазних параметара,
- прималац криптовалуте може извршити верификацију тако што ће проверити да ли коришћени јавни и приватни кључ Власника 1 представљају криптографски пар.

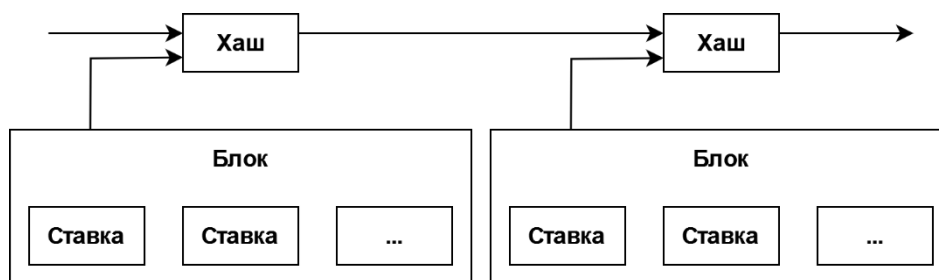
Пренос власништва у Трансакцији 3 прати исту аналогију.



Слика 2-10. Биткоин трансакције [95]

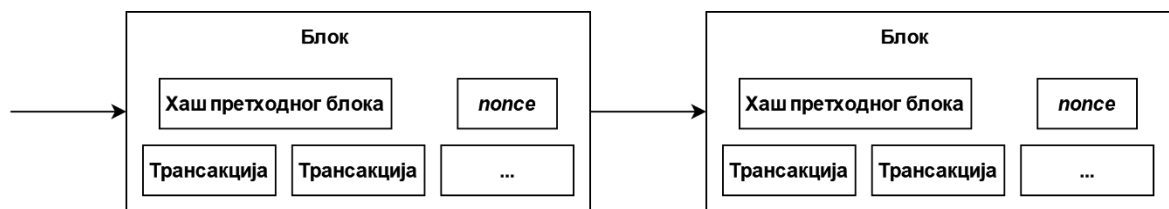
Хеш, или хеш вредност, представља резултат извршавања хеш функције. Хеш функција поруку произвољне дужине трансформише у поруку фиксне дужине. Процес креирања хеш вредности није рачунарски захтеван, али откивања поруке која креира одређени отисак не би требало да буде могуће [98]. Биткоин блокчејн за израчунавање хеш вредности користи *SHA-256* функцију.

Наредни проблем који БТ решава је ограничење могућности двоструког трошења. Користећи само дигиталне потписе није могуће гарантовати да претходни власник није потписао још неку ранију трансакцију. Уобичајено је да постоји трећа страна од поверења како би се решио овај проблем, али уколико је циљ да се то избегне, онда је решење да све трансакције буду јавне и да постоји систем који ће омогућити свим учесницима да се договоре око јединственог историјата трансакција. Предложено решење је употреба *timestamp* сервера. *Timestamp* сервер израчунава хеш вредност за блок ставки за које је потребна временска одредница и јавно објављује ту вредност. На тај начин потврђује да је ставка постојала у том тренутку у времену. Поред ставки из новог блока, за израчунавање нове хеш вредности, као улазни параметар узима се и хеш вредност претходног блока и на тај начин креира се ланац блокова. Са сваким новим додатим блоком, додатно се потврђују ставке које се налазе у претходним блоковима. Овај процес приказан је на слици 2-11.



Слика 2-11. Ланац блокова [95]

Да би се реализовао дистрибуирани *P2P timeserver* потребно је користити механизам консензуса (МК – енгл. *consensus mechanism*). Улога МК у *P2P* мрежи је да се омогући да чворови постигну сагласност око јединственог стања мреже [99]. Биткоин блокчејн користи *proof-of-work (PoW)* МК. У МК, поред трансакција и хеш вредности претходног блока, за израчунавање хеш вредности новог блока узима се и још једна једнократна вредност (енгл. *nonce*). Чворови који су чланови мреже мењају *nonce* док не добију хеш вредност блока која почиње са одређеним бројем нула битова. Чворови који покушавају да пронађу *nonce* називају се рудари (енгл. *miners*), а процес проналажења *nonce* вредности назива се рударење (енгл. *mining*), док се број почетних нула битова назива тежина рударење. Улога *nonce* је да се обезбеди да се блокови додају на ланац у мање више константним временским интервалима. Стога, блок не представља неку количину података које се додају на ланац, већ представља један временски интервал. Овај процес илустрован је на слици 2-12.



Слика 2-12. Биткоин блокови [95]

Кораци који се дешавају на *P2P* мрежи су следећи:

- чворови се обавештавају о новим трансакцијама,
- сваки чвор прикупља трансакције у блок,
- сваки чвор покушава да пронађе одговарајућу *nonce* вредност,
- када чвор пронађе *nonce* вредност, шаље информације о блоку свим другим чворовима,
- чворови прихватају блок само уколико су све трансакције у блоку валидне и нису потрошене,
- чворови потврђују блок тако што почињу да раде на следећем блоку, користећи хеш вредност тог блока као улазни параметар за одређивање хеш вредности наредног блока [95].

Подстицај да чворови креирају нове блокове је у виду награде која се даје за успешно креиран блок.

## 2.2.2 Проблем византијских генерала

Проблем који се решава применом МК се назива проблем византијских генерала. Сваки рачунарски систем, да би био поуздан, мора имати могућност да се носи са отказом једне или више компоненти. Компонента која је у отказу можда неће бити препозната као таква од стране система и може наставити да шаље различите информације различитим деловима система. Као илустрација проблем се описује причом у којој неколико дивизија византијске војске опседа непријатељско утврђење. Сваком дивизијом командује један генерал. Генерали међусобно комуницирају преко курира. Након осматрања непријатељских позиција, сваки генерал мора одлучити шта

им је чинити, међутим неки од генерала су можда издајници и желе да онемогуће да одани генерали постигну консензус. Алгоритам који ће представљати решење мора гарантовати да:

- сви одани генерали донесу исту одлуку о истом плану акције и
- мали број издајника не може проузроковати да одани генерали усвоје лош план.

Иако пример изгледа релативно једноставан, решење зависи и од могућности да генерали директно комуницирају, или од потребе да се поруке преносе писаним путем. Једна могућност је да издајник пошаље различите поруке различитим генералима, као и да у случају писаних порука онај који преноси поруку промени њен садржај [100]. БТ представља прву познату имплементацију решења проблема византијских генерала.

### 2.2.3 Механизми консензуса

У поглављу 2.2.1. укратко је описан *PoW* МК, који се тренутно користи у две највеће блокчејн мреже, Биткоин и Етереум (енгл. *Ethereum*). Поред већ наведеног, важно је напоменути да је енергетска ефикасност проблем који се често везује са *PoW* МК. Према подацима из средине септембра 2022. године, дневна потрошња електричне енергије потребне за рад Биткоин блокчејн мреже износила је 11.01 GWh дневно, односно 94 TWh на годишњем нивоу, док је максимална дневна потрошња пре овог периода забележена у мају 2021. године и износила је 15.8 GWh дневно [101]. То би потрошњу Биткоин блокчејна, да се ради о држави, сврстало на 34 место листе држава по потрошњи електричне енергије у 2019. године, односно негде између потрошње Холандије и Белгије [102]. Процена је да је 2020. године Биткоин блокчејн био одговоран за емисију 45 МТ CO<sub>2</sub> [103], што је веће емисија него појединачна емисија Шведске, Норвешке, Финске или Португалије [104].

Поред *PoW*, у блокчејн мрежама користе се и други МК попут *proof-of-stake* (*PoS*), *delegated-proof-of-stake* (*DPoS*), *proof-of-elapsed-time* (*PoET*) и *practical-byzantine-fault-tolerance* (*PBFT*).

МК се могу поделити на МК са вероватноћом коначности (енгл. *probabilistic finality*) и на МК са апсолутном коначношћу (енгл. *absolute finality*) [105]. Термин коначност овде се односи на тренутак у коме стране које учествују у трансакцији могу сматрати да је трансакција извршена, односно, тренутак у времену након ког више није могуће поништити трансакцију. У случају вероватноће коначности, са сваким новим додатим блоком, вероватноћа да се трансакција поништи постаје мања, јер процес поништавања постаје захтевнији, док у случају апсолутне коначности, сматра се да је трансакција коначна, чим се блок у ком се налази упише на блокчејн. *PoW* МК је механизам са вероватноћом коначности.

У *PoS* МК избор чвора који ће израчунати *nonce* вредност не зависи од рачунарске моћи, већ од улога (енгл. *stake*) који чвор има. Што је већи улог, то је мањи број потребних покушаја за проналазак *nonce* вредности, јер се тежина рударења смањује са повећањем улога [105]. Избор чвора који ће вршити валидацију блока се врши псеудо-случајно пре почетка валидације и то је једини чвор који може извршити валидацију [106]. Псеудо-случајан избор чвора који врши валидацију служи како би

се онемогућило монополисање мреже и случај да ће богати чворови постајати још богатији [107]. Два популарна алгорита псеудо-случајног избора су *Randomized block* и *Coin age*. У случају *Randomized block* алгорита избор чвора се врши на основу висине улога и најниже хеш вредност чвора, док се у случају *Coin age* алгорита, избор врши на основу висине улога и времена које је протекло од тренутка улагања [106]. *PoS* МК је креиран како би се превазишао проблем енергетске ефикасности *PoW* [108] [109] [110]. Од 15. септембра 2022. године Етереум блокчејн је највећа мрежа која користи *PoS* МК, након што је извршен прелазак са *PoW*. У Етереум блокчејну блокови се додају сваких дванаест секунди, што представља један слот (енгл. *slot*), док 32 слота представљају једну епоху (енгл. *epoch*). За сваки слот, случајним избором одређен је један валидатор, који ће предложити нови блок, и комитет валидатора који ће гласати о валидности предложеног блока. Коначност се постиже кроз употребу контролних блокова (енгл. *checkpoint blocks*). Контролни блок је први блок сваке епохе. Валидатора гласају за пар контролних блокова и уколико они подржани од стране чворова који заједно поседују барем две трећине уложеног Етера (крипто валуте на Етереум блокчејну), новији контролни блок се унапређује у финализован [111]. Дан пре преласка на *PoS* МК процена је била да је годишња потрошња енергије потребне за одржавање Етереум блокчејн мреже износила 77 TWh, док је на дан преласка износила 0.5 TWh, уз очекивање да ће коначна вредност износити око 0.01 TWh годишње [112].

*DPoS* је МК у којем чворови који су носиоци улога гласају и на тај начин бирају чвор који ће верификовати блок, односно верификацију блока обавља чвор којем је то право делегирано од стране чворова који заједно поседују већину улога [105]. *DPoS* МК би требало да унапреди перформансе мреже, скрати потребно време за регистрацију трансакција и креирање новог блока, унапреди флексибилности, а да додајући ове карактеристике, не утиче на децентрализовану природу мреже [107]. *EOS.IO* је блокчејн мрежа која примењује *DPoS*. Применом *DPoS* МК трансакција се може сматрати потврђеном са вероватноћом од 99.9% свега 0.25s након објављивања, док се у *EOS.IO* додатном применом асинхроног *Byzantine Fault Tolerance* механизма, коначност са 100% сигурности постиже након 1s од објављивања [113].

*PoET* МК такође предлаже решење проблема који постоје у *PoW* МК. Решење се заснива на томе да се свим чворовима случајним избором одређује време чекања. Чвор чије време чекања прво истекне ће бити чвор који ће додати нови блок [99]. Пример блокчејн мреже која користи *PoET* МК је *Hyperledger Sawtooth*. У *Hyperledger Sawtooth*, *Software Guard Extensions* (SGX) компаније Интел (енгл. *Intel*) који пружа могућност заштите програмског кода и података од откривања и модификације [114], се користи како би се осигурало да је чвор заиста чекао одређено време, пре него што је предложио додавање новог блока [115]. *PoET* је још један пример МК са вероватноћом коначности [116].

*PBFT* МК представља практично решење проблема византијских генерала описаног у 2.2.2. Решење полази од претпоставке да на мрежи постоје чворови који неће преносити све поруке, који ће каснити у преносу порука, дуплирати поруке или преносити поруке мимо реда, те да су чворови међусобно независни [107]. Процес регистрације трансакција се спроводи у неколико корака, прво клијент прослеђује

транзакцију примарном чвору, примарни чвор прослеђује поруку другим чворовима, чворови обрађују захтев и шаљу одговор клијенту. Клијент чека док не добије одређен број истих одговора, који мора бити већи од броја злонамерних чворова које систем може да дозволи [106]. Током процеса обраде захтева, чворови међусобно комуницирају и размењују поруке. *PBFT* је МК са апсолутном коначношћу [105]. Примери блокчејн мрежа које користе *PBFT* МК су *Zyliqa* и *Hyperledger Fabric*.

#### 2.2.4 Основне карактеристике блокчејн технологија

Као основне карактеристике БТ издвајају се: децентрализација, перзистенција, анонимност и могућност ревизије (енгл. *auditability*) [93] [117] [118] [119] [120].

Децентрализација – У традиционалним системима за управљање трансакцијама, неопходно је да свака трансакција буде потврђена од тзв. треће стране од поверења (енгл. *trusted third party*), што доводи до потенцијалног креирања уског грла у перформансама, као и настанак јединствене тачке отказа [93] [117]. У БТ сваки чвор у мрежи има могућност да обради и чува све трансакције. Информације о трансакцијама се размењују између свих чворова на мрежи без потребе за трећом страном од поверења [119]. За разлику од централизованог система, не постоји опасност од јединствене тачке отказа, јер отказ неког од чворова неће имати последице на рад мреже. Поред тога, до промене стања система може доћи само након што чворови обаве исти прорачун и постигну консензус око резултата прорачуна [120].

Перзистенција – Као што је описано и у 2.2.1, блокчејн се састоји од међусобно повезаних блокова. Садржај једног блока утиче на садржај сваког наредног блока, што значи да би промена садржаја неког блока, све наредне блокове учинило неважећим [117]. На овај начин постигнуто је да се у блокчејн могу само додавати трансакције, док њихово брисање и измена није могућа [118].

Анонимност – Анонимност произилази из особине јавних блокчејн мрежа (о подели на јавне, приватне и хибридне блокчејн мреже више речи ће бити у поглављу 3) да се свако може прикључити мрежи и учествовати у потврди трансакција, али и бити само корисник мреже [93] [118].

Могућност ревизије – Како су све трансакције на блокчејн мрежи јавне и како свака од њих има временску одредницу, свако ко је заинтересован може претражити претходне трансакције [93] [117].

#### 2.2.5 Паметни уговори

Блокчејн мреже, попут Биткоин блокчејна, које су развијане примарном идејом подршке електронском новцу обично се називају *Blockchain 1.0* [121] [122]. Блокчејн мреже које подржавају паметне уговоре називају се *Blokchain 2.0* [122] [123], мада неки аутори Блокчејн мреже које подржавају паметне уговоре са применом у финансијама називају *Blokchain 2.0*, док се за примену у другом областима користи термин *Blockchain 3.0* [121].

Термин паметни уговор по први пут се помиње 1996. године и тада су дефинисани као „скуп обећања, специфицираних у дигиталном формату, укључујући и протоколе у оквиру којих све странке спроводе активности у складу за датим обећањима“. Идеја је заснована на могућности да се клаузуле уговора имплементирају

било кроз хардвер или софтвер, на такав начин да би било какво нарушавање клаузула изазвало значајне „трошкове“ за страну која их наруши [124]. У БТ паметни уговори су рачунарски програми који се постављају на блокчејн мрежу и за чије извршавање важе иста правила као и за трансакције [125]. Могу се користити како би се аутоматски проверили и извршили изрази наведени у њима и као би се нпр. извршио пренос власништва над имовином, када се испуне одређени услови [126]. Прва блокчејн мрежа која је развијана како би подржала паметне уговоре и дистрибуиране анонимне организације је Етереум блокчејн [127]. Етереум блокчејн подржава *Turing-complete* паметне уговоре и на тај начин пружа могућност развоја апликација генералне примене [128]. Неки од случајеви употребе који су препознати као могуће области примене паметних уговора су: ланци снабдевања [129] [130], *Internet of Things* [129] [130], здравствени системи [129] [130], управљање дигиталним правима [129], осигурање [129], непокретности [129], електронско гласање [130].

Са појавом могућности креирања паметних уговора на блокчејн мрежама створила се и могућност развоја децентрализованих апликација (енгл. *Decentralized applications – DApps*) и децентрализованих аутономних организација (енгл. *Decentralized Autonomous Organizations - DAOs*). Како блокчејн мрежа представља врсту дистрибуираног система у ком не постоји централни ауторитет, већ се одлуке доносе применом децентрализованог механизма консензуса, тако су и апликације које се извршавају на блокчејн мрежама децентрализоване, и представљају специјалну врсту софтвера чије извршење не контролише један ентитет [128]. Децентрализована аутономна организација представља дугорочан паметни уговор који управља одређеном имовином и садржи сва пословна правила једне организације [127] и функционише без интервенција од стране људи [122].

У поређењу са традиционалним уговорима, препознате су следеће предности паметних уговора:

- смањење ризика – због начина на који је реализована перзистенција у БТ, односно због непромењивости трансакција уписаних у блокчејн, ни паметне уговоре није могуће изменити након што се поставе на мрежу. Поред тога, све трансакције се чувају на читавој мрежи и подложне су ревизији, што значајно смањује могућност злонамерног понашања.
- смањивање административних трошкова – за разлику од централизованих система, у којима постоје трошкови везани за пословање треће стране од поверење, у блокчејн мрежама, механизам консензуса је задужен за обезбеђење поверења и трошкови су значајно нижи.
- унапређење ефикасности пословних процеса – могућност да се клаузуле уговора изврше аутоматски, чим се испуне потребни услови, може значајно да убрза процес имајући у виду да ангажовање трећих страна од поверења може захтевати додатно време [131].

Према [131] [132] животни век паметног уговора састоји се од наредних фаза:

- креирање – заинтересоване стране, уз помоћ адвоката и саветника специфицирају иницијални уговор. Софтверски инжењери овај уговор конвертују у паметни уговор који је у програмском језику. Сам процес

развоја pametног уговора пролази кроз стандардне фазе развоја софтвера попут дизајна, имплементације и валидације.

- постављање (енгл. *deployment*) – је фаза у којој се pametni уговор поставља на изабрану блокчејн мрежу. Као што је помињано, једном постављен pametni уговор је непроменљив, те било какве измене захтевају постављање новог уговора.
- извршавање – након постављања pametног уговора, уговорене клаузуле се прате и извршавају. У тренутку када се испуне услови, одговарајуће функције ће аутоматски бити извршене.
- завршетак – након што је pametni уговор извршен, ажурирано је стање везано за странке у поступку и то ново стање је сачувано на блокчејн мрежи.

## 2.2.6 Безбедност информација у блокчејн технологији

Безбедност информација треба да обезбеди поверљивост, доступност и интегритет информација које су похрањене у неком систему [133]. Ризици који постоје у БТ, обично су подељени у две основне категорије. Прву представљају ризици који једнако могу утицати и на *Blockchain 1.0* и *Blockchain 2.0/3.0* и на оне који погађају само *Blockchain 2.0/3.0*, односно који се углавном односе на pametне уговоре [134]. Ризици по *Blockchain 1.0* и *Blockchain 2.0/3.0* који се најчешће помињу су: напад 51% (енгл. *51% attack/vulnerability*), *selfish-mining*, *eclipse* напад и *distributed denial-of-service (DDoS)* напад.

Напад 51% представља вероватно најчешће помињан ризик у БТ. У овој врсти нападу, један ентитет контролише више од 50% укупне снаге рударење, у случају *PoW* механизма консензуса или више од 50% укупног улога у случају *PoS*. У том случају, злонамерни ентитет са више од 50% контроле могао би да обезбеди креирање најдуже ланца блокова и на тај начин да блок који је он креирао, а који не мора бити валидан, буде прихваћен од стране читаве мреже [135].

Термин најдуже ланца односи се на следећи случај. Наиме, као што је описано у 2.2.1, након успешно пронађене *nonce* вредности, чвор који је пронашао вредност, о томе обавештава остале чворове, који врше проверу и потом прихватају нови блок тако што почињу да раде на наредном блоку користећи хеш вредност претходног као улазну вредност. Међутим, могуће је да више различитих чворова у кратком временском интервалу одреде *nonce* вредност два различита блока, са различитим улазним трансакцијама. Оба чвора ће послати обавештење свим осталим чворовима, али како су блокчејн мреже обично велике, може доћи до малог кашњења у пропагацији ове поруке, те ће део мреже почети да ради на наредном блоку користећи као улазне податке хеш вредност блока који је послао један чвор, а део који је послао други чвор. На овај начин дошло би до гранања у ланцу и више не би постојала јединствена историја трансакција. Овај проблем је решен тако што се као исправан, увек бира најдужи ланац. То значи, да је исправан онај ланац који је прихваћен од чворова са већом моћи рударења, или од чворова са већим улогом.

Злонамерни чвор може искористити ову предност да:

- поништи трансакције,



- изазове двоструко трошење,
- модификује трансакције,
- да поништи процес рударења других чворова и
- онемогући потврде регуларних трансакција [134] [136].

Крајем септембра 2022. године *hashrate* Биткоин мреже износио је 230EH/s [137]. *Hashrate* представља број калкулација које се спроводе у секунди у некој блокчејн мрежи. У истом периоду, у продаји су се налазили појединачни уређаји за рударење са *hashrate*-ом од 110TH/s (*Bitmain Antminer S19 Pro 110TH - SHA-256 - Bitcoin Miner - \$4.555,00*) [138]. Имајући у виду ове вредности, долазимо до износа улагања у опрему од близу 5 милијарди долара, да би се у тренутној мрежи имао удео довољно велик за напад 51%, односно да би било потребно уложити око 10 милијарди долара у нову опрему како би се преузела контрола над мрежом. У Етереум мрежи, у истом периоду, у *PoS* МК уложен је Етер у вредности од око 20 милијарди долара [139], што значи да би за преузимање мреже било потребно имати контролу над Етером вредности 10 милијарди долара, или 20 милијарди уколико се ради о новим улозима.

Већ годинама уназад, почетна улагања за учешће у потврђивању трансакција, посебно у *PoW* МК, су прилично висока и чак са тим улагањима, вероватноћа успешног проласка *nonce* вредности је прилично мала. Стога се чворови обично удружују у тзв. *pool*-ове. Ови *pool*-ови комбинују *hashrate* свих чланова и на тај начин повећавају вероватноћу да ће управо тај *pool* додати нови блок и добити награду, која ће се потом делити на све учеснике у *pool*-у, пропорционално уложеном раду. Ипак, постојање *pool*-ова има и негативне последице, а то је нпр. чињеница да се неретко дешава да исти *pool* потврди више блокова један за другим и на тај начин наруши идеју да потврда блокова буде дистрибуиране између независних учесника у мрежи [140]. У табели 2-11 приказани су навећи *pool*-ови у Биткоин мрежи и њихови удели у укупном *hashrate*-у, док су у табели 2-12 приказане адресе које су потврдиле навећи проценат блокова на дан 30.09.2022. године у Етереум мрежи.

Табела 2-11. Удео *pool*-ова у укупном *hashrate*-у [141]

| <i>Pool</i>          | <i>Hashrate</i> (EH/s) | Удео (%) |
|----------------------|------------------------|----------|
| <b>Биткоин мрежа</b> | 229,26                 | 100      |
| <b>Foundry USA</b>   | 61,96                  | 27,03    |
| <b>AntPool</b>       | 44,92                  | 19,59    |
| <b>F2Pool</b>        | 40,28                  | 17,57    |
| <b>Binance Pool</b>  | 29,43                  | 12,84    |
| <b>ViaBTC</b>        | 24,79                  | 10,81    |
| <b>Braiins Pool</b>  | 10,84                  | 4,73     |
| <b>Непознато</b>     | 6,20                   | 2,0      |
| <b>BTC.com</b>       | 3,10                   | 1,35     |
| <b>Luxor</b>         | 3,10                   | 1,35     |
| <b>Poolin</b>        | 3,10                   | 1,35     |
| <b>SBI Crypto</b>    | 1,55                   | 0,68     |

Табела 2-12. Удео адреса у потврђеним блоковима [142]

| Adresa                                     | Удео (%) |
|--|----------|
| 0x388c818ca8b9251b393131c08a736a67ccb19297 | 23,45    |
| 0x4675c7e5baafbfbca748158becba61ef3b0a263  | 23,45    |
| 0xe688b84b23f322a994a53dbf8e15fa82cdb71127 | 8,07     |
| 0xebec795c9c8bbd61ffc14a6662944748f299cacf | 7,27     |
| 0xf2f5c73fa04406b1995e397b55c24ab1f3ea726c | 6,76     |
| 0xf573d99385c05c23b24ed33de616ad16a43a0919 | 5,25     |
| 0x6d2e03b7effeae98bd302a9f836d0d6ab0002766 | 3,44     |
| 0x199d5ed7f45f4ee35960cf22eade2076e95b253f | 3,15     |
| Остали                                     | 31,02    |

На примеру Биткоин и Етереум мрежа, може се видети да ниједан од *pool*-ова нема могућност преузимања контроле над мрежом, али да би преузимање могло да се догоди у случају када би се барем три *pool*-а, односно ентитети који стоје иза њих, око тога договорили. Ипак, треба имати у виду да је чланство у *pool*-овима добровољно, те да би у случају неког договора или покушају преузимања мреже, вероватно дошло до напуштања *pool*-ова од стране добронамерних чворова. Управо то се и догодило у јулу 2014. године када се *GHash.io pool* накратко прешао границу од 51%. Као резултат, чворови су почели да напуштају овај *pool* како би се смањило његов потенцијални утицај [140]. Од 51% средином 2014. године *GHash.io* је 2015. године имао учешће од само 2%, да би 2016. године био угашен. Током претходних неколико година у неколико мањих блокчејн мрежа попут *Ethereum Classic* [143], *Bitcoin Gold* [144], *Vertcoin* [145], *Expanse* [146] и *Litecoin Cash* [147], догодили су се напади 51%.

*Selfish-mining* је приступ рударењу који ће злонамерном *pool*-у обезбедити веће приходе него што му припадају на основу *hashrate*-а, а постоји могућност и да *pool* преузме контролу над мрежом и са уделом мањим од 51%. Наиме, у злонамерном *pool*-у довољне величине, чворови могу да раде на решавању *PoW* МК, али да решење до ког су дошли чувају тајним, те да само чланови злонамерног *pool*-а настављају рад са новим блоком као улазним параметром, те да овај поступак понављају, докле год грана на којој они раде не постане дужа од јавне гране. Оног тренутка када њихова грана постане дужа, злонамерни *pool* објављује резултате рударења, и чини да рад који су уложили рудари који нису чланови злонамерног *pool*-а буде узалудан, и да злонамерни *pool* добије награду [148]. На овај начин злонамерни *pool* би могао да преузме комплетну контролу над мрежом, јер ће чињеницом да преузима већи део награде, учинити рударење непрофитабилним за остале чворове, који могу напустити мрежу, а потом доћи до контроле од 51% мреже, те преузимати све награде, спроводити двоструко трошење и блокирати трансакције које не желе да буду регистроване [149].

*Eclipse* напад описује ситуацију у којој нападач „помрачује“ чвор жртву тако што монополизује све долазне и одлазне конекције које чвор жртва има према мрежи и на тај начин утиче на „поглед“ које тај чвор има према остатку мреже. На овај начин може се изазвати узалудно трошење ресурса у рударење [150] [151] [152]. Нападач

овај напад може искористити као основу за лакше спровођење напада 51% и *selfish-mining*-а, јер „помрачујући“ чвор жртву, може да утиче на укупан *hashrate* на мрежи [150].

*DDoS* напад није везан само за блокчејн мреже, али се може искористити како би се утицало на способност мреже да опслужи легитимне захтеве [153]. У овој врсти напада, нападач обично користи мрежу уређаја, над којима је преузео контролу, како би преплавио мрежу са великим бројем захтева. У [154] презентовано је истраживање који показују да је у периоду фебруара 2011. до октобра 2013. године, од 49 *pool*-ова, 12 било жртве *DDoS* напада. Поред *pool*-ова и читаве мреже су биле жртве напада, па је тако *Bitcoin Gold* мрежа, која је настала од Биткоин мреже, у тренутку настанка била жртва напада, када је током једног минута примано 10 милиона захтева [153].

Ризици по *Blockchain 2.0/3.0* су везани за паметне уговоре. Како су паметни уговори рачунарски програми који се извршавају на блокчејн платформи, за њих важе исти ризици као и за било који други рачунарски програм. Лоше написан паметни уговор може имати исте проблеме као и други лоше написан програм који није развијан у складу са најбољом праксом. Постоје и одређене специфичности паметних уговора, односно њиховог извршавања, и обраћање пажње на ове специфичности би свакако била добра пракса у развоју паметних уговора. У [155] наведена су три примера како извршавање паметног уговора може имати нежељен резултат и то:

- зависност редоследа извршавања трансакција (енгл. *Transaction-Ordering Dependence – TOD*) – у једном блоку, налази се више трансакција и редослед извршавања трансакција зависи од чвора који ће рударити блок, у случају да више трансакција користи исти паметни уговор, редослед извршавања може утицати на коначан резултат;
- зависност од временске одреднице (енгл. *Timestamp Dependence*) – како рудари одређују временску одредницу сваког блока који рударе, а та одредница је заснована на локалном времену сваког чвора. Могуће је манипулисати временом и померити временску одредницу за неколико секунди, што може имати нежељен резултат на паметне уговоре који имају временску одредницу као окидач за извршење неке функције;
- необрађен изузетак (енгл. *Mishandled Exception*) – у случају да један паметни уговор позове други паметни уговор, у којем се деси изузетак, позван уговор може и не мора да проследи тај изузетак уговору који је упутио позив. Паметни уговор који је упутио позив би морао да провери одговор, али уколико се то не деси, може доћи до неочекиваних резултата.

Нешто детаљнији преглед конкретних рањивости на примеру паметних уговора на Етереум мрежи дат је у [156] где је дефинисана таксономија рањивости која је приказана у табели 2-13.

Табела 2-13. Таксономија рањивости паметних уговора у Етереум мрежи [156]

| Ниво рањивости                        | Узрок рањивости   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Solidity</b>                       | Позив непознатом<br>(енгл. <i>Call to unknown</i> )                     |
|                                       | Позив без гаса<br>(енгл. <i>Gasless send</i> )                          |
|                                       | Поремећаји изузетка<br>(енгл. <i>Exception disorders</i> )              |
|                                       | Конверзија типа<br>(енгл. <i>Type casts</i> )                           |
|                                       | Поновни улазак<br>(енгл. <i>Reentrancy</i> )                            |
|                                       | Чување тајни<br>(енгл. <i>Keeping secrets</i> )                         |
| <b>Ethereum Virtual Machine - EVM</b> | Непромењиве грешке<br>(енгл. <i>Immutable bugs</i> )                    |
|                                       | Етер изгубљен у трансакцијама<br>(енгл. <i>Ether lost in transfer</i> ) |
|                                       | Лимитирана величина стека<br>(енгл. <i>Stack size limit</i> )           |
| <b>Блокчејн</b>                       | Непредвиђено стање<br>(енгл. <i>Unpredictable state</i> )               |
|                                       | Изазивање случајности<br>(енгл. <i>Generating randomness</i> )          |
|                                       | Временска ограничења<br>(енгл. <i>Time Constraints</i> )                |

Позив непознатом – У *Solidity* програмском језику (о којем ће више речи бити у поглављу 3) могуће је изазвати позив *fallback()* функцији, када упућен позив не одговара ниједној постојећој функцији. То дозвољава нападачу да позове уграђене функције попут *call()*, *send()* или *delegateCall()* и омогућити пренос Етера на друге неовлашћене адресе [156] [157] [158].

Позив без гаса – Коришћење паметних уговора на Етереум мрежи потребно је платити гасом (енгл. *gas*). Гас представља износ који покрива трошкове извршавања паметног уговора од стране рудара. Гас се плаћа у Етеру. Уколико се кроз позив функција паметног уговора не проследи довољна количина гаса да се изврши позив, трансакција ће бити поништена, али ће утрошен гас бити наплаћен [158] [159] [160].

Поремећаји изузетка – У *Solidity* програмском језику постоје два начина на који ће се обрадити изузетак, у зависности од тога како један паметни уговор позива други паметни уговор. У једном случају извршавање се прекида и сви ефекти се поништавају уз потрошњу свог гаса и враћа вредност 0, док се у другом случају, уколико у ланцу позива постоји барем једна *call()* функција, изузетак пропагира кроз све уговоре, докле год се не деси позив *call()* функције, који ће потрошити гас и вратити *false*

вредност. На жалост, повратна вредност ових позива се често не проверава [156] [157] [159].

Конверзија типа – Конверзија типа се односи на проблем да у тренутку извршавања не долази до изузетка у случају да паметни уговор који позива функцију у неком другом уговору, није и прималац одговора, односно одговор може бити послат неком трећем паметном уговору. Ово доводи до три могућа исхода и то:

- у случају да не постоји уговор на адреси на коју је прослеђен, позив се завршава без извршавања кода,
- у случају да постоји уговор на прослеђеној адреси, али не постоји функција биће извршена *fallback()* функција тог уговора и
- у случају да постоје и уговор на прослеђеној адреси и функција, та функција ће бити извршена [156] [158].

Поновни улазак – У већини случајева, очекивано понашање када се позове нерекурзивна функција је да она не може бити поново позвана пре него што се заврши њеног извршавања. Међутим, *fallback* механизам у паметним уговорима може се искористити за поновно позивање исте функције, односно до појаве рекурзије и извршавања функције докле год се не потроши гас. Ова рањивост се често означава као критична [156] [157] [161].

Чување тајни – варијабле инстанце, односно поља, у паметном уговору могу имати јаван (енгл. *public*), приватан (енгл. *private*) или интерни (енгл. *internal*) модификатор приступа. Поља која су означена као јавна, могу бити видљива другим корисницима и паметним уговорима, али поља која су означена као приватна, требало би да буду скривена. Међутим, да би се поставиле вредности приватних поља потребно је упутити трансакцију паметном уговору, а трансакције на блокчејн мрежи су јавне, те је из њих могуће сазнати вредност приватних поља. Чување ових вредности приватним, подразумевало би примену криптографских техника [156] [162] [163].

Непромењиве грешке – Паметни уговори који су постављени на блокчејн мрежу су непромењиви. То значи да уколико је паметни уговор успешно креиран да обавља одређену функцију, онда се може очекивати да ће се у тренутку извршавања понашати у складу са том функцијом. Међутим, у случају да паметни уговор има грешку, не постоји начин да се тај паметни уговор измени. Стога је неопходно планирати механизме за „искључивање“ и „мењање“ паметних уговора. Поред грешака у коду у непромењиве грешке спадају и оне када се погрешни подаци уписују или читају из трајне меморије, јер се та грешка реплицира на све чворове у мрежи [156] [158] [164].

Етер изгубљен у трансакцијама – Једна од идеја водиља током настанка БТ била је да трансакције не могу бити поништене. Стога је могуће да се грешком Етер проследи на неку од адреса које више нико не контролише, односно не постоји одговарајући приватни кључ [156] [158].

Лимитирана величина стека – Лимитирана величина стека представља проблем који је решен 2016. године, а заснивао се на томе да је сваки позив функције додаван на стек (енгл. *stack*). Максимална величина стека била је постављена на 1024. То је злонамерном кориснику омогућивало да позива функције док се не примакне том броју, а потом позове функцију циљаног паметног уговора. У том случају десиле се

изузетак, који уколико није адекватно обрађен, може имати значајне последице по исход трансакција [156] [157] [159] [160].

Непредвиђено стање – Стање паметног уговора зависи од вредности његових варијабли инстанци. Стање у којем се налазе те вредности могу бити различите у тренутку када се позове функција паметног уговора и у тренутку када се трансакција стварно изврши. Други паметни уговори или друге трансакције могу утицати на промену стања паметног уговора [156] [157].

Изазивање случајности – Неки паметни уговори своје функционисање заснивају на псеудо-случајним вредностима, и тада се за те вредности обично узимају хеш вредности или временска одредница креирања неког блока у будућности. Постоји могућност да злонамерни рудар може покушати да манипулише овим вредностима и да оствари корист на основу тих вредности [156] [157].

Временска ограничења – Неретко паметни уговори користе временску одредницу како би проверили да ли је одређени услов испуњен или не. Временска одредница је заједничка за све чворове у мрежи, али чвор који реши *nonce* може утицати на ту временску одредницу те себе довести у предност приликом извршавања неког паметног уговора [156] [157].

Неки од наведених узрока рањивости су резултат теоријских истраживања, али неке су и биле искоришћене за нападе. Један од најпознатијих напада на паметни уговор био такозвани *The DAO* напад.

Десет месеци након појављивања Етереум мреже, група програмера представила је *The DAO*. *The DAO* је представљао децентрализовану аутономну организацију која би требало да представља инвестициони фонд за нове пројекте. За уложени Етер, улагачи би добијали токене током иницијалне понуде новчаница (енгл. *Initial Coin Offer – ICO*), на основу којих би добијали право гласа у избору пројеката које ће *The DAO* финансирати. Прикупљање улога почело је 28. априла 2016. године и предвиђено је да траје 28 дана, током ког периода улагачи су могли депоновати средства. *The DAO* је током периода прикупљања средстава био успешнији него што је очекивано тако да је до краја маја прикупљено Етера у вредности више од \$168 милиона [165]. То је значило да је у *The DAO* уложено 14% Етера који је тада постојао.

Нападач је искористио лошу имплементацију *The DAO* паметног уговора, односно поновни улазак и непромењиве грешке [156]. Нападач је креирао нови паметни уговор, по узору на *The DAO* и искористио грешку да је могуће затражити исплату више пута, пре него што се баланс ажурира [166]. Нападач је успео да у свој паметни уговор пренесе више од трећине Етера депонованог у *The DAO*, вредности \$60 милиона [134]. Битно је напоменути да је нападач преузео „само“ овај износ својом вољом пошто у том тренутку није било начина да се напад прекине, него је то учинио нападач. Када је постало јасно шта се дешава, појавили су се и други паметни уговори који су почели да преузимају Етер из *The DAO* паметног уговора, али са другачијим мотивом, односно, желели су да заштите преостали Етер и да га врате правим власницима.

Постојале су три алтернативе како се могло односити према овом догађају:

- не предузимати ништа, прихватити шта се догодило, у ком случају би инвеститори изгубили своје улоге, а нападач би се обогатио,

- блокирати паметни уговор на којем се сада налазио Етер, што је још једна могућност у којој инвеститори губе свој улог, али се нападач не богати и
- да се „врати време“ уз специјалну сагласност рудара, те да се *The DAO* измени тако да дозволи само да улагачи могу да одустану од својих улога и да им Етер буде враћен [165].

Изабрана је трећа алтернатива што је довело до гранања (енгл. *fork*) у Етереум мрежи. Већина рудара се сложила са овом алтернативом и наставила да рудари за измењеним програмским кодом, док је део сматрао да се оваквим интервенцијама нарушава непромењивост, као једна од основних карактеристика БТ. Поред Етереум блокчејна, наставио је да постоји и Етереум Класик (енгл. *Ethereum Classic*) блокчејн.

### 2.3 Блокчејн технологија у е-управи и катастру непокретности

Током првих неколико година БТ се углавном користила за креирање нових крипто-валута, и то је праћено научним радовима из области финансијских технологија. Преглед литературе који је спроведен 2017. године показао је да је до тада објављено свега 67 радова и часописима и на конференцијама које су индексирани у *Web of Science*, *IEEE Xplore*, *AIS Electronic Library*, *ScienceDirect* и *SSRN*, а који су се бавили БТ и темама које нису везане за крипто-валуте. Од тих 67 радова, 28 су били из области рачунарских наука, 18 из области информационих система, 9 из области права, 6 из области финансија, 5 из области политичких наука и 3 рада нису категоризована [167]. У прегледу литературе из 2019. године, који је обухватио период од 2014. до 2018. године, идентификовао је 260 радова који су индексирани на *Scopus*-у и то 58 радова из области бизниса и индустрије, 32 рада из области управе, 32 рада из области *IoT*, 26 радова из области управљања подацима, 25 из области здравства, 24 рада из области приватности и безбедности, 16 радова из области провере интегритета, 15 из области финансија, 8 из области образовања, до 24 рада нису категоризована [168]. Примена БТ у е-управи била је тема прегледа литературе спроведеног 2017. године када је прегледом *Scopus*, *ScienceDirect* и *SpringerLink* индексних база пронађено свега 21 рад, те је закључено да је у том тренутку, ова област била тек у повоју [169].

Ипак, у годинама које су следиле, могућност примене БТ у е-управи је привлачила све више пажње. У [3] децентрализација, поверење и безбедност се наводе као основни разлози за примену БТ у области е-управе. Омогућавање паметне управе применом БТ, као последице отворености, безбедности и дистрибуиране природе је препозната у [170], уз тврдњу да БТ испуњава основне захтеве који се постављају пред информациону инфраструктуру и да има велики потенцијал примене у јавном сектору. У [171] предложен је оквир за централизован *P2P* систем е-управе који ће обезбедити безбедност и приватност информација и повећати поверење у јавни сектор. Безбедност и приватност обезбеђена су кроз криптографију, непромењивост, децентрализованост и контроли коју нуде БТ. Поред тога ублажавају се проблеми који се везују за централизоване системе попут јединствене тачке отказа, *cyber-attack* и *denial-of-service*. Интегритет података, непромењивост, транспарентност, заједничка

логику, безбедност трансакција и поверење су препознате као карактеристике БТ које би биле корисне у примени у е-управи у [172]. У [173] БТ је препозната као технологија која може променити парадигму на основу које верујемо у податке, односно, уместо поверења у треће стране, попут државне агенције, може се имати поверење у БТ, односно криптографски доказ. Стога се у [173] предлаже примена БТ у е-управи у Кини, а основу предности које БТ доноси, односно транспарентности, доступности и дељења информација. БТ је предложена као решење проблема централизације и поверења у људски фактор у е-управи у [174] и предлаже се *DAO* систем који ће бити потпуно децентрализован и имун на напада које долазе и из вана и из унутар система. Преглед предности примене БТ у е-управи које су препознате у наведеним радовима приказан је у табели 2-14.

Табела 2-14. Преглед предности примене БТ у е-управи

| Рад                             | Предност         |
|---------------------------------|------------------|
| [3], [170], [171], [172], [174] | Децентрализација |
| [3], [172]                      | Поверење         |
| [3], [170], [172]               | Безбедност       |
| [170], [172], [173]             | Транспарентност  |
| [173]                           | Доступност       |

Када се говори о могућности примене БТ у КН, ова примена је, уз примену у пољу регистрације возила, предложена у [9]. У [10], БТ је препозната као решење за проблеме који дуго постоје у КН. Потенцијал БТ, као иновативне технологије, која може да пружи значајне могућности у различитим пољима е-управе, попут размене докумената, академских сертификата, управљање идентитетима и КН је препозната у [11]. У [12] БТ је препозната као технологија које може довести до значајних промена у начину како се бележе подаци о власништву над некретнинама, као и у начину како се спроводе трансакције КН. Децентрализација, непромењивост, транспарентност и паметни уговори су препознати као предности које БТ може донети у области КН у [175] [176]. Примена блокчејн архитектуре у различитим доменима, попут КН, али и управљања интелектуалним правима и ланцима снабдевања је предложена у [13] као начин да се пренебрегну посредници и треће стране од поверења. БТ је предложена за примену чак и у оним КН који користе савремена ИКТ и немају проблема са недостатком поверења, јер је препозната као технологија која ће довести до скраћивања времена трајања административних процедура [14]. Примена БТ за архивирање листова непокретности и тапија, у процесу трансакција и за валидацију и издавања листова непокретности је препозната као могућност у [15]. У [16] БТ је предложена као начин за решавање проблема везаних за документовања доказа о власништву над непокретностима. Трансакције ”без поверења” (енгл. *trustless*), трајност, транспарентност и непромењивост су препознате као четири главне предности које примена БТ може донети КН у [177].

Поред управо приказаних уопштених предности, детаљније могућности примене БТ у КН су приказане у [171] где су Етереум и *DPoS* МК предложени за извршавање паметних уговора који би представљали симулацију стварних уговора,



попут оних који се користе у КН. У [178] БТ је предложена као база података које ће се повезивати на екстерне базе у којима ће се налазити правни и просторни подаци и на тај начин омогућити ревизија свих промена које су се десиле над оригиналним документима. На примеру Индије [179], БТ је предложен за регистрацију трансакција како би се решили постојећи проблеми. У овом предлогу, све активности заинтересованих страна, што подразумева, продавца, купца, банку, КН и пореску агенцију се региструју на блокчејну и те активности се не односе само на пренос власништва између продавца и купца, већ и на хипотеку, и на регистрацију преноса власништва у пореској агенцији. На блокчејну би се чували и подаци о власништву, заједно са хеш вредностима тих података. *Transparency International* износи податак да се у чак 20% случајева преноса власништва дешавају злоупотребе и да се то може смањити применом БТ. Предлаже се примена паметних уговора како би се чували сви неопходни подаци везани за трансакције у КН, укључујући и документе [180]. У случају преноса власништва над земљиштем које је било у власништву племена у Гани, предлаже се примена БТ како би се прикупила све неопходне сагласности, пре него што дође до самог преноса власништва [181]. Очување анонимности страна које учествују у купопродајном поступку применом паметних уговора је предложено у [182] како би се сачувале приватне информације о локацији непокретности, односно како би та информације постале доступне тек када се испуне неопходни предуслови. Једна од идеја била је и да се користе тзв. „обојени токени“ на Биткоин платформи, који би представљали непокретности, како би се искористили предности које пружају БТ [183]. У [184] предложена је примена БТ у КН за следеће потребе: валидација информација које се налазе у листу непокретности, валидација трансакција, оверу процеса регистрације земљишта и дељење дигиталних отисака информација које се налазе у КН. Предлог за примену БТ за просторне податке је предложен у [185], тако што би се површина Земље поделила у квадрате димензија 3x3m и где би сваки квадрат имао јединствени идентификатор и представљао основну јединицу у трансакцијама КН. У [186] закључено је да је могуће чувати податке КН у паралелним блокчејн мрежама. Ова могућност је посебно интересантна, јер се сматра да блокчејн није погодан за чување великих количина података, попут просторних података.

Конкретнија примена паметних уговора у КН за управљање трансакцијама је предложена у [187], где би се паметни уговори користили за валидацију учесника у процесу и дељење података између њих, док би потврду дељених података вршио катастарски инспектор. У случају Турске, БТ је предложен за управљање трансакцијама како би се задовољиле потребе великог броја заинтересованих страна [188] и то не само за регистрацију преноса власништва, већ и примена паметних уговора како би се извршио пренос новца између купца/банке и продавца. Још један пример из Турске је примена БТ како би се очувала валидност података кроз решавање проблема везаних за границе непокретности, где је потребно да све заинтересоване стране дођу до консензуса и сагласе се око новог стања [189]. У [190] аутори предлажу примену БТ за управљање трансакцијама у КН, конкретно предлаже се примена приватног блокчејна за управљање трансакцијама и за чување свих релевантних докумената. Поред тога, трансакције које се дешавају на блокчејну могу бити почетне тачке за спровођење процеса који следе након регистрације трансакције у КН, попут

плаћања пореских обавеза. Током процеса дигитализације КН у Бангладешу, предложена је примена БТ. Предлог је подразумевао да се старе и нове трансакције иницијално региструју у јавном блокчејну, од стране државних службеника, да би се потом прешло на примену хибридног блокчејна [191]. Преглед могућности конкретних поља примене БТ у КН, које су препознате у наведеним радовима приказан је у табели 2-15.

Табела 2-15. Преглед могућности конкретних поља примене БТ у КН

| Рад                                      | Поље примене                                    |
|--|---|
| [178], [179], [186], [180], [190]        | Чување хеш вредности докумената КН              |
| [179], [180], [181], [184], [187], [188] | Чување документа КН                             |
| [182], [184], [189]                      | Регистрација трансакција                        |
| [183]                                    | Валидација информација                          |
| [185]                                    | Употреба токена за репрезентацију непокретности |
| [188]                                    | Чување просторних података                      |
|  | Управљање плаћањима                             |

Поред поменутих предлога из часописа објављених на научним конференцијама и у научним часописима, постоји и неколико пилот пројеката на тему примене БТ у КН. Вероватно најпознатији је партнерство између *Lantmäteriet* (КН у Шведској) и неколико приватних компанија. Циљеви овог пројекта су да се елиминише потреба за архивирањем велике количине докумената, да се унапреди прилагодљивост система променама из окружења, да се повећа безбедност система, да се скрати време потребно за регистрацију трансакција, да се елиминише потреба за чувањем велике количине физичких документа, да се елиминише редундантност података и да се елиминише могућност двоструког трошења и крађе непокретности. У Шведској, уобичајен процес преноса власништва над непокретношћу се састоји од 34 корака и то је последица великог броја учесника у овом процесу, попут од продавца, купца, запосленог у агенцији за продају непокретности, КН, банке и регистра хипотека, тако да читав процес може да траје и до 6 месеци. Предложеном применом БТ трајање процеса је скраћено на два месеца. У овом решењу БТ се користи како би се вршила валидација докумената, управљало трансакцијом, потписивање докумената и чување хеш вредности потписаних докумената [23].

Једна од компанија која је било укључена у пилот пројекат у Шведској, *Chromaway*, је била укључена и у сличан пројекат у Индији [135]. Пилот пројекат који је отпочео 2017. године, а који је развијао *Ubiquity*, за потребе бразилске државе *Rio Grande do Sul* предвиђао је употребу „обојених новчића“, као додатног слоја на Биткоин мрежи, који би се користили за репрезентацију непокретности, док би се *BitTorrent* или *Inter Planetary File System (IPFS)* користили за чување података [12]. БТ је предложена као решење и у пилот пројекту који је спроводио *Factom* у Хондурасу, како би се решили озбиљни проблеми који постоје у КН и онемогућило неовлашћено манипулисање подацима у било ком кораку током подношења докумената, прикупљања података и процеса бележења промена [192].

У већини презентованих радова, углавном се представљена уопштена компатибилност између проблема који постоје у савременим КН и могућностима које пружа БТ. Предлог ових компатибилности дат је у табели 2-14, док је преглед конкретније могућих поља примене дат у табели 2-15, али општи закључак је да су предлози дати у приказаним радовима углавном задржавали само на теоретском нивоу, и оно што је можда још важније, нису покрили све могуће случајеве употребе који постоје приликом регистрације трансакције једне непокретности, попут раније поменутог дељења власништва, преноса дела власништва, дељења или спајања непокретности, или ограничења над прометом некретнинама.

## 3. Паметни уговор

---

У поглављу 2.1.4 представљени су неки од проблема у КН заједно са узроцима који до тих проблема доводе. Имајући у виду основне карактеристике БТ представљене у поглављима 2.2.4 и 2.2.5, препознати су следећи проблеми који би могли бити ублажени применом БТ технологије и то:

- двоструко трошење у трансакцијама КН,
- неовлашћено манипулисање подацима и
- дуго време потребно за регистрацију трансакције.

Предложено решење ће бити у форми паметног уговора, у којем ће се користити токени за репрезентацију непокретности. Паметни уговор ће моћи да обради све потребне случајеве употребе, а не само најједноставнији пример, у којем један ентитет који је власник 100% непокретности преноси своја права у потпуности на други ентитет, што је до сада обично био једини случај који је разматран у истраживањима. Случајеви употребе који су препознати и који ће бити подржани су:

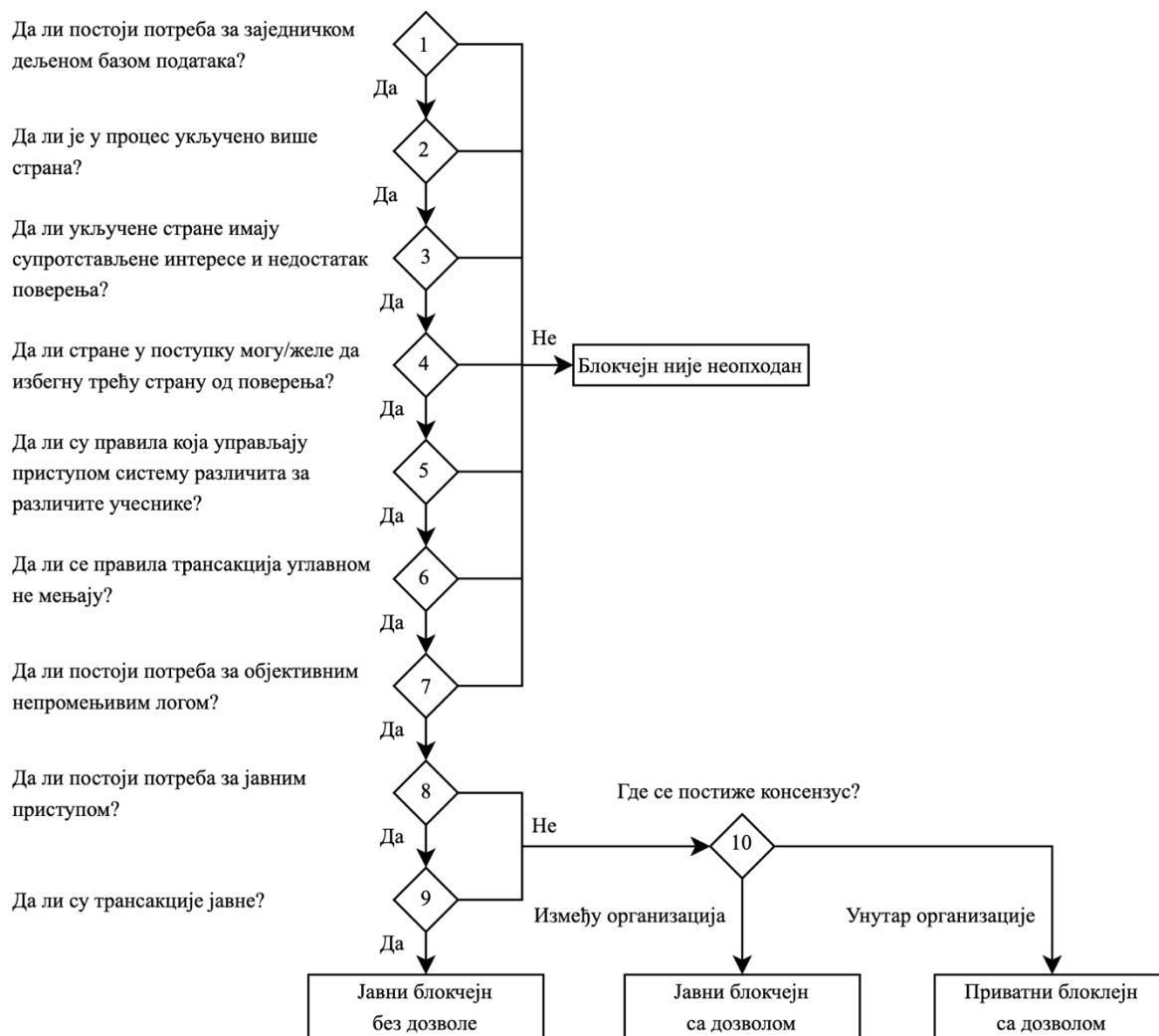
- I. Више ентитета може имати различит удео у власништву над једном непокретношћу;  
Релативно чест случај у КН је да више ентитета дели власништво над непокретношћу, било да се ради о особама који су у брачној заједници или у случају наслеђивања непокретности. Закон о основама својинскоправних односа утврђује да више ентитета има право сусвојине на неподељеној ствари када је део сваког од њих одређен сразмерно према целини (идеални део) [193].
- II. Власник ентитета може пренети мање од 100% свог удела;  
Пренос власништва у уделу мањем од 100% може бити случај у којем се власништво преноси између особа у брачној заједници, чланова породице или нпр. правних лица.
- III. Власнику ентитета може бити забрањено располагање имовином;  
Ентитету може бити забрањено располагање имовином у складу са законом који важи на некој територији. У случају Републике Србије, то би били Закон о одузимању имовине проистекле из кривичног дела („Сл. гласник РС“, бр. 32/2013, 94/2016 и 35/2019) [194] и Закон о ограничавању располагања имовином у циљу спречавања тероризма и ширења оружја за масовно уништење („Сл. гласник РС“, бр. 29/2015, 113/2017 и 41/2018) [195].
- IV. Пренос власништва може извршити ентитет који није власник непокретности;  
У случају наслеђивања или одузимања, пренос власништва више не може извршити власник непокретности, већ се пренос спроводи на основу пресуде/решења суда или нотара.
- V. Непокретност се може поделити на више нових непокретности;

Када непокретност представља нпр. земљиште, могуће је да ентитет одлучи да прода само један део земљишта. За разлику од претходно помињаног случаја у којем ентитети деле власништво над непокретношћу нпр. станом или кућом у идеалном делу, у овом случају обично се прибегава тополошкој подели земљишта на две нове јединице у којој би сваки од ентитета имао 100% власништво.

- VI. Више непокретности се може спојити у једну нову непокретност; Аналогно подели парцела, више тополошки суседних парцела се може спојити у једну нову парцелу.

### **3.1.1 Избор блокчејн платформе**

Иако је у поглављу 2.3 дат преглед литературе из области могућности примене БТ у е-управи и КН, применљивост БТ у области КН може бити тестирано и пратећи десет корака предложених у [196]. Од предложених 10 корака, првих седам се односи на то да ли је БТ добар избор за конкретну примену, док се завршна три односе на избор платформе. Иако је на слици 3-1 наведено да позитиван одговор на првих седам питања оправдава примену БТ, аутори сматрају да је и пет позитивних одговора задовољава услов оправданости примене БТ. Десет корака за проверу применљивости и избор БТ платформе приказани су на слици 3-1.



Слика 3-1. Десет корака за проверу примењивости и избор БТ платформе

У случају могућности примене БТ у КН, одговори на постављања питања могли би бити:

1. Да ли постоји потреба за заједничком дељеном базом података?  
Као што је помињано у поглављу 2.1, у Закону о државном премеру и катастру [52] Републике Србије КН је дефинисан као „основни јавни регистар о непокретности и правима над њима“, уз *Cadastre 2014* смернице описане у поглављу 2.1.1, јасно је да КН има потребу за заједничком дељеном базом како би подаци били јавни и како би се у њој налазили подаци који би пружали пуну слику о правима и ограничењима над непокретностима. Стога је одговор на ово питање ДА.
2. Да ли је у процес укључено више страна?  
На примеру Србије, у најједноставнијем случају, процес преноса власништва укључује барем четири стране, продавца, купца, нотара и КН. У неким случајевима можемо имати и више продаваца и више купаца, неке трансакције могу се спроводити по налогу суда, а постоје и многе друге

заинтересоване стране попут банака или пореске агенције. Стога је одговор на ово питање ДА.

3. Да ли укључене стране имају супротстављене интересе и недостатак поверења?

Пример купопродаје некретнине би требало да буде ситуација у којој две стране имају заједнички интерес, једна да непокретност прода, а друга да непокретност купи, међутим у реалности и поред заједничког интереса, између учесника у процесу постоји недостатак поверења. Управо то је разлог постојања трећих страна од поверења. Стога је одговор на ово питање ДА.

4. Да ли стране у поступку могу/желе да избегну трећу страну од поверења?  
У поглављу 2.1.4 представљени су неки од проблема у КН и истакнуто је да је један од проблема могућност неовлашћене манипулације подацима, што је посебно проблематично у неразвијеним и земљама у развоју. Податак изнет у поглављу 2.3 да према *Transparency International* у чак 20% случајева преноса власништва дешавају злоупотребе [180], указује на вероватно оправдану сумњу ка трећим странама од поверења. Стога је одговор на ово питање ДА.

5. Да ли су правила која управљају приступом систему различита за различите учеснике?

Иако је КН јавни регистар, различите заинтересоване стране имају различита права над системом. Измене у КН спроводи само КН, на основу поднетих докумената, док друге заинтересоване стране имају само могућност увида у податке. Поред тога, и ниво дозвољеног увида у податке може бити различит, нпр. шта од података може да види свако правно или физичко лице, шта нотар, шта банка, а шта пореска агенција. Стога је одговор на ово питање ДА.

6. Да ли се правила трансакција углавном не мењају?

Правила која важе у КН су обично дефинисана различитим правним актима, најчешће законима, те као таква нису подложна честим променама. Стога је одговор на ово питање ДА.

7. Да ли постоји потреба за објективним непромењивим логом?

У *LADM* дефинисано је да сва додавања и брисања из базе података морају имати временску одредницу, како би се стање базе могло реконструисати на стање у каквом је била у било ком тренутку у времену [67]. Стога је одговор на ово питање ДА.

8. Да ли постоји потреба за јавним приступом?

Попут одговора на питање 1., КН представља јавни регистар. Стога је одговор на ово питање ДА.

9. Да ли су трансакције јавне?

Како КН представља јавни регистар, у било ком тренутку у времену може се видети да ли је спроведена нека трансакција и да ли је дошло нпр. до промена власнишвом над неком непокретношћу. Стога је одговор на ово питање ДА.

## 10. Где се постиже консензус?

Трансакције се региструју у КН.

На основу одговора на 10 питања, а пратећи десет корака, предложена је примена јавног блокчејна без дозволе (енгл. *public permissionless blockchain*). Термин јавни блокчејн без дозволе, односи се на још једну поделу која постоји у БТ по којој се блокчејн мреже могу поделити на:

- јавни блокчејн без дозволе,
- конзорцијум / хибридни / јавни блокчејн са дозволом (енгл. *consortium / hybrid / public permissioned blockchain*) и
- приватни блокчејн са дозволом (енгл. *private permissioned blockchain*) [132].

У јавном блокчејну без дозволе, све трансакције су јавне и свако ко жели може се прикључити мрежи и учествовати у потврђивању трансакција. У конзорцијум / хибридном / јавном блокчејну са дозволом, све трансакције су јавне, али потврђивање трансакција обично ради посебно изабрана група чворова. У приватном блокчејну са дозволом, трансакције су приватне и потврђене су само од стране раније изабране групе чворова.

У [131] изабране су следеће репрезентативне платформе за извршавање паметних уговора:

- Етереум – Тјуринг потпун, општа намена, без дозволе,
- *Fabric* – Тјуринг потпун, општа намена, приватни са дозволом,
- *Corda* – Тјуринг непотпун, примена у криптовалутама, приватни са дозволом,
- *Stellar* – Тјуринг непотпун, примена у криптовалутама, конзорцијум / хибридни / јавни са дозволом,
- *Rootstock* – Тјуринг потпун, примена у криптовалутама, без дозволе,
- *EOS* – Тјуринг потпун, општа намена, без дозволе.

Од шест презентованих платформи, само три омогућавају писање Тјуринг потпуних паметних уговора (према [197], 2019. године, 35,3% свих паметних уговора на Етереум блокчејну су користили *for* петље, *while* петље и рекурзије) и била су без дозволе, а од та три, Етереум и *EOS* су опште намене.

На основу 71 Булове и 4 не-Булове особине БТ, које су идентификоване током иницијалне фазе истраживања, у [198] предложена је платформа за избор одговарајуће блокчејн платформе. Пратећи предложену процедуру уз захтеве за платформа буде јавна без дозволе, да подржава паметне уговоре и да буде Тјуринг потпуна, предложено је наредних пет блокчејн платформи:

- Етереум,
- *NEO* – општа намена,
- *QTUM* – општа намена,
- *Cosmos Network* – платформа за интероперабилност између блокчејн мрежа и
- *Wanchain* – платформа за интероперабилност између блокчејн мрежа.

Имајући у виду да је Етереум блокчејн једина заједничка платформа предложена



и у [131] и у [198], као и да је Етереум блокчејн:

- развијен са идејом креирања дистрибуираних апликација заснованих на паметним уговорима и представља прву блокчејн мрежу која је подржавала паметне уговоре, те самим тим показује највиши ниво технолошке зрелости
- подржава *Solidity*, објектно-оријентисан језик високог нивоа, који се континуирано развија и
- представља другу највећу блокчејн мрежу по вредности, што у многоме отежава спровођење неких од напада наведених у поглављу 2.2.6,

Етереум блокчејн је изабран као платформа на којој ће бити имплементирана компонента за управљање трансакцијама КН заснована на БТ.

*Solidity* је уграђени (енгл. *native*) програмски језик на Етереум платформи, намењен за писање паметних уговора. Након компајлирања, програм написан у *Solidity* програмском језику се извршава на Етереум виртуелној машини (енгл. *Ethereum Virtual Machine*). *Solidity* је заснован на *ECMAScript* (енгл. *European Computer Manufacturers Association Script*), али је статички типизиран, подржава наслеђивање, библиотеке и омогућава корисницима да креирају комплексне типове података. Од када се појавио 2015. године, *Solidity* се континуирано развија и до краја 2022. године, објављено је осам главних верзија. Концепти који су доступни у већини савремених програмских језика доступни су и у *Solidity*-ју, те овај језик има значајну подршку блокчејн заједнице.

### 3.1.2 *Ethereum Request for Comments* стандарди

У Етереум блокчејн мрежи, ажурирања и одлуке се доносе на основу *Ethereum Improvement Proposal (EIP)*. *EIP* представља стандард за специфицирање потенцијалних нових могућности и процеса на Етереум мрежи. *EIP* су подељени у неколико типова и то:

- *Standard track* – користи се за промене које утичу на готово све сегменте Етереум мреже, попут промене мрежног протокола. Крајем 2022. године постојало је 560 *EIP*-а овог типа.
- *Core* – унапређења која изискују гранање у механизму консензуса. Крајем 2022. године постојало је 190 *EIP*-а овог типа.
- *Networking* – унапређења везана за примену *devp2p Wire Protocol*, *RLPx Discovery Protocol* и *RLPx TCP Transport Protocol*. Крајем 2022. године постојало је 13 *EIP*-а овог типа.
- *Interface* – унапређења везана за *API/RPC (Application programming interface/remote procedure call)*, стандарди везани за именовање метода, и за *ABI (Application binary interface)* паметних уговора. Крајем 2022. године постојало је 43 *EIP*-а овог типа.
- *Ethereum Request for Comments (ERC)* – унапређења везана за стандарде и конвенције на нивоу апликација, попут стандарда за токене, регистре назива, *Uniform resource identifier (URI)* шема, формата библиотека и пакета. Крајем 2022. године постојало је 260 *EIP*-а овог типа од чега је 37

било у статусу *final*, док су преостали били у статусима *last call*, *review*, *draft*, *stagnant* и *withdrawn*.

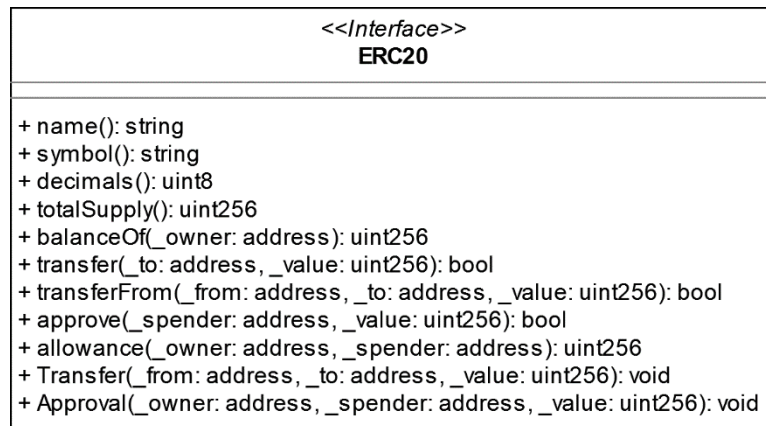
- *Meta* – унапређења која се односе на процесе који окружују Етереум мрежу, али за разлику од *Standard track*, не односе се на сам Етереум протокол. Крајем 2022. године постојало је 18 *EIP*-а овог типа.
- *Informational* – не представљају предлоге унапређења, већ пружају упутства, смернице или информације Етереум заједници. Крајем 2022 године постојало је 6 *EIP*-а овог типа [199].

Међу 37 *ERC* стандарда који су у статусу *final*, 7 представља стандарде везане за токене и то:

- *ERC-20 Token Standard* – дефинише стандардни интерфејс који омогућава креирање нових токена, а који ће бити коришћени од стране других апликација,
- *ERC-721 Non-Fungible Token Standard* – дефинише стандардни интерфејс за креирање јединствених (енгл. *non-fungible*) токена,
- *ERC-777 Token Standard* – дефинише унапређење *ERC-20 Token Standard*-а,
- *ERC-1155 Multi Token Standard* – дефинише стандардни интерфејс за паметне уговоре коју управљају са више различитих токена,
- *ERC-1363 Payable Token* – дефинише унапређење *ERC-20 Token Standard*-а,
- *ERC-3525 Semi-Fungible Token* – дефинише стандардни интерфејс за креирање токена који ће имати део особина описаних у *ERC-20*, и део особина описаних у *ERC-721*,
- *ERC-4626 Tokenized Vaults* – дефинише унапређење *ERC-20 Token Standard*-а како би се обезбедила подршка за примену *tokenized Vaults*.

У приказаној листи може се видети да на Етереум мрежи постоје само два основна стандарда за креирање токена и то *ERC-20* и *ERC-721*, док преосталих пет представљају унапређења ових стандарда. *ERC-20* и *ERC-721* су дефинисани у форми интерфејса писаних у *Solidity* програмском језику. У оба случаја дефинисан је скуп *API*-ја који треба да омогуће да токене креиране у складу са овим стандардима могу да користе различите апликације, новчаници за криптовалуте и децентрализоване мењачнице. Имплементирајући било који од ова два стандарда, биће имплементирана и функционалност која ће омогућити да се изврши пренос власништва над токенима од стране власника или неког другог овлашћеног ентитета [200] [201]. Основна разлика у намени између ова два стандарда је у томе што је *ERC-20* намењен за креирање и манипулацију токена који нису јединствени (енгл. *fungible*), док је *ERC-721* намењен за примену са јединственим токенима. Токени који нису јединствени се могу користити за нпр. креирање нових криптовалута, да би се репрезентовале фиат валуте из стварног света или било који ентитет који није јединствен. Са друге стране, јединствени токени се могу користити за репрезентовање јединствених ентитета, попут јединствених ствари из реалног света, виртуелних колекционарских ствари, али и тзв. „активе са негативном вредношћу“ попут дугова или зајмова. *UML* дијаграм класа

који представља *ERC-20* стандард приказана је на слици 3-1, док је опис дефинисаних функција дат је у наставку.



Слика 3-2. UML дијаграм класа за *ERC-20*

Функција *name()* – враћа *String* тип података који представља назив креираног токена. Дефинисање назива није обавезно, те иако може унапредити употребљивост апликације, други интерфејси и паметни уговори не могу очекивати да ће вредност назива токена постојати у сваком случају имплементације *ERC-20*.

Функција *symbol()* – враћа *String* тип податка који представља симбол креираног токена. Као што је био случај и са називом, дефинисање симбола није обавезно, те други интерфејси и паметни уговори не могу очекивати да ће вредност симбола токена постојати у свакој случају имплементације *ERC-20*.

Функција *decimals()* – враћа тип податка *uint8*, односно „не негативни“ осмобитни број, који дефинише број децимала које токен користи. Како *EVM*, на којој се извршавају паметни уговори, не препознаје децималне вредности, повратна вредност позива ове функције у ствари представља број са којим је потребно поделити износ токена, како би се добила исправна репрезентација за корисника. Уједно ово је још једна вредност која није обавезна, те други интерфејси и паметни уговори не могу очекивати да ће вредност симбола токена постојати у свакој случају имплементације *ERC-20*.

Функција *totalSupply()* – враћа тип податка *uint256*, који представља укупну количину доступних токена.

Функција *balanceOf(\_owner: address): uint256* – за прослеђени аргумент типа *address*, који представља тип податка величине 20 бајта, посебно креиран како би се у њега смештала Етереум адреса [202], враћа тип податка *uint256*, који представља информацију о количини токена којих је *\_owner* адреса власник.

Функција *transfer(\_to: address, \_value: uint256): bool* – са адресе која позива функцију, на адресу која је прослеђена као *\_to* аргумент, преноси се количина токена прослеђена као *\_value* аргумент. Функција враћа *bool* вредност која се односи на успешност извршења трансакције. Извршавање функције мора изазвати (енгл. *trigger*) *Transfer()* догађај (енгл. *event*), и мора изазвати (енгл. *throw*) изузетак у случају да се

на адреси са које је позвана функција, не налази довољна количина токена. Пренос 0 токена се мора сматрати као редовна трансакција и мора изазвати *Transfer()* догађај.

Функција *transferFrom(\_from: address, \_to: address, \_value: uint256): bool* – врши пренос са адресе прослеђене као аргумент *\_from*, на адресу прослеђену као аргумент *\_to*, износ токена прослеђен као аргумент *\_value*. Функција враћа *bool* вредност која се односи на успешност извршења трансакције. Намена функције је да омогући пренос токена од стране другог паметног уговора у име власника. Извршавање функције мора изазвати *Transfer()* догађај и изазвати изузетак у случају да *\_from* адреса није ауторизовала адреса за позивање функције за вршење преноса. Као и у претходном случају, пренос 0 токена се мора сматрати као редовна трансакција и мора изазвати *Transfer()* догађај.

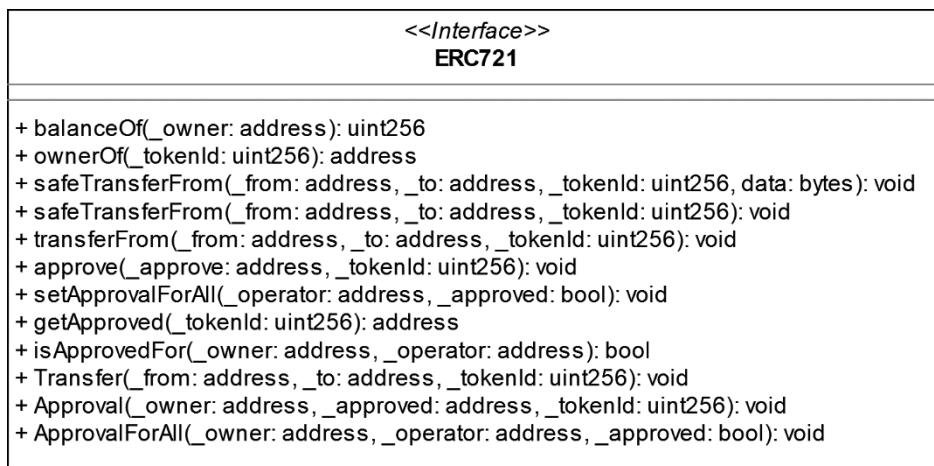
Функција *approve(\_spender: address, \_value: uint256): bool* – адреса која позива функцију даје одобрење адреси која је прослеђена као *\_spender* аргумент да изврши пренос токена до количине прослеђене као *\_value* аргумент. Функција враћа *bool* вредност која се односи на успешност извршења одобрења.

Функција *allowance(\_owner: address, \_spender: address): uint256* – враћа тип податка *uint256* који репрезентује величину дозвољене трансакције, са адресе прослеђене као *\_owner* аргумент, од стране адресе прослеђене као *\_spender* аргумент.

Догађај *Transfer(\_from: address, \_to: address, \_value: uint256)* – догађаји су апстракције Етереум протокола за логовања. У случају њиховог позива, прослеђени аргументи се чувају улогу трансакција који представља посебну структуру података на блокчејну. Ови логови су повезани са адресом паметног уговора и трајно се чувају у блокчејну. *Transfer()* је догађај који мора бити изазван у случају трансакције и који ће објавити да је са адресе која је прослеђена као *\_from* аргумент, на адресу која је прослеђена као *\_to* аргумент пренета количина токена која одговара прослеђеном *\_value* аргументу. Овај догађај би требало да буде изазван и у случају када се креирају токени и тада би у вредност *\_from* требало да буде *0x0*, што представља тзв. нула адреса. Нула адреса је специјална адреса која се користи како би се представило да се ради о креирању токена, док ће у случају слања токена на нула адресу токени нестати, односно биће уништени.

Догађај *Approval(\_owner: address, \_spender: address, \_value: uint256)* – мора бити изазван у случају успешног позива *approve()* функције, и објављује да је адресе која је прослеђена као *\_owner* аргумент, дозволила адреси која је прослеђена као *\_spender* аргумент, да располаже са количином токена која је прослеђена као *\_value* аргумент [200].

*UML* дијаграм класа која представља *ERC-721* стандард приказана је на слици 3-3, док је опис дефинисаних функција дат у наставку.



Слика 3-3. UML дијаграм класа за ERC-721

Функција *balanceOf(\_owner: address): uint256* – за адресу прослеђену као *\_owner* аргумент враћа *uint256* тип податка који представља број јединствених токена које поседује *\_owner* адреса. У случају да функција позове са аргументом који представља нула адресу, у функцији ће се десити изузетак.

Функција *ownerOf(\_tokenId: uint256): address* – за идентификатор токена који је прослеђен као *\_tokenId* аргумент типа *uint256*, функција враћа тип податка *address* који представља адресу власника токена.

Функција *safeTransferFrom(\_from: address, \_to: address, \_tokenId: uint256, data: bytes): void* – са адресе тренутног власника, која је прослеђена као *\_from* аргумент, на адресу која је прослеђена као *\_to* аргумент, преноси се власништво над токеном чији идентификатор је прослеђен као *\_tokenId* аргумент. Функција прихвата и додатних параметар типа *bytes* који нема предефинисан формат, а може се користити са чување додатних информација. Функција нема повратни податак. У функцији ће се десити изузетак уколико адреса која позива функцију није власник токена, уколико адреса није одобрена за пренос власништва над конкретним токеном, уколико *\_tokenId* није валидан идентификатор, односно не постоји токен са тим идентификатором, уколико *\_to* аргумент није исправна адреса, односно представља адресу паметног уговора или уколико је као *\_to* аргумент прослеђена нула адреса.

Функција *safeTransfer(\_from: address, \_to: address, \_tokenId: uint256): void* – функција ради као и у претходном случају са разликом да функција нема улазни параметар *data*, а вредност *data* се поставља на празан стринг (’’’’).

Функција *transferFrom(\_from: address, \_to: address, \_tokenId: uint256): void* – са адресе тренутног власника, која је прослеђена као *\_from* аргумент, на адресу која је прослеђена као *\_to* аргумент, преноси се власништво над токеном чији идентификатор је прослеђен као *\_tokenId* аргумент. У овом случају не очекује се да функција провери да ли је адреса прослеђена као *\_to* аргумент исправна, већ то мора учинити клијент који позива функцију. У функцији ће се десити изузетак уколико адреса која позива функцију није власник токена, уколико није одобрена за пренос власништва над конкретним токеном и уколико *\_tokenId* није валидан идентификатор, односно не постоји токен са тим идентификатором.

Функција *approve(\_approved: address, \_tokenId: uint256): void* – адреса која позива функцију даје одобрење адреси која је прослеђена као *\_approved* аргумент да управља токеном чији идентификатор је прослеђен као *\_tokenId* аргумент. Прослеђивање нула адресе као *\_approved* параметра значи да нема одобрених адреса. У функцији ће се десити изузетак уколико адреса која позива функцију није власник токена или уколико није одобрена од стране адресе власника за управљање токеном.

Функција *setApprovalForAll(\_operator: address, \_approved bool): void* – додељује се или одузима право у зависности од вредности прослеђеног *\_approved* аргумента, да управља са свим токенима који припадају адреси која је позвала функцију. Функција мора изазвати *ApproveForAll()* догађај, и мора омогућити да један власник може дати дозволу да више адреса управља са његовим токенима.

Функција *getApproved(\_tokenId: uint256): address* – враћа *address* тип податка који представља адресу која је одобрена за пренос власништва над токеном чији идентификатор је прослеђен као *\_tokenId* аргумент у позиву функције. У случају да нема одобрене адресе, позив функције враћа нула адресу.

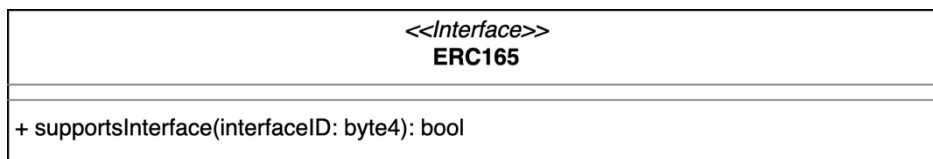
Функција *isApprovedForAll(\_owner: address, \_operator: address): bool* – враћа тип података *bool* у зависности од тога да ли је адреса која је прослеђена као *\_operator* аргумент одобрена за пренос власништва над свим токенима адресе која је прослеђена као *\_owner* аргумент у позиву функције.

Догађај *Transfer(\_from: address, \_to: address, \_tokenId: uint256)* – догађај који мора бити изазван и случају трансакције и који ће објавити да је са адресе која је прослеђена као *\_from* аргумент, на адресу која је прослеђена као *\_to* аргумент, пренето власништво над токеном са идентификатором који је прослеђен у *\_tokenId* аргументу. Догађај се позива и у тренутку када се токен креира, што подразумева да је као *\_from* прослеђена нула адреса, као и случају када се токен уништава, односно да је као *\_to* прослеђена нула адреса. Изузетак је случај везан за креирање токена у тренутку када се креира и паметни уговор. Након било које трансакције, адреса која је одобрена за управљање токеном, уколико је постојала, се поставља на нула адресу.

Догађај *Approval(\_owner: address, \_approved: address, \_tokenId: uint256)* – мора бити изазван у случају успешног позива *approve()* функције, и који ће објавити да је са адресе која је прослеђена као *\_owner* аргумент, дозвољено да адреса која је прослеђена као *\_approved* аргумент, располаже токеном који има идентификатор прослеђен као *\_tokenId* аргумент.

Догађај *ApprovalForAll(\_owner: address, \_operator: address, \_approved: bool)* – мора бити изазван у случају позива *approveForAll()* функције, и објављује да је за адресу која је прослеђена као *\_owner* аргумент, адреса која је прослеђена као *\_operator* аргумент, одобрена да располаже свим токенима.

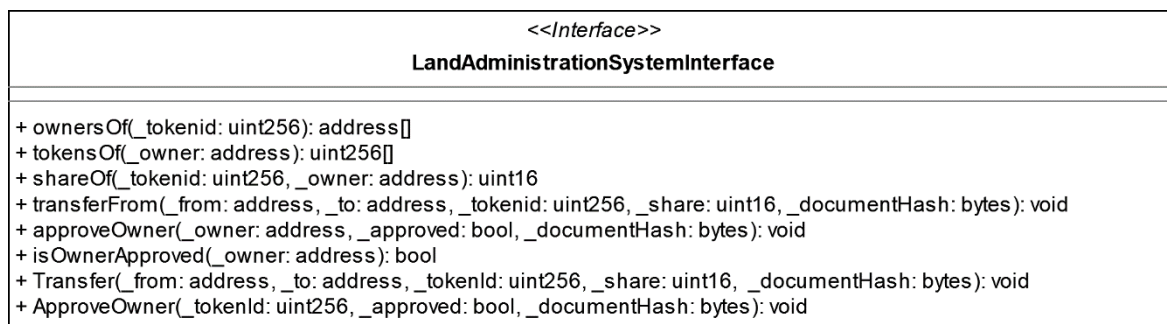
Да би паметни уговор био у складу са *ERC-721* мора се имплементирати *ERC-721* интерфејс, али и *ERC-165* интерфејс. *UML* дијаграм класа који представља *ERC-165* стандард приказана је на слици 3-4, док је опис дефинисане функције дат у наставку [201].



Слика 3-4. UML дијаграм класа за *ERC-165*

Функција *supportInterface(interfaceID: bytes4): bool* – за прослеђени аргумент који представља идентификатор интерфејса, а прослеђује се у формату *bytes4* односно као четири бајта, враћа *true* уколико паметни уговор имплементира прослеђени интерфејс и уколико идентификатор интерфејса није *'0xffffffff'*. Мотивација је да се дефинише једноставан начин како би се проверило да ли паметни уговор имплементира одређени интерфејс [203].

На основу описаних карактеристика *ERC-20* и *ERC-721*, јасно је да ни један од ова два стандарда не одговара потребама примене у КН. *ERC-20* је настао како би подржао креирање и управљање токенима који нису јединствени и који самим тим нису погодни за представљање јединствених објеката у КН, али је могуће имати у власништву мање од једног целог токена. *ERC-721* настао како би се подржало креирање и управљање јединственим токенима, али не подржава удео у власништву, што га не чини погодним за случајеве употребе I и II из поглавља 3. Стога је потребно дефинисати нови стандард који би омогућио дељено власништво над јединственим токенима. Стандард би се ослањао на постојеће *ERC-20* и *ERC-721* стандарде. UML дијаграм класа који представља предлог интерфејса који би задовољио предвиђене случајеве употребе приказан је на слици 3-5 под називом *LandAdministrationSystemInterface*, док је опис дефинисаних функција дат у наставку.



Слика 3-5. UML дијаграм класа за *LandAdministrationSystemInterface*

Функција *ownersOf(\_tokenId: uint256): address[]* – враћа власнике непокретности. Параметар *\_tokenId* представља идентификатор непокретности, док *address[]* представља низ адреса власника непокретности. Непокретности које су везане за нула адресу нису валидне, те упит за ове непокретности изазива да се у функцији деси изузетак.

Функција *tokensOf(\_owner: address): uint256[]* – враћа све непокретности одређеног власника. Параметар *\_owner* представља идентификатор власника, док *uint256[]* представља низ идентификатора непокретности. Непокретности које су

везане за нула адресу нису валидне, те упит за нула адресу изазива да се у функцији деси изузетак.

Функција *shareOf(\_tokenId: uint256, \_owner: address): uint16* – враћа удео у власништву које адреса има над одређеном непокретношћу. Параметар *\_tokenId* представља идентификатор непокретности, док параметар *\_owner* представља адресу власника. Податак о уделу у власништву се враћа као тип податка *uint16*. Непокретности које су везане за нула адресу нису валидне, те упит за нула адресу изазива да се у функцији деси изузетак.

Функција *transferFrom(\_from: address, \_to: address, \_tokenId: uint256, \_share: uint16, \_documentHash: bytes): void* – преноси власништво над непокретношћу. Параметар *\_owner* је власник непокретности, *\_to* је нови власник непокретности, *\_tokenId* је идентификатор непокретности, *\_share* је удео у власништву, а *\_documentHash* представља хеш вредност докумената на основу којих се спроводи трансакција. У функцији ће се десити изузетак уколико адреса која позива функцију није власник непокретности, уколико адреса није овлашћена да изврши пренос, уколико је удео прослеђен као *\_share* аргумент већи од удела власништва које има адреса прослеђена као *\_from* аргумент и уколико је *\_documentHash* празан. Одговорност да се власништво над токеном преноси на нула адресу само у случају када је потребно „уништити“ токен, нпр. у случају спајања непокретности, је на клијенту. Успешно спроведен пренос власништва мора изазвати *Transfer()* догађај.

Функција *approveOwner(\_owner: address, \_approved: bool, \_documentHash: bytes): void* – за прослеђену адресу, одређује да ли је дозвољено или не да учествује у трансакцијама над непокретностима. Параметар *\_owner* представља ентитет који је власник непокретности, *\_approved* представља постојање права за продају непокретности, а *\_documentHash* представља хеш вредност докумената на основу којих се неко право ускраћује или успоставља. Непокретности које су везане за нула адресу нису валидне, те захтев за нула адресу изазива да се у функцији деси изузетак, као и у случају када је *\_documentHash* празан. Функција мора изазвати *ApproveOwner()* догађај.

Функција *isOwnerApproved(\_owner: address): bool* – враћа информацију да ли је власнику дозвољено или не да учествује у трансакцијама. Параметар *\_owner* представља власника непокретности, а тип податка који функција враћа је *bool*. Непокретности које су везане за нула адресу нису валидне, те упит за нула адресу изазива да се у функцији деси изузетак.

Догађај *Transfer(\_from: address, \_to: address, \_tokenId: uint256, \_share: uint16, \_documentHash: bytes)* – догађај који мора бити изазван и случају трансакције и који ће објавити да је са адресе која је прослеђена као *\_from* аргумент, на адресу која је прослеђена као *\_to* аргумент, пренет удео у власништву који је прослеђен као *\_share* аргумент, над токеном са идентификатором који је прослеђен у *\_tokenId* аргументу, а на основу докумената са хеш вредношћу која је прослеђена као *\_documentHash* аргумент. Догађај се позива и у тренутку када се токен креира, што подразумева да је као *\_from* прослеђена нула адреса, као и случају када се токен уништава, односно да је као *\_to* прослеђена нула адреса

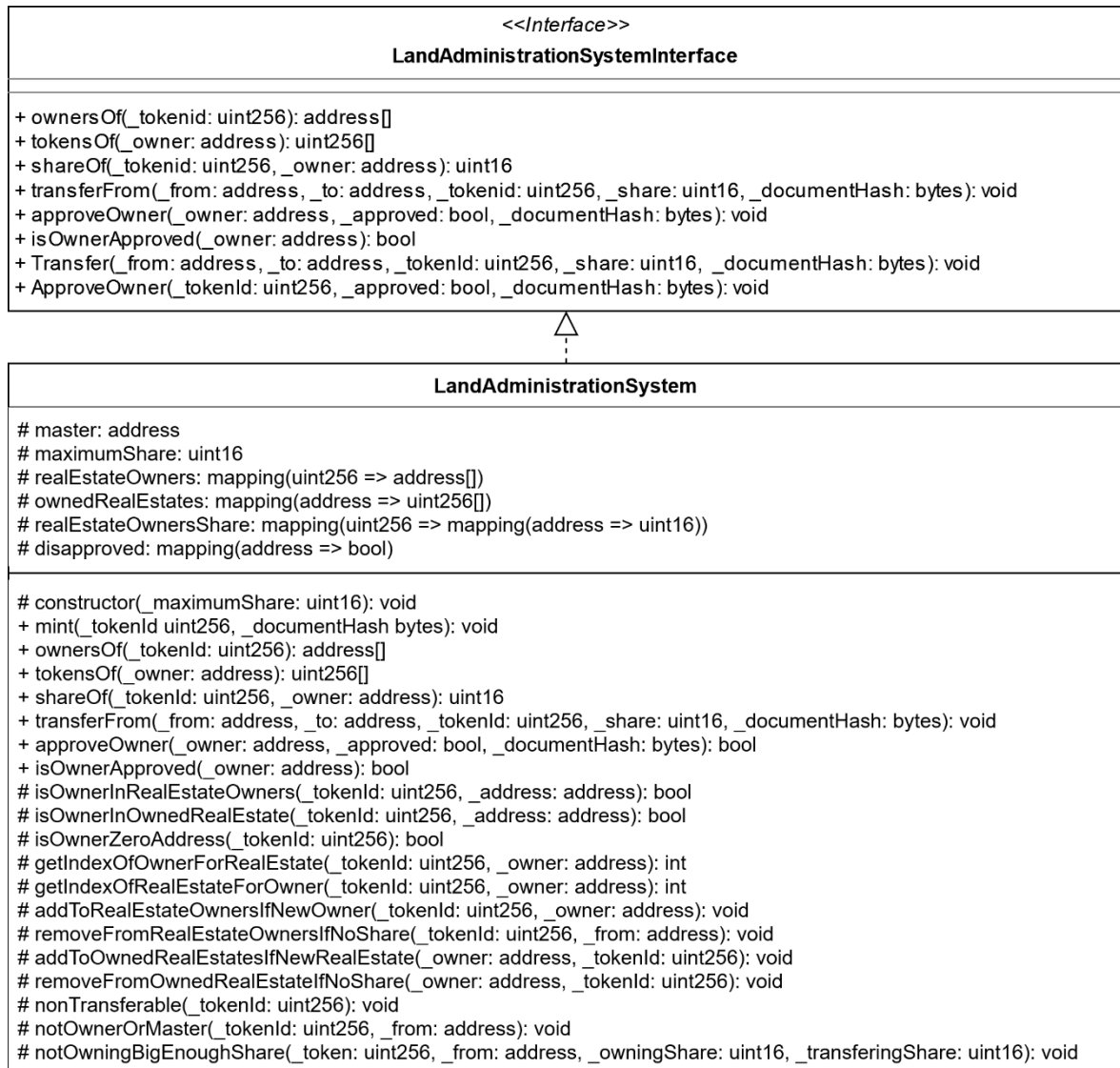
Догађај *ApproveOwner(\_owner: address, \_approved: bool, \_documentHash: bytes)* –



догађај који мора бити изазван и случају ускраћивања или давања права власнику да учествује у трансакцијама и који ће објавити да је за адресу која је прослеђена као `_owner` аргумент, постављен статус на вредност прослеђену као `_approved` аргумент, а на основу докумената чија хеш вредност је прослеђена као `_documentHash` аргумент.

### 3.1.3 Имплементација

Предложени интерфејс имплементиран је кроз паметни уговор *LandAdministrationSystem*, чији UML дијаграм класа је приказан на слици 3-6.



Слика 3-6. UML дијаграм класа за *LandAdministrationSystem*

Програмски код, написан у *Solidity* програмском језику, који представља *LandAdministrationSystemInteface* приказан на слици 3-5, презентован је у Листинг 1, док је код који представља *LandAdministrationSystem* приказан од листинга 2 до листинга 12. Пример декларација грешака *zeroAddress*, *notApproved*, *notOwnerOrMaster*, *notOwningBigEnoughShare* и *documentHashMustBeProvided* приказан је у листингу 13, док су поруке које се јављају као последица ових грешака

приказане од листинга 14 до листинга 17. Кôд је подељен на више листинга како би се лакше коментарисао, док се комплетан програмски кôд налази у Прилогу А – Програмски кôд паметног уговора.

У наведеним листинзима, три тачке замењују део кода паметног уговора који није релевантан за проблем о коме се дискутује и решење које се представља у конкретном листингу. Током коментарисања програмског кода користиће се следећа конвенција именовања:

- *\_tokenId* – идентификатор токена који представља непокретност,
- *\_from* и *\_owner* – параметри који представљају тренутне власнике удела у непокретности,
- *\_to* – параметар који представља новог власника удела у непокретности,
- *\_share* – параметар који представља удео у власништву над непокретношћу,
- *\_documentHash* – параметар који представља хеш вредност докумената на основу који је спроведена трансакција, а о чему ће више речи бити у поглављу 5,
- *\_approved* – параметар који представља да ли је власнику непокретности дозвољено да учествује у трансакцијама, а о чему ће више речи бити у поглављу 5.

```

001 // SPDX-License-Identifier: MIT
002 pragma solidity ^0.8.7;
003
004 interface LandAdministrationSystemInterface {
005     function ownersOf(uint256 _tokenId) external view
006         returns (address[] memory);
007     function tokensOf(address _owner) external view
008         returns (uint256[] memory);
009     function shareOf(uint256 _tokenId, address _owner)
010         external view returns (uint16);
011     function transferFrom(address _from, address _to,
012         uint256 _tokenId, uint16 _share,
013         bytes memory _documentHash) external;
014     function approveOwner(address _owner, bool _approved,
015         bytes memory _documentHash) external;
016     function isOwnerApproved(address _owner) external view
017         returns (bool);
018
019     event Transfer(address indexed _from, address indexed _to,
020         uint256 indexed _tokenId, uint16 _share,
021         bytes _documentHash);
022     event ApproveOwner(address indexed _owner, bool _approved,
023         bytes _documentHash);
024 }
...
287 }

```

### Листинг 1. *LandAdministrationSystemInterface*

Листинг 1 почиње са коментаром, написаним у машински читљивом формату, који дефинише лиценцу. У овом случају, код је лиценциран у складу са *MIT Software Package Data Exchange (SPDX)*. Након тога следи *pragma* директива која служи како би се применили одговарајуће могућности током компајлирања програма. Потом, у линији 4 следи резервисана реч *interface* која означава да се ради о интерфејсу, а потом и назив интерфејса, односно *LandAdministrationSystemInterface*. Функције представљене у *LandAdministrationSystemInterface UML* дијаграмима на слици 3-5, декларисане су коришћењем резервисане речи *function*, док су догађају декларисани користећи резервисану реч *event*. Поред ових резервисаних речи, у декларисању функција и метода коришћене су и:

- *external* – представља један од четири спецификатора видљивости функције (уз *public*, *private* и *internal*) и означава да је функцију могуће позвати само ван паметног уговора у којем је декларисана,
- *view* – означава да функцији није дозвољено да мења стање блокчејна, односно да се функција користи само као „поглед“ на постојеће податке,
- *memory* – означава да ће аргумент који је прослеђен позиву функције бити сачуван само привремено, односно само током извршавања функције, да би након тога био обрисан,

- *indexed* – користи се у догађајима и означава да ће аргументи који су означени као *indexed* бити сачуване као тзв. теме (енгл. *topics*), те да се догађаји могу претраживати по овим вредностима, односно да их могу користити филтери за претрагу. Максималан број параметара који може бити индексиран је три, а максимална дужина индексиране вредности је 32 бајта.

Основне класе *LADM* које су представљене на слици 2-3 су моделоване у *LandAdministrationSystem* паметном уговору на следећи начин:

- класа *LA\_Party* моделована је употребом *address* типа податка, који представља један од елементарних *Solidity* типова,
- класа *LA\_RRR*, односно права (удео у власништву) и ограничења је моделована применом *uint16* и *bool* елементарних типова.
- поткласа *LA\_LAUnit* је репрезентована јединственим токеном, односно као *uint256* елементарни тип,
- репрезентација класе *LA\_SpatialUnit* није неопходна у преносу власништва и стога није представљена у паметном уговору, али ће ове информације бити смештане у систему о чијој архитектури ће више речи бити у поглављу 4.

Пример моделовања основних класа дат је у листингу 2.

```

...
026 contract LandAdministrationSystem
027     is LandAdministrationSystemInterface {
028     address master;
029     uint16 maximumShare;
030     mapping(uint256 => address[]) realEstateOwners;
031     mapping(address => uint256[]) ownedRealEstates;
032     mapping(uint256 => mapping(address => uint16))
033         realEstateOwnersShare;
034     mapping(address => bool) disapproved;
035
036     constructor(uint16 _maximumShare) {
037         master = msg.sender;
038         maximumShare = _maximumShare;
039     }
...
287 }

```

## Листинг 2. Моделовање *LADM* основних класа у паметном уговору

Листинг 2 отпочиње са резервисаном речи *contract*, након чека следи назив паметног уговора *LandAdministrationSystem*, да би у 27 линији било декларисано да паметни уговор имплементира *LandAdministrationSystemInterface* интерфејс. У листингу 2, декларисане су и следеће променљиве стања (енгл. *state variables*):

- *master* – променљива типа *address* представља адресу која је коришћена за креирање паметног уговора и ова вредност се одређује кроз конструктор;

- *maximumShare* – променљива типа *uint16* која представља максималан удео у власништву над неком непокретношћу и ова вредност се одређује кроз конструктор. Вредност треба да буде довољно велика како би покрила све потребне случајеве употребе у КН, где се удео у власништву над непокретностима обично приказује као разломак;
- *mapping realEstateOwnersShare* – *mapping* у *Solidity* програмском језику представља тзв. *key/value* структуру и у овом случају мапира се релација између *uint256* вредности, која репрезентује јединствени токен/непокретност, и низа *address*-а, које репрезентују власнике непокретности:
- *mapping ownedRealEstates* – мапира релацију између *address*-е, која представља власника, и низа *uint256* вредности, које представљају јединствене токене/непокретности над којима *address*-а има уделе у власништву;
- *mapping realEstateOwnersShare* – мапира релацију између *uint256* вредности, која представља јединствени токен/непокретност, и *mapping*-а који мапира релацију између *address*-е, која представља власника, и *uint16* вредности, која представља удео у власништву;
- *mapping disapproved* – мапира релацију између *address*-е, која представља власника непокретности, и *bool* вредности, која одређује да ли је власнику ограничено право да учествује у трансакцијама.

Поред променљивих стања, у листингу 2 декларисан је и имплементиран конструктор. У паметним уговорима конструктор је функција која се позива само једном и то у тренутку када се паметни уговор поставља на блокчејн мрежу. У овом конкретном случају имплементација паметног уговора је таква да у 37 линији паметни уговор прво врши упит која адреса је послала захтев за његовим креирањем и ту вредност смешта у *master* променљиву стања, а потом у 38 линији, прослеђени аргумент типа *uint16* смешта у *maximumShare* променљиву стања.

Пример имплементације функције *ownersOf* је приказан у листингу 3.

```

...
052     function ownersOf(uint256 _tokenId) override external view
053         returns (address[] memory) {
054         if(isOwnerZeroAddress(_tokenId)) {
055             revert zeroAddress({
056                 _owner: address(0),
057                 _message:
058                     bytes("Zero address can not be queried.")
059             });
060         }
061         return realEstateOwners[_tokenId];
062     }
...
287 }

```

### Листинг 3. Пример имплементације *ownersOf* функције

Резервисана реч *override* у декларацији функције *ownersOf* у листингу 3 означава да она представља имплементацију функције декларисане у *LandAdministrationSystemInterface*-у. У линијама од 54 до 59, врши се провера да ли је аргумент прослеђен у позиву функције везан за нула адресу. У декларацији *ownersOf* функције наведено је да се токени који су везани за нула адресу сматрају неважећим, те је уместо враћања нула адреса, неопходно да се у функцији деси изузетак. У линији 54 проверава се да ли је власник нула адреса тако што се функцији *isOwnerZeroAddress* као аргумент проследи *\_tokenId*. Функција *isOwnerZeroAddress* као повратни тип податка има *bool* вредност, а имплементација ове функције ће бити посебно представљена у наставку. У случају да позив функције врати *true*, уз помоћ *revert* резервисане речи поништиће се све евентуалне промене које је до тада изазвало извршавање функције и изазвати *zeroAddress* грешка. Грешка *zeroAddress* као параметре прихвата нула адресу и поруку да се не могу вршити упити над нула адресама. У случају да позив функцији *isOwnerZeroAddress* врати *false* функција ће извршити упит над *realEstateOwners* променљивом стања проследивши аргумент *\_tokenId* и добити листу *address*-а која представља све власнике непокретности.

Пример имплементације функција *tokensOf* и *shareOf* приказан је у листингу 4.

```

...
064     function tokensOf(address _owner) override external view
065         returns (uint256[] memory) {
066         if(_owner == address(0)) {
067             revert zeroAddress({
068                 _owner: address(0),
069                 _message:
070                     bytes("Zero address can not be queried.")
071             });
072         }
073         return ownedRealEstates[_owner];
074     }
075
076     function shareOf(uint256 _tokenId, address _owner)
077         override public view returns (uint16) {
078         if(_owner == address(0)) {
079             revert zeroAddress({
080                 _owner: address(0),
081                 _message:
082                     bytes("Zero address can not be queried.")
083             });
084         }
085         return realEstateOwnersShare[_tokenId][_owner];
086     }
...
287 }

```

#### Листинг 4. Пример имплементације *tokensOf* и *shareOf* функција

Улога функције *tokensOf* је да омогући да се за сваког власника сазна у којим све непокретностима има удео. У складу са захтевом, у случају упита за нула адресу, у функцији треба да се деси изузетак, и ова функционалност је имплементирана у линијама 66 до 72 на сличан начин као што је то био случај у *ownersOf* функцији у листингу 3, са разликом да се за проверу да ли је направљен упит за нула адресу не користи функција *isOwnerZeroAddress*, већ се врши директна провера аргумента прослеђеног у позиву функције. У случају да се не ради о нула адреси, функција врши упит над променљивом стања *ownedRealEstate* којој се прослеђује аргумент *\_address*, а која враћа низ *uint256* вредности које представљају јединствене токене/непокретности.

Функција *shareOf* за прослеђени *\_tokenId* и *\_owner* враћа тип податка *uint16* који представља удео који *\_owner* има у власништву над *\_tokenId*. *Public* спецификатор видљивости функције означава да је овој функцији могуће приступити и ван и из паметног уговора. У линијама од 78 до 84 функција испуњава захтев да се не могу вршити упити над нула адресама на исти начин као што је то био случај у имплементацији *tokensOf* функције. У случају да се не ради о нула адреси, функција врши упит над променљивом стања *realEstateOwnersShare* којој се прослеђују аргументи *\_tokenId* и *\_owner*, а која враћа удео у власништву над непокретношћу.

Пример имплементације функције *transferFrom* приказан је у листингу 5.

```
...
088     function transferFrom(address _from, address _to,
089                             uint256 _tokenId, uint16 _share,
090                             bytes memory _documentHash)
091                             override external {
092         if(_from == address(0)) {
093             revert zeroAddress({
094                 _owner: address(0),
095                 _message: bytes
096                     ("Transfers from zero address are not allowed.")
097             });
098         }
099
100         if (!(msg.sender == master
101             || isOwnerInRealEstateOwners(_tokenId, _from))) {
102             revert notOwnerOrMaster({
103                 _tokenId: _tokenId,
104                 _from: _from
105             });
106         }
107
108         if(msg.sender != master) {
109             if(disapproved[_msg.sender]) {
110                 revert notApproved({
111                     _from: msg.sender
112                 });
113             }
114         }
115
116         if (shareOf(_tokenId, _from) < _share) {
117             revert notOwningBigEnoughShare({
118                 _tokenId: _tokenId,
119                 _from: _from,
120                 _owningShare: shareOf(_tokenId, _from),
121                 _transferringShare: _share
122             });
123         }
124
125         if (_documentHash.length == 0) {
126             revert documentHashMustBeProvided({
127                 _from: _from,
128                 _to: _to,
129                 _tokenId: _tokenId,
130                 _share: _share,
131                 _documentHash: _documentHash
132             });
133         }

```



```

134
135     realEstateOwnersShare[_tokenId][_from] -= _share;
136     realEstateOwnersShare[_tokenId][_to] += _share;
137     addToRealEstateOwnersIfNewOwner(_tokenId, _to);
138     removeFromRealEstateOwnersIfNoShare(_tokenId, _from);
139     addToOwnedRealEstatesIfNewRealEstate(_to, _tokenId);
140     removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare(_from, _tokenId);
141     emit Transfer(_from, _to, _tokenId, _share,
142                 _documentHash);
143     }
...
287 }

```

### Листинг 5. Пример имплементације *transferFrom* функције

Функција *transferFrom* врши пренос власништва удела *\_shareOf*, над непокретношћу *\_tokenId*, са ентитета *\_from*, на ентитет *\_to*, а на основу докумената чија хеш вредност је прослеђена као *\_documentHash*. У линијама 92 до 98 врши се провера да ли је власништво над токеном повезано са нула адресом у складу за ограничењем да токени везани за нула адресу нису валидни и да у случају преноса власништва са нула адресе треба да се деси изузетак у функцији. Сама имплементација је иста као што је приказано у функцијама *tokensOf* и *shareOf* из листинга 4.

У линијама 100 до 106 врши се провера да ли је адреса са које је упућен позив функцији власник токена за које жели да се изврши трансакција или се ради о *master* адреси. Провера се врши позивом функције *isOwnerInRealEstateOwners* и прослеђивањем аргумента *\_from*, а њена имплементација ће бити описана касније. Улога *master* адресе биће детаљније објашњена у поглављу 5. У случају да се не ради о адреси власника или о *master* адреси десиће се *notOwnerOrMaster* грешка која као аргументе прихвата *\_tokenId* и *\_from* аргументе из позива функције.

У линијама 108 до 114 проверава се да ли, у случају да позив функције није стигао са *master* адресе, адреса са које је упућен позив функцији има ограничења на учествовању у трансакцијама. У случају да се адреса налази на листи адреса које немају одобрења, односно уколико упит над променљивом стања *disapproved* врати *true* вредност, десиће се *notApproved* грешка, која као аргумент прихвата адресу са које је упућен позив функцији.

У линијама 116 до 123 врши се провера да ли је удео који се преноси трансакцијом мањи или једнак уделу који власник има над непокретношћу, односно проверава се да ли је резултат позива функције *shareOf* са аргументима *\_tokenId* и *\_from* мањи од вредности која је прослеђена као аргумент *\_share*. У случају да јесте мањи, десиће се *notBigEnoughShare* грешка која прихвата аргументе *\_tokenId*, *\_from*, *shareOf(\_tokenId, \_from)* и *\_share*.

У линијама 125 до 133 проверава се захтев да се приликом позива функције *transferFrom* мора проследити и аргумент који представља хеш вредност докумената на основу којих се врши трансакција. Конкретна имплементација проверава дужину *\_documentHash* аргумента и у случају да је једнак 0 десиће се

*documentHashMustBeProvided* грешка која као аргументе прихвата све аргументе који су прослеђени приликом иницијално позива функције.

Уколико се ни у једном од случајева који су дефинисани од линије 89 до линије 130 не деси грешка извршиће се следећи кораки:

- променљива стања *realEstateOwnersShare* за *\_tokenId* и *\_from* ће бити умањена за *\_share*, што значи да ће удео у власништву адресе са које се преноси власништво бити умањен за удео који се преноси, линија 135;
- променљива стања *realEstateOwnersShare* за *\_tokenId* и *\_to* ће бити увећања за *\_share*, што значи да ће се удео у власништву адресе на који се преноси власништво бити увећан за удео који се преноси, линија 136;
- биће извршен позив функције *addToRealEstateOwnersIfNewOwner* којој ће бити прослеђени аргументи *\_tokenId* и *\_to* из позива функције *transferFrom*, а која ће у случају да је *\_to* ентитет који тек стиче удео у власништву то и регистровати у променљивој стања *realEstateOwners*. Имплементација ове функције биће накнадно приказана, линија 137;
- биће извршен позив функције *removeFromRealEstateOwnersIfNoShare* којој ће бити прослеђени аргументи *\_tokenId* и *\_from* из позива функције *transferFrom*, а која ће у случају да је *\_from* ентитет који више нема удео у власништву то и регистровати у променљивој стања *realEstateOwners*. Имплементација ове функције биће накнадно приказана, линија 138;
- биће извршен позив функције *addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate* којој ће бити прослеђени аргументи *\_to* и *\_tokenId* из позива функције *transferFrom*, а која ће у случају да је *\_to* ентитет који тек стиче удео у власништву то и регистровати у променљивој стања *ownedRealEstates*. Имплементација ове функције биће накнадно приказана, линија 139;
- биће извршен позив функције *removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare* којој ће бити прослеђени аргументи *\_tokenId* и *\_from* из позива функције *transferFrom*, а која ће у случају да је *\_from* ентитет који више нема удео у власништву то и регистровати у променљивој стања *ownedRealEstates*. Имплементација ове функције биће накнадно приказана, линија 140;

Након извршења ових корака, у линији 141 следи резервисана реч *emit* означава да ће бити изазван *Transfer* догађај који ће као аргументе прихватити све аргументе који су иницијално прослеђени у позиву *transferFrom* функције.

Пример имплементације функција *approveOwner* и *isOwnerApproved* приказан је у листингу 6.

```

...
145     function approveOwner(address _owner, bool _approved,
146                             bytes memory _documentHash)
147                             override external {
148         require(msg.sender == master,
149                 "Sender not the master address.");
150         if(_owner == address(0)) {
151             revert zeroAddress({
152                 _owner: address(0),
153                 _message: bytes
154                 ("Zero address can not be approved or disapproved.")
155             });
156         }
157         disapproved[_owner] = !_approved;
158         emit ApproveOwner(_owner, _approved, _documentHash);
159     }
160
161     function isOwnerApproved(address _owner)
162                             override external view
163                             returns (bool) {
164         if(_owner == address(0)) {
165             revert zeroAddress({
166                 _owner: address(0),
167                 _message: bytes
168                 ("Zero address can not be approved or disapproved.")
169             });
170         }
171         return !disapproved[_owner];
172     }
...
287 }

```

Листинг 6. Пример имплементације *approveOwner* и *isOwnerApproved* функција

Функција *approveOwner* за власника који је прослеђен као *\_owner* аргумент региструје, на основу вредности *\_approved* аргумента, да ли може да учествује у трансакцијама. Функција прихвата и *\_documentHash* аргумент на основу којих се ова дозвола или ограничење спроводи. У 148 линији, уз помоћ резервисане речи *require* дефинисан је услов да ову функцију успешно може да позове једино *master* адреса те се проверава да ли је *msg.sender* једнак *master* адреси. У случају да позив није упућен са *master* адресе десиће се грешка и биће прослеђена порука "*Sender not the master address.*". У складу са дефинисаним условима, у линијама 150 до 156 се проверава да ли се ограничење спроводи над нула адресом, што није дозвољено. Сама имплементација провере је иста као што је приказано у функцијама *tokensOf* и *shareOf* из Листинг 4. Уколико је позив функције стигао са *master* адресе и уколико се не односи на нула адресу, у 157 линији, у променљивој стања *disapproved* биће регистровано да ли *\_owner* има или нема права да учествује у трансакцијама на основу

вредности прослеђене као *\_approved* аргумент. Како је подразумевана вредност типа *bool* у *Solidity* програмском језику *false*, изабрано је да променљива стања буде *disapproved* како би се избегла потреба да се води евиденција о свим адресама. У случају да у *mapping*-у не постоји вредност за тражени кључ, *mapping* ће вратити вредност *false*. У 158 линији, у складу са захтевом, биће изазван *ApproveOwner* догађај, који ће као аргументе прихватити вредности *\_owner*, *\_approved* и *\_documentHash* које су упућене у позиву функције *approveOwner*.

Функција *isOwnerApproved* за прослеђени аргумент *\_owner* враћа *bool* тип податка који пружа информацију о томе да ли је власнику дозвољено да учествује у трансакцијама. У линијама од 164 до 170 на начин као што је приказано у функцијама *tokensOf* и *shareOf* из Листинг 4, испуњава се услов да се упит не може вршити за нула адресу. У случају да упит није упућен за нула адресу, у 171 линији биће враћена супротна вредност од резултата упита над променљивом стања *disapproved* из разлога описаних у опису функције *approveOwner*.

Пример имплементације функције *mint* приказан је у Листинг 7.

```
...
041     function mint(uint _tokenId, bytes memory _documentHash)
042         external {
043             require(msg.sender == master,
044                 "Sender not the master address.");
045             addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate(master, _tokenId);
046             addToRealEstateOwnersIfNewOwner(_tokenId, master);
047             realEstateOwnersShare[_tokenId][master] = maximumShare;
048             emit Transfer(address(0), master, _tokenId, maximumShare,
049                 _documentHash);
050         }
...
287 }
```

#### Листинг 7. Пример имплементације *mint* функције

Функција *mint* је функција која се позива приликом иницијалног креирања токена. Назив *mint* је уобичајен за овај тим функције. Функција прихвата параметре *\_tokenId*, који представља идентификатор токена који ће бити креиран, и *\_documentHash* који представља хеш вредност докумената на основу којих се токен креира. У 43 линији проверава се да ли је позив функцији стигао са *master* адресе која једина има право да креира нове токене и у случају да није, десиће се грешка за поруком "Sender not the master address.". Уколико је позив послат са *master* адресе десиће се следећи кораци:

- биће извршен позив функције *addToRealEstateOwnersIfNewOwner* којој ће бити прослеђени аргументи *\_tokenId* и *master* адреса, а која ће у регистровати власништво у променљивој стања *realEstateOwners*. Имплементација ове функције биће накнадно приказана, линија 45;
- биће извршен позив функције *addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate* којој ће бити прослеђени аргументи *master* адреса и *\_tokenId*, а која ће

регистравати власништво у променљивој стања *ownedRealEstates*. Имплементација ове функције биће накнадно приказана, линија 46;

- у променљивој стања *realEstateOwnersShare* за *\_tokenId* и *master* адресу ће бити регистрован удео у *maximumShare* износу, линија 47;

Након извршења ових корака, у линији 48 биће изазван *Transfer* догађај, у складу са захтевом за имплементацију трансакција, који ће као аргументе прихватити нула адресу, *master* адресу, *\_tokenId*, *maximumShare* и *documentHash*. Као што се види из приказаног кода, сви новокреирани токени се иницијално додељују *master* адреси, да би се потом власништво пренело на одговарајуће ентитете. Такође, на клијенту је да обезбеди да не дође до креирања нових токена са већ постојећим *\_tokenId*-јем.

Пример имплементације функција *isOwnerInRealEstateOwners* и *isOwnerInOwnedRealEstate* приказан је у листингу 8.

```
...
174     function isOwnerInRealEstateOwners(uint256 _tokenId,
175                                       address _address)
176                                       internal view
177                                       returns (bool) {
178         address[] memory allOwners = realEstateOwners[_tokenId];
179         for (uint i=0; i < allOwners.length; i++) {
180             if (allOwners[i] == _address ) {
181                 return true;
182             }
183         }
184         return false;
185     }
186
187     function isOwnerInOwnedRealEstate(uint256 _tokenId,
188                                       address _address)
189                                       internal view
190                                       returns (bool) {
191         uint256[] memory allOwned = ownedRealEstates[_address];
192         for (uint i=0; i < allOwned.length; i++) {
193             if (allOwned[i] == _tokenId ) {
194                 return true;
195             }
196         }
197         return false;
198     }
...
287 }
```

Листинг 8. Пример имплементације *isOwnerInRealEstateOwners* и *isOwnerInOwnedRealEstate* функција

Функције *isOwnerInRealEstateOwners* и *isOwnerInOwnedRealEstate* функција, као и остале функција које ће бити представљене у наставку поглавља, нису дефинисане *LandAdministrationSystemInterface*-ом, већ представљају „помоћне“

функције које су издвојене како би програмски кôд био прегледнији. Функција *isOwnerInRealEstateOwners*, за прослеђене аргументе *\_tokenId* и *\_address*, у променљивој стања *realEstateOwners* проверава да ли *\_owner* има удео у власништву над *\_tokenId*. Функција има спецификатор видљивости *internal* што значи да функција може бити позвана из паметног уговора у којем је дефинисана и из паметних уговора који га проширују. У 178 линији упитом над променљивом стања *realEstateOwners* са аргументом *\_tokenId* добија се листа адреса које представљају власнике непокретности и те вредности се смештају у променљиву *allOwners*. Кôд од 179 до 183 линије представља петљу у којој се све вредности из *allOwners* пореде са аргументом *\_address* и у случају да поклапања, функција враћа *bool* вредност *true*. У случају да током проласка кроз петљу не дође до поклапања, функција ће у 184 линији вратити *bool* вредност *false*.

Слично функцији *isOwnerInRealEstateOwners*, функција *isOwnerInOwnedRealEstate* ће, за прослеђене аргументе *\_tokenId* и *\_owner*, у променљивој стања *ownedRealEstate* проверити да ли је *\_owner* има удео у власништву над *\_tokenId*. У 191 линији упитом над променљивом стања *ownedRealEstate* са аргументом *\_address* добија се листа токена које представљају непокретности и те вредности се смештају у променљиву *allOwned*. Кôд од 192 до 196 линије представља петљу у којој се све вредности из *allOwned* пореде са аргументом *\_tokenId* и у случају да поклапања, функција враћа *bool* вредност *true*. У случају да током проласка кроз петљу не дође до поклапања, функција ће у 197 линији вратити *bool* вредност *false*.

Пример имплементације функције *isZeroAddress* приказан је у листингу 9.

```
...
200     function isOwnerZeroAddress(uint256 _tokenId)
201                                     internal view returns (bool) {
202         address[] memory allOwners = realEstateOwners[_tokenId];
203         for (uint i=0; i < allOwners.length; i++) {
204             if (allOwners[i] == address(0) ) {
205                 return true;
206             }
207         }
208         return false;
209     }
...
287 }
```

#### Листинг 9. Пример имплементације *isZeroAddress* функције

Функција *isZeroAddress* за прослеђени аргумент *\_tokenId* проверава да ли се као власник води нула адреса. У 202 линији упитом над променљивом стања *realEstateOwners* са аргументом *\_tokenId* добија се листа адреса које представљају власнике непокретности и те вредности се смештају у променљиву *allOwners*. Кôд од 203 до 207 линије представља петљу у којој се све вредности из *allOwners* пореде са нула адресом и у случају поклапања, функција враћа *bool* вредност *true*. У случају да

током проласка кроз петљу не дође до поклапања, функција ће у 205 линији вратити *bool* вредност *false*.

Пример имплементација функција *getIndexOfOwnerForRealEstate* и *getIndexOfRealEstateForOwner* приказан је у листингу 10.

```
...
211     function getIndexOfOwnerForRealEstate(uint256 _tokenId,
212                                           address _owner)
213                                           internal view
214                                           returns (int){
215         for(uint i = 0;
216             i < realEstateOwners[_tokenId].length; i++){
217             if(_owner == realEstateOwners[_tokenId][i])
218                 return int(i);
219         }
220         return -1;
221     }
222
223     function getIndexOfRealEstateForOwner(uint256 _tokenId,
224                                           address _owner)
225                                           internal view
226                                           returns (int){
227         for(uint i = 0; i < ownedRealEstates[_owner].length; i++){
228             if(_tokenId == ownedRealEstates[_owner][i])
229                 return int(i);
230         }
231         return -1;
232     }
...
287 }
```

Листинг 10. Пример имплементација *getIndexOfOwnerForRealEstate* и *getIndexOfRealEstateForOwner* функција

Функција *getIndexOfOwnerForRealEstate* за прослеђене аргументе *\_tokenId* и *\_owner* враћа тип податка *int* који представља индекс на којем се прослеђени *\_owner* аргумент налази у променљивој стања *realEstateOwners*. Ова вредност је потребна током извршавања функције *removeFromRealEstateOwnersIfNoShare* која ће бити представљена у наставку. Кôд од 215 до 219 линије представља петљу у којој се користећи индексе, пролази кроз низ власника токена прослеђеног као *\_tokenId* аргумент и добијена вредност адресе пореди за прослеђеним *\_owner* аргументом. У случају поклапања, функција враћа *int* вредност индекса. Уколико током проласка кроз петљу не дође до поклапања, функција ће у 220 линији вратити *int* вредност -1.

Функција *getIndexOfRealEstateForOwner* има сличну имплементацију, а користи се у функцији *removeFromOwnedRealEstateIfNoShare*. За прослеђене аргументе *\_tokenId* и *\_owner* враћа тип податка *int* који представља индекс на којем се прослеђени *\_tokenId* аргумент налази у променљивој стања *ownedRealEstates*. Кôд од 227 до 230

линије представља петљу у којој се користећи индексе, пролази кроз низ токена и добијена вредност адресе пореди за прослеђеним *\_tokenId* аргументом. У случају поклапања, функција враћа *int* вредност индекса. Уколико током проласка кроз петљу не дође до поклапања, функција ће у 231 линији вратити *int* вредност -1.

Пример имплементација функција *addToRealEstateOwnersIfNewOwner* и *removeFromRealEstateOwnersIfNoShare* приказан је у листингу 11.

```
...
234     function addToRealEstateOwnersIfNewOwner(uint256 _tokenId,
235                                             address _owner)
236                                             internal {
237         if (!isOwnerInRealEstateOwners(_tokenId, _owner)) {
238             realEstateOwners[_tokenId].push(_owner);
239         }
240     }
241
242     function removeFromRealEstateOwnersIfNoShare(
243                                             uint256 _tokenId,
244                                             address _from)
245                                             internal {
246         if (shareOf(_tokenId, _from) == 0) {
247             int i = getIndexOfOwnerForRealEstate(_tokenId, _from);
248             if (i != -1) {
249                 realEstateOwners[_tokenId][uint(i)] =
250 realEstateOwners[_tokenId][realEstateOwners[_tokenId].length - 1];
251                 realEstateOwners[_tokenId].pop();
252             }
253         }
254     }
...
287 }
```

Листинг 11. Пример имплементација *addToRealEstateOwnersIfNewOwner* и *removeFromRealEstateOwnersIfNoShare* функција

Функција *addToRealEstateOwnersIfNewOwner* за прослеђени аргумент *\_owner* додаје у листу власника прослеђеног аргумента *\_tokenId* уколико *\_owner* већ није власник удела. У 237 линији, позивом функцији *isOwnerInRealEstateOwners* и прослеђивањем аргумената *\_tokenId* и *\_owner* врши се провера да ли је *\_owner* већ регистрован као власник. У случају да позив функцији *isOwnerInRealEstateOwners* врати *bool* вредност *true*, знак узвика ће извршити негацију те вредности и тиме ће се завршити извршавање функције, док уколико позив функције врати *false*, у линији 238 аргумент *\_owner* ће бити додат у променљиву стања *realEstateOwners* за аргумент *\_tokenId*.

Функција *removeFromRealEstateOwnersIfNoShare* прослеђени аргумент *\_from* уклања са листе власника прослеђеног аргумента *\_tokenId* уколико *\_owner* више нема удео у власништву. *Mapping* структура пружа могућност брисања, али у том случају се не брише елемент *key/value* структуре, већ се само вредност *value* поставља на



подразумевану за тип податка који је дефинисан за *value*. То би значило да уколико одређена непокретност често мења власнике или уделе у власништву, повезана *key/value* структура би константно расла. Поред тога, у конкретном случају, постављање на подразумевану вредност би било проблематично са аспекта да би та вредност била препозната као нула адреса. Стога је брисање елемента у *mapping* структури, у овом случају имплементирано на другачији начин. У 246 линији, позивом функцијама *shareOf* са аргументима *\_tokenId* и *\_from* добија се тренутни удео, те се проверава да ли је тај удео једнак 0. Уколико је различит од нуле, завршава се извршавање функције. Уколико је удео једнак 0, у 247 линији позивом функцији *getIndexOfOwnerForRealEstate* којој се прослеђују исти аргументи, преузима се вредност индекса позиције на којој се у променљивој стања *realEstateOwners* налази *\_from* вредност. У 245 линији, проверава се да ли је индекс различит од -1, да би се у 249 и 250 линији, вредност са прослеђеног индекса, преместила на крај листе. У 251 линији, позивом *pop* методе за *mapping*, из *key/value* структуре брише последњи елемент.

Пример имплементација функција *addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate* и *removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare* приказан је у листингу 12.

```

...
256     function addToOwnedRealEstatesIfNewRealEstate(address _owner,
257                                                    uint256 _tokenId)
258         internal {
259             if (!isOwnerInOwnedRealEstate(_tokenId, _owner)) {
260                 ownedRealEstates[_owner].push(_tokenId);
261             }
262         }
263
264     function removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare(address _owner,
265                                                    uint256 _tokenId)
266         internal {
267         if (shareOf(_tokenId, _owner) == 0) {
268             int i = getIndexOfRealEstateForOwner(_tokenId, _owner);
269             if (i != -1) {
270                 ownedRealEstates[_owner][uint(i)] =
271 ownedRealEstates[_owner][ownedRealEstates[_owner].length - 1];
272                 ownedRealEstates[_owner].pop();
273             }
274         }
275     }
...
287 }

```

Листинг 12. Пример имплементација *addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate* и *removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare* функција

Функција *addToOwnedRealEstateIfNewRealEstate* прослеђени аргумент *tokenId* додаје у листу непокретности чији је власник аргумента *\_owner* уколико *\_owner* већ

није власник удела. У 259 линији, позивом функцији *isOwnerInOwnedRealEstate* и прослеђивањем аргумената *\_tokenId* и *\_owner* врши се провера да ли је *\_tokenId* већ регистрован као власништво. У случају да позив функцији *isOwnerInOwnedRealEstate* врати *bool* вредност *true*, знак узвика ће извршити негацију те вредности и тиме ће се завршити извршавање функције, док уколико позив функције врати *false*, у линији 260 аргумент *\_tokenId* ће бити додат у променљиву стања *ownedRealEstates* за аргумент *\_owner*.

Функција *removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare* прослеђени аргумент *\_tokenId* уклања са власништва прослеђеног аргумента *\_owner* уколико *\_owner* више нема удео у власништву. У 267 линији, позивом функцијама *shareOf* са аргументима *\_tokenId* и *\_owner* добија се тренутни удео, те се проверава да ли је тај удео једнак 0. Уколико је различит од нуле, завршава се извршавање функције. Уколико је удео једнак 0, у 268 линији позивом функцији *getIndexOfRealEstateForOwner* којој се прослеђују исти аргументи, преузима се вредност индекса позиције на којој се у променљивој стања *ownedRealEstates* налази *\_owner* вредност. У 269 линији, проверава се да ли је индекс различит од -1, да би се у 270 и 271 линији, вредност са прослеђеног индекса, преместила на крај листе. У 272 линији, позивом *pop* методе за *mapping*, из *key/value* структуре брише последњи елемент.

Пример декларације грешака *zeroAddress*, *notApproved*, *notOwnerOrMaster*, *notOwningBigEnoughShare* и *documentHashMustBeProvided* приказан је у листингу 13.

```
...
277     error zeroAddress(address _owner, bytes _message);
278     error notApproved(address _from);
279     error notOwnerOrMaster(uint256 _tokenId, address _from);
280     error notOwningBigEnoughShare(uint256 _tokenId, address _from,
281                                   uint16 _owningShare,
282                                   uint16 _transferringShare);
283     error documentHashMustBeProvided(address _from, address _to,
284                                       uint256 _tokenId,
285                                       uint16 _share,
286                                       bytes _documentHash);
287 }
```

Листинг 13. Пример декларације грешака *zeroAddress*, *notApproved*, *notOwnerOrMaster*, *notOwningBigEnoughShare* и *documentHashMustBeProvided*

У листингу 13 декларисано је пет грешака које се могу десити у раније описаним функцијама. Свака од декларација почиње са резервисаном речју *error* иза које следи назив грешке и параметри које позив грешке прихвата. Пример поруке која се шаље за сваку од дефинисаних грешака да је приказан од листинга 14 до листинга 17.

```

call to LandAdministrationSystem.tokensOf errored: VM error: revert.

revert
  The transaction has been reverted to the initial state.
Error provided by the contract:
zeroAddress
Parameters:
{
  "_owner": {
    "value": "0x0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000"
  },
  "_message": {
    "value":
"0x5a65726f20616464726573732063616e206e6f7420626520717565726965642e"
  }
}

```

Листинг 14. Пример поруке о грешци *zeroAddress* у случају позива функцији *tokenOf* са нула адресом као аргументом

```

transact to LandAdministrationSystem.transferFrom errored: VM error:
revert.

revert
  The transaction has been reverted to the initial state.
Error provided by the contract:
notApproved
Parameters:
{
  "_from": {
    "value": "0xAb8483F64d9C6d1EcF9b849Ae677dD3315835cb2"
  }
}

```

Листинг 15. Пример поруке о грешци *notApproved* у случају позива функцији *transferFrom* када власнику није одобрен да врши трансакције

```

transact to LandAdministrationSystem.transferFrom errored: VM error:
revert.

revert
    The transaction has been reverted to the initial state.
Error provided by the contract:
notOwnerOrMaster
Parameters:
{
  "_tokenId": {
    "value": "1"
  },
  "_from": {
    "value": "0x5B38Da6a701c568545dCfcB03Fcb875f56beddC4"
  }
}

```

Листинг 16. Пример поруке о грешци *notOwnerOrMaster* у случају позива функцији *transferFrom* када адреса која је позвала функцију није власник или мастер адреса

```

transact to LandAdministrationSystem.transferFrom errored: VM error:
revert.

revert
    The transaction has been reverted to the initial state.
Error provided by the contract:
documentHashMustBeProvidedParameters:
{
  "_from": {
    "value": "0x5B38Da6a701c568545dCfcB03Fcb875f56beddC4"
  },
  "_to": {
    "value": "0xAb8483F64d9C6d1EcF9b849Ae677dD3315835cb2"
  },
  "_tokenId": {
    "value": "1"
  },
  "_share": {
    "value": "100"
  },
  "_documentHash": {
    "value": ""
  }
}

```

Листинг 17. Пример поруке о грешци *documentHashMustBeProvidedParameters* у случају позива функцији *transferFrom* када није прослеђена хеш вредност докумената

# 4. Модел архитектуре информационог система катастра непокретности

---

*ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and software engineering — Architecture description* стандард дефинише архитектуру као фундаменталне концепте и особине система унутар његовог окружења, који су отеловљени кроз његове елементе, релације и принципе дизајна и еволуције [204]. Архитектура софтвера се може представити као структура и екстерно видљиве особине софтверског система, Архитектурални поглед (енгл. *architecture view*), или само поглед (енгл. *view*) је репрезентација система из перспективе неке заинтересоване стране (енгл. *stakeholder*) на основу њеног скупа интереса. Архитектурално гледиште (енгл. *architecture viewpoint*), или само гледиште (енгл. *viewpoint*), успоставља конвенције за интерпретирање и анализу погледа, односно дефинише језик, нотације, врсте модела који ће се примењивати над погледом [204].

Архитектура софтвера је у својим почецима била квалитативни опис емпиријских запажања везаних за корисност одређене организације система, да би крајем 80-тих година XX века довела до стварања нових нотација, алата и техника анализе. Иако су примери добре праксе у комплексним софтверским системима увек били препознавани, и понекад називани архитектуром софтвера, први кораци ка систематизацији овог знања начињени су управо крајем прошлог века [205]. Из овог периода је и опис да се архитектура софтвера бави организацијом софтвера, одговорностима софтверских компоненти и обезбеђењем да интеракција између софтверских компоненти система задовољава системске захтеве [206] [207]. Под софтверском компонентом подразумева се архитектурални градивни блок који енкапсулира подскуп функционалности система и ограничава приступ том подскупу тако што захтева коришћење експлицитно дефинисаних интерфејса. У истом периоду препознати су и први архитектурални стилови, односно препознати си одређени пројектантски избори који резултују решењима са несумњивим предностима у односу на дуга решења. Под архитектуралним стилем подразумева се скуп дизајнерски правила која идентификују врсте компоненти и повезника који се могу користити за креирање система, као и ограничењима која постоје у креирању система [208]. Архитектурални стил се може дефинисати и као именовани скуп архитектуралних пројектантских одлука о систему које су:

- примењиве у датом развојном контексту,
- ограничавају скуп могућих архитектуралних пројектантских одлука. а које су:
  - специфичне за дати систем унутар датог контекста и

- имплицирају додатни квалитет у резултујућем систему.

У табели 4-1 представљен је преглед архитектуралних стилова према типовима апликације [209], а кратак опис неки од најважнијих архитектуралних стилова је дат у наставку.

Табела 4-1. Архитектурални стилови према типу апликације [209]

| Тип апликације            | Архитектурални стил  |
|---------------------------|--|
| <i>Adaptable System</i>   | <i>Plug-ins</i><br><i>Reflection</i><br><i>Microkernel</i>   |
| <i>Distributed System</i> | <i>Broker</i><br><i>Client-server</i><br><i>Peer-to-peer</i><br><i>Representational state transfer</i><br><i>Service-oriented</i><br><i>Shared nothing architecture</i><br><i>Space based architecture</i> |
| <i>Messaging</i>          | <i>Asynchronous messaging</i><br><i>Event-driven</i><br><i>Publish-subscribe</i>   |
| <i>Modern System</i>      | <i>Architecture for Big-Data</i><br><i>Architecture for Grid Computing</i><br><i>Multi-tenancy Architecture</i>  |
| <i>Shared Memory</i>      | <i>Blackboard</i><br><i>Data-centric</i><br><i>Rule-based</i>  |
| <i>Structure</i>          | <i>Component-based</i><br><i>Layered</i><br><i>Monolithic application based</i><br><i>Pipes and filters</i>  |

Монолитна архитектура (енгл. *Monolithic/Monolithic application based*) представља архитектуру у којој су различите компоненте попут нпр. ауторизације и пословне логике, комбиноване у један програм, на једној платформи [210]. Апликације развијане у складу са монолитном архитектуром су чврсто спрегнуте, тешко их је модификовати, отежан је континуирани развој и подразумевају дугорочну посвећеност изабраној технологији [211].

Клијент-сервер архитектура (енгл. *Client-Server*), у основној форми, подразумева један софтверски ентитет, клијент, који креира одређени захтев, који ће бити испуњен од стране другог софтверског ентитета, сервера. Да би испунио захтев, сервер се може обратити бази података, може обрадити податке или нпр. проследити захтев другом серверу [212].

У трослојној архитектури (енгл. *three-tier/multitier architecture*) издвојена су три слоја: презентациони, апликативни или слој пословне логике и слој података.

Презентациони слој представља слој преко ког корисник комуницира са апликацијом и он се може извршавати у интернет прегледнику или као десктоп апликација. У апликативном слоју се налази пословна логика и у овом слоју се информације прикупљене у презентационом слоју обрађују, понекад користећи податке који долазе из слоја података, а на основу пословних правила. Слој података представља слој у којем се чувају и у којем се управља подацима [213].

Сервисно оријентисана архитектура (енгл. *Service Oriented Architecture/Service Architecture – SOA*) је архитектурални стил у којем се систем састоји од корисника сервиса и сервиса који пружају услуге. У *SOA* под сервисом се подразумева да је сервис:

- самосталан – да се пуштање сервиса у рад може урадити независно од других сервиса и да је високо модуларан,
- представља дистрибуирану компоненту – да је доступан преко мреже коришћењем имена или локације,
- има јавни/објављен интерфејс – корисници сервиса треба да имају информације само о интерфејсу сервиса, док им је конкретна имплементација непозната,
- интероперабилан – сервиси и корисници сервиса могу бити имплементирани у различитим програмским језицима и на различитим платформама,
- могуће је открити сервисе – посебан директоријум сервиса омогућава да се сервиси региструју, те да их корисници могу пронаћи користећи тај директоријум и
- динамички везани – корисник сервиса, сервис лоцира и са њим се повезује тек у тренутку извршавања, односно није неопходно да кориснику сервиса, приликом његовог креирања, буде доступна имплементација сервиса.

Нека од захтева који се постављају пред *SOA* су да:

- корисник сервиса шаље поруку сервису пружаоцу услуге,
- корисник сервиса може бити и пружалац услуге неком другом сервису,
- корисници сервиса могу динамички откривати сервисе у директоријуму сервиса,
- *enterprise service bus* може посредовати у интеракцији између корисника сервиса и самих сервиса [214].

Управо је *SOA* у [89] предложена као архитектурални стил за катастарски информациони систем. У овој дисертацији препознати су следећи учесници у процесима КН и то:

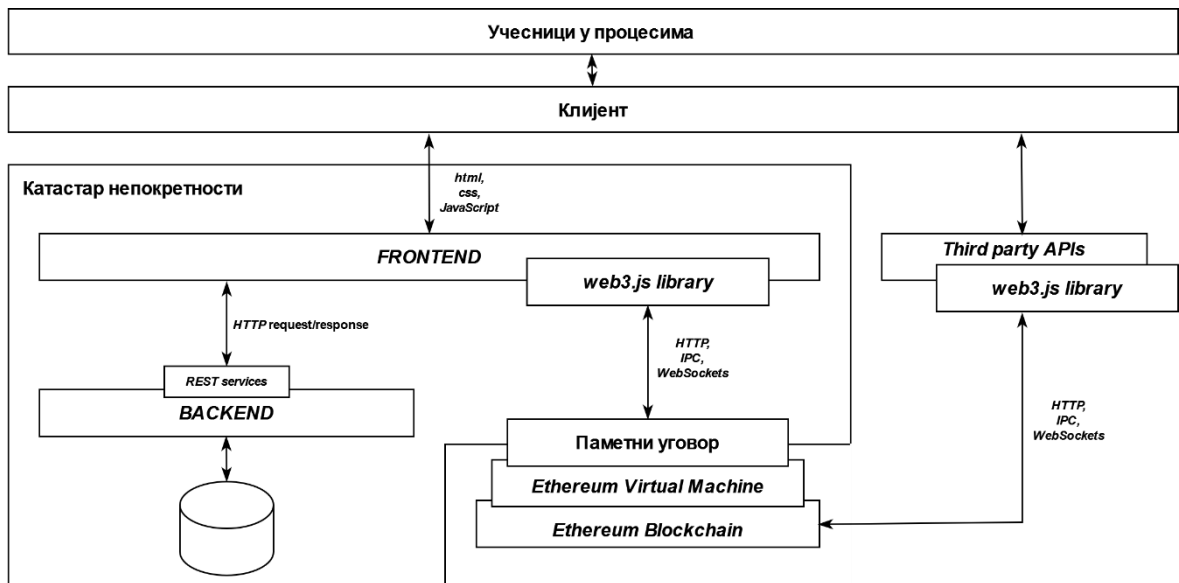
- геодетске организације – у случају да неки ентитет жели да изврши промену у просторним подацима у КН, та промена се врши на основу података које обезбеђује геодетска организација,
- јавна предузећа – размена података између јавних предузећа и КН је двосмерна, односно, у одређеним случајевима јавним предузећима је потребно да прибаве податке о власницима непокретности, када се подаци добијају из регистра земљишта, или су потребни просторни подаци, који

се налазе у катастру, када се рецимо ради о катастру водова, док у другим случајевима, нпр. након извршених радова над новим или постојећим водовима, потребно је да јавна предузећа о тим променама обавесте КН,

- судови и нотари – и у овом случају размена може бити двосмерна, када је суду или нотару потребна информација о власнику непокретности из КН, односно када је потребно да КН спроведе промену на основу судске одлуке или решења које је донео нотар,
- општине, односно градске управе којима су додељени послови вођења матичних књига – у случају да дође до промене података у евиденцији матичних књига, потребно је да управа којој је додељен посао вођења матичних књига о тим променама обавести КН,
- пореска управа – порез на имовину представља значајан извор прихода за једну државу, те је за његово правилно обрачунавање потребно да пореска управа има ажурне и тачне податке из КН, како о власнику непокретности (име, презиме, адреса) тако и о самој непокретности (локација, површина),
- банке – за потребе одобравања кредита за куповину непокретности, банкама су потребне информације о власнику непокретности, као и о самој непокретности, поред тога, банка може тражити и упис хипотеке над неком непокретношћу у самом КН,
- јавни увид – како је дефинисано законом [52], КН је јавни регистар и подаци који се налазе у њему су јавни, и свако правно или физичко лице може затражити увид у податке КН.

Поред учесника у процесу из [89], као учесници у процесу препознати су и ентитети који продају и купују удео у власништву над непокретношћу. На основу предлога архитектуре из [89], програмског интерфејса и паметног уговора који су предложени у поглављу 3 и прегледа из поглавља 4, предлаже се модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ као што је приказано на слици 4-1.





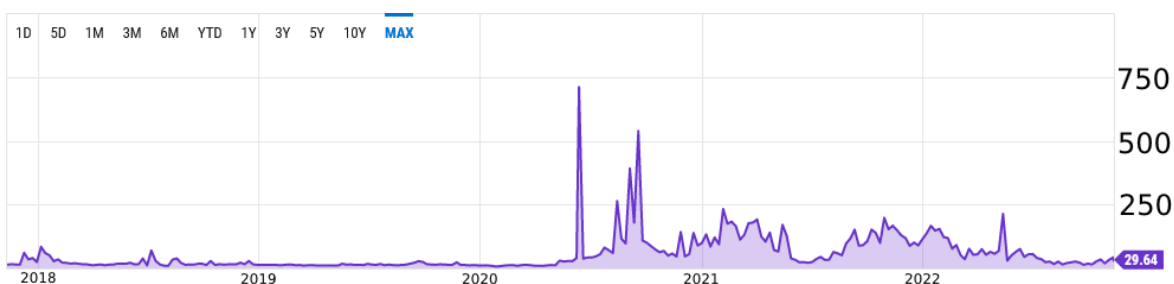
Слика 4-1. Модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ

Предложени модел представља комбинацију БТ и традиционалних информационо-комуникационих технологија. Трансакције се региструју на блокчејну (Етереум мрежа) и то је уједно и место којем се упућују упити о власништву над непокретношћу. Са друге стране потпуни подаци, и имовинско-правни и просторни, се налазе сачувани у традиционалној бази података. На пример, *address* тип податка који се користио у паметном уговору како би репрезентовао ентитет *LA\_Party* може бити мапиран у јединствени идентификатор у традиционалној бази података, који ће садржати све неопходне податке о власнику. У случају ентитета који представља власника, у складу са [52], потребно је чувати податке о имену, имену једног родитеља, презимену, пребивалишту, адреси и јединственом матичном броју за физичка лица или о називу, седишту и адреси и матичном броју за правна лица. На сличан начин, *LA\_LAUnit* која је у паметном уговору моделована коришћењем *uint256* типа податка може бити мапиран у јединствени идентификатор у традиционалној бази података који ће садржати све законом дефинисане информације.

Разлог за овај комбинован приступ је у томе што БТ није погодан за чување велике количине података, што се често помиње као једно од ограничења БТ. Наиме да би се на Етереум мрежи сачувао 1MB података потребно је 32.768 речи (енгл. *words*). На Етереум мрежи једна реч представља 256 бита. Трошак чувања једне речи на Етереум мрежи је 20.000 гаса. Стога је за чување 1MB потребно издвојити 655.360.000 гаса. Цена гаса није фиксна и током октобра 2022. године просечна цена гаса износила је 22,47 *gwei* ( $1 \text{ ether} = 10^9 \text{ gwei}$ ) [215], у истом периоду просечна вредност једног Етера износила је 1326 америчких долара [216], што значи да би за смештање 1MB података на Етереум мрежи, током октобра 2022. године, било потребно издвојити више од 19.500 америчких долара. Поред тога, требало би имати у виду да су се и вредност Етера, као и вредност гаса мењали током година, што се може видети на слици 4-2 и слици 4-3.



Слика 4-2. Кретање вредности Етера у америчким доларима [217]



Слика 4-3. Кретање вредности гаса у *wei*-ма [215]

Предложени модел архитектуре информационог система КН са компонентом за регистравање трансакција заснованом на блокчејн технологији предвиђа могућност да учесници у процесу, користећи *API*-је који су развијени независно од КН, прате промене које се дешавају у КН кроз догађаје који се објављују на блокчејн мрежи. Нпр. у случају трансакција, догађај са основним информацијама о трансакцији се емитује на блокчејн мрежи и сви заинтересовани учесници у процесу могу реаговати на те догађаје. Пример примене био би случај у којем је након регистрације трансакције потребно платити пореске обавезе. Процес обавештавања је до недавно био дужност купца непокретности, да би од недавно прешао у обавезу нотара, али применом БТ, пореска управа би могла самостално да прати промене и да на основу регистрованих промена предузме неопходне кораке. Попут пореске управе, и друга лица могу бити заинтересована за евидентирање промене власништва попут привредних друштава која пружају услуге везане за непокретност која је била предмет продаје, попут снабдевања струјом, водом, грејањем и др. Обавештавање ових привредних друштава о промени власништва над непокретношћу је тренутно обавеза купца непокретности.

На основу предложеног модела, могуће је развити информациони систем КН са компонентом за управљање трансакција заснованом на БТ, те ће и модел бити дискутован кроз приказ могуће имплементације. Учесници у процесу могу са информационом системом комуницирати користећи клијент програм, попут интернет прегледника на рачунарима, таблетица или паметним телефонима. На основу модела, информациони систем би био реализован као вишеслојна апликација у којој ће клијент

комуницирати са *frontend* делом апликације, користећи *HTML* (енгл. *HyperText Markup Language*), *CSS* (енгл. *Cascading Style Sheets*) и *JavaScript*.

За комуникацију са Етереум блокчејном, *frontend* користити *Web3 API*. *Web3 API* представља скуп библиотека које омогућавају интеракцију са Етереум блокчејном. За комуникацију са Етереум блокчејном користе се *HTTP* (енгл. *HyperText Transfer Protocol*), *IPC* (енгл. *Inter-Process Communication*) и *WebSockets*.

*Backend* део апликације може бити имплементиран тако да своје услуге пружа кроз *REST* (енгл. *Representational state transfer*) архитектурални стил, односно применом *RESTful* веб сервиса. За комуникацију између *frontend* и *backend* дела апликације користити се *HTTP*.

Под претпоставком да се за развој *RESTful* веб сервиса користио неки објектно оријентисан језик, *backend* део апликације би са базом података комуницирао користећи неки *ORM* (енгл. *Object-Relational Mapping*) радни оквир (енгл. *framework*). База података би могла бити реализована кроз нека, са аспекта БТ, традиционална решења, попут релационе базе података, што је најчешћи случај у КН, или као комбинација релационе и *NoSQL* базе података. Битно је напоменути да постоји велики број система за управљање базама података који имају подршку за управљање просторним подацима. Неки системи за управљање базама података ову подршку имају уграђену у основне верзије, попут *Microsoft SQL Server*, *MySQL Server* или *Oracle Database*, док други ову могућност пружају кроз проширења, попут *PostgreSQL* и проширење *PostGIS*.

Приликом описивања улоге сервера у клијент-сервер архитектури, наведено је да се у процесу испуњавања захтева клијента, један сервер може обратити другом серверу за додатну услугу. У предложеном случају, то би представљало ситуацију у којој би се по пријему захтева са *frontend*-а, *backend* обраћао Етереум мрежи за испуњење захтева. У предложеном моделу одабран је приступ у коме *frontend* део апликације шаље потребне захтеве *backend* делу апликације и Етереум мрежи посебно. Основни разлог за избор овог приступа је додатна подела одговорности.

Као илустрација, на основу предложеног модела, биће описана два случаја употребе и то регистрација трансакције и добијања података о власнику непокретности. У случају употребе регистрације трансакције, по пријему захтева од клијента, *frontend* ће комуницирати са паметним уговором и спровести регистрацију трансакције. По добијању потврде да је трансакција додата у блок, додатни подаци, углавном документи, ће бити сачувани у традиционалној бази података, тако што ће *frontend* комуницирати за *backend*-ом и проследити захтев заједно са потребним документима. У случају употребе у којем је потребно добити податак о власнику одређене непокретности, по пријему захтева од клијента, *frontend* ће прво комуницирати са Етереум мрежом и добити податак о адреси која представља власника одређеног токена, да би потом комуницирао са *backend*-ом, како би из традиционалне базе података, на основу прослеђене адресе, добио потпуне податке о власнику непокретности.

Преглед како би изгледале промене у комплетном процесу регистрације трансакције биће дискутоване у поглављу 5.

## 5. Верификација модела

---

Тренутни процесе купопродаје непокретности у Србији, у својој најједноставнијој форми састоји се од следећих корака:

- власник непокретности одлучује да прода непокретност;
- намеру да прода непокретност оглашава самостално или уз помоћ агенције за продају непокретности;
- заинтересовани купци контактирају продавца или агента који представља агенцију за продају непокретности како би добили основне информације и имају могућност да посете непокретност која се продаје;
- преговора се око услова купопродаје:

Битно је напоменути да се до овог тренутка односи између продавца и потенцијалног купца засновани на „доброј вољи“. Добра воља од стране купца се односи на чињеницу да, иако је релативно лако преко интернета сазнати име власника непокретности или захтевати документ од КН који ће потврдити власништво, то не пружа пуну сигурност, јер комбинација имена и презимена није јединствена, а подаци који су регистровани у КН можда још увек нису у тачном стању, што се посебно односи на непокретности које дужи временски период нису биле предмет купопродаје, или у случајевима када је купопродаја регистрована код нотара, али још увек није регистрована у КН. Добра воља од стране продавца се огледа у чињеници да до самог тренутка продаје купац није у обавези да достави потврду да има на располагању уговорени новчани износ или да је у могућности да обезбеди банкарски кредит. Имајући у виду да приликом куповине непокретности коришћењем банкарског кредита читав процес може трајати и пар месеци, продавац ризикује да изгуби време у процедури која се не мора завршити повољно по њега, а у међувремену изгуби неке потенцијалне друге купце. Дакле, до овог тренутка, само на основу добре воље, купац верује да је продавац власник непокретности и да непокретност није под теретом, а продавац верује да купац има довољно новца за куповину непокретности. Формални процес преноса власништва над непокретношћу почиње од наредног корака у којем се укључује нотар.

- продавац доставља нотару доказ о власништву;

Након што се процес преговарања заврши, потребно је да купац и продавац овере купопродајни уговор код нотара. Као први корак, обично продавац доставља нотару доказ о власништву, иако нотари имају директан приступ КН.

- потврђивање власништва;

Нотари прихватају доказ о власништву у форми Извода из листа непокретности не старији од 14 дана, али и поред тога, проверавају у КН да се у међувремену није десила нека промена. Нотари такође проверавају код надлежних судова да ли се воде поступци који могу имати утицај над непокретношћу која је предмет купопродаје.

- провера постојања ограничења трговања;  
Нотар проверава да ли постоји ограничење над неком од странака, обично се ради о продавцу, да учествује у трансакцији, а у складу са [194] [195].
- креирање нацрта купопродајног уговора;  
Купац и продавац могу доставити купопродајни уговора, али је уобичајено да нацрт купопродајног уговора направи нотар, иако је у већини случајева овај уговор стандардизован. Купопродајни уговор се састоји из следећих делова:
  - наслов који дефинише да се ради о уговору о купопродаји непокретности;
  - увода у којем се наводи датум закључивања, као и странке у поступку;
  - чланова који дефинишу:
    - непокретност која је предмет купопродаје и садржи информације о КН у којем су евидентирани подаци о непокретности, адресу непокретности, површину;
    - уговорену цену непокретности;
    - начин плаћања, попут тога да ли се плаћа целокупан износ од једном, у ратама, средствима из кредита банке;
    - датум када купац преузима посед над непокретношћу;
    - *Clausula intabulandi* (лат.), експлицитна изјава која купцу даје право да региструје права над непокретношћу;
    - прелазне и завршне одредбе које садрже ставке попут закона који ће се примењивати на све оно што није дефинисано уговором, а у Републици Србији то је Закон о облигационим односима, као и који суд ће бити надлежан у случају спора везаног за конкретан уговор;
    - потписе уговорних страна.
- провера идентитета продавца и купца;  
У овом кораку, на основу лични докумената, нотар проверава идентитете продавца и купца и потврђује да се ради о странкама које су наведене у купопродајном уговору.
- појашњавање детаља уговора продавцу и купцу;  
Дужност нотара је да учесницима у купопродајном процесу предочи кључне ставке уговора, и објасни која су њихова права, дужности и обавезе.  
Уколико се у претходним корацима установи да особа која се представља као власник није стварни власник непокретности, да се пред судом води

спор везан за непокретност која је предмет уговора, да нека од странака у поступку има ограничење на могућност учествовања у купопродаји непокретности или уколико странке које су дошле на потписивања уговора нису идентификоване као стварни продавац и купац, долази до прекида купопродајног процеса.

- пописивање уговора;

Уколико су претходно наведени услови испуњени, продавац и купац приступају потписивању потребног броја идентичних уговора. Број уговора зависи од потреба продавца и купца. Неопходни су примера за стране у поступку, нотара и КН, док додатне примерке може захтевати банка у случају хипотекарних кредита.

- дигитални потпис нотара;

Након што уговоре потпишу уговорне стране, дигиталну копију уговора потписује и нотар својим дигиталним потписом и на тај начин потврђује да су испуњени сви потребни услови за спровођење ове трансакције у КН.

- подношење докумената у КН;

Нотар је дужан да у року од 24 часа, електронска документа достави КН.

- забележба да је непокретност продата;

По пријему докумената од стране нотара, КН аутоматски креира забележбу да је непокретност предмет продаје;

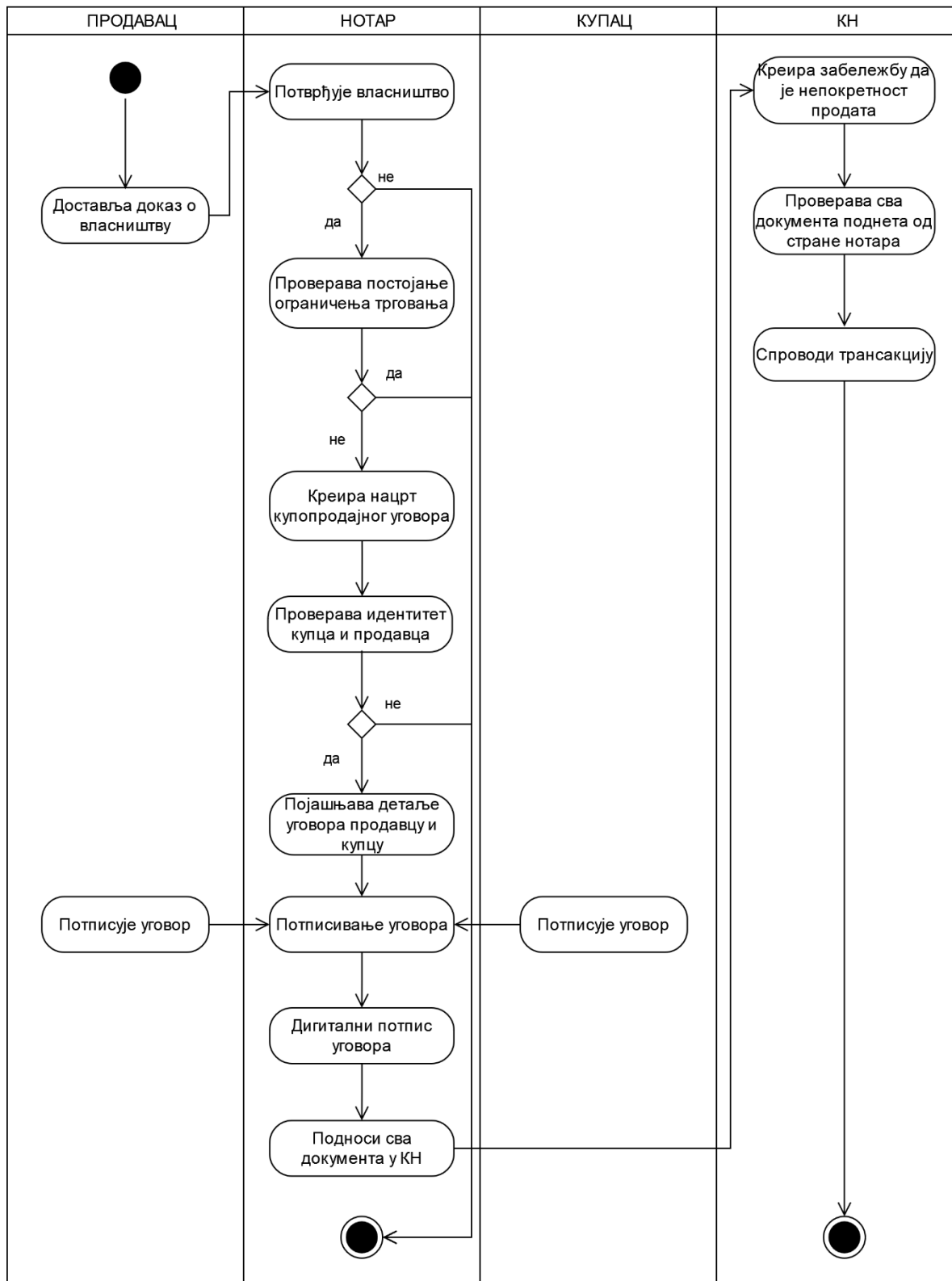
- провера докумената поднетих од стране нотара;

Иако је нотар у обавези да провери и од странака у поступку прикупи сва потребна документа у складу са законом, и иако му се за тај посао исплаћује награда, и иако за исправност поднетих докумената нотар гарантује свом својом имовином, по пријему докумената, службеници КН проверавају њихову потпуност и исправност. Током интервјуа спроведеног током истраживања на докторској дисертацији у Служби за катастар непокретности Нови Сад, изнета је тврдња да се повремено дешава да одређени документи недостају, попут сагласности супружника у случајевима кад је та сагласност неопходна.

- спровођење трансакције;

Иако је у КН већ креирана забележба, то не значи да је купац стекао сва права над непокретношћу. Сва права, ограничења и одговорности стичу се тек када се трансакција и формално региструје у КН, а то се дешава уколико су сва документа достављена од стране нотара потпуна и у складу са законским захтевима. Тада КН спроводи регистрацију трансакције и купац се региструје као нови власник непокретности. Иако се временом процес потребан за регистрацију трансакција скраћује и даље постоје предмети за које су забележбе креиране пре пар година.

Тренутни процес купопродаје приказан је на слици 5-1.



Слика 5-1. Процес купопродаје непокретности

Поред већ помињаног дугог времена потребног за регистрацију трансакција у самом КН у описаном процесу препознати су још неки проблеми и то:

- добра воља између продавца и купца у иницијалним корацима процеса;

Не постоји једноставан и јефтин начин да се провери да ли је особа која се представља као продавац стварни власник непокретности и да ли постоје нека ограничења над власником или непокретношћу.

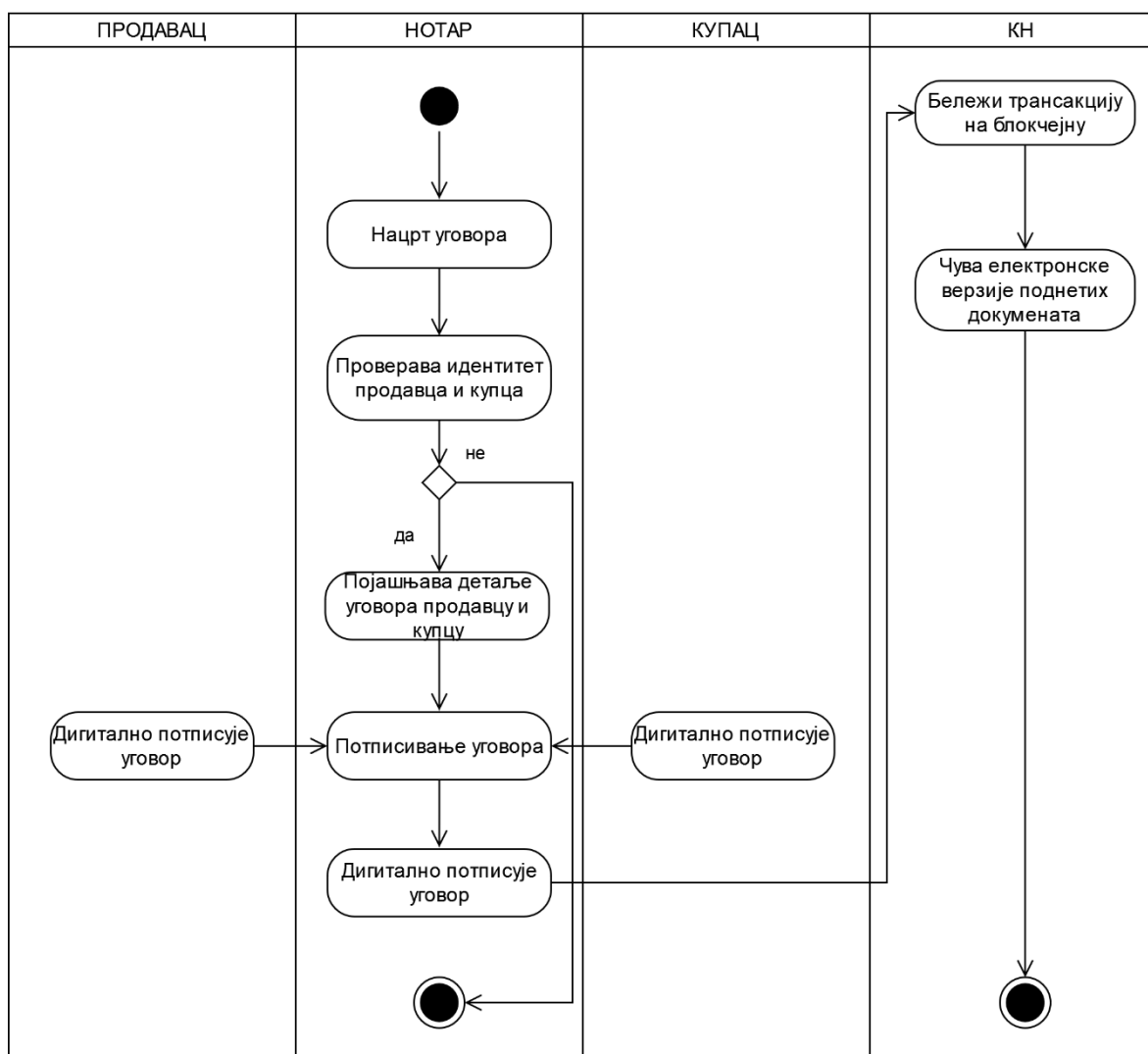
- продавац, купац и нотар чувају оригинале уговора, док КН чува оригинал и електронска документа која је потписао нотар. Ни продавац ни купац немају приступ документима који су у њихово име поднети КН;
- рок од 24 сата за достављање докумената КН након њиховог потписивања оставља могућност за двоструко трошење;
- и након пријема података од стране КН, постоји теоретска могућност неовлашћене манипулације подацима.

Применом предложеног модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на блокчејну, односно предложеног паметног уговора, процес купопродаје непокретности имао би следеће кораке:

- нотар прави нацрт купопродајног уговора или верификује да је уговор који су предложили продавац и купац правно валидан;
- нотар проверава идентитет продавца и купца који приступају потписивању уговора;
- нотар предочава кључне ставке купопродајног уговора;
- продавац и купац потписују дигиталну верзију уговора својим дигиталним потписима;
- дигитални документ потписује и нотар и на тај начин потврђује да је утврдио идентитет странака у поступку и да их је информисао о садржају уговора који потписују;
- електронска документа се подносе КН;
- трансакција токена који представља непокретност се региструје у паметном уговору КН и верификована је од стране блокчејн мреже;
- КН чува електронске верзије потписаних докумената.

Предложени процес купопродаје приказан је на слици 5-2.





Слика 5-2. Процес купопродаје непокретности заснован на предложеном моделу

За разлику од тренутног процеса у новом предложеном процесу:

- Купац може на једноставан начин са веома високим степеном сигурности проверити да ли је ентитет који се представља као власник и стварно регистрован као власник у КН
- продавац, купац, нотар и КН чува иста електронска документа
- трансакција се тренутно прослеђује паметном уговору и у кратком временском року, о чему ће више речи бити у поглављу 5.1, региструје на блокчејн мрежи,
- могућност недозвољеног манипулисања подацима је умањена, о чему ће такође бити речи у поглављу 5.1.

У предложеном процесу неопходно је постојање две позиције за треће стране од поверења, што није у складу са идејом која је постојала приликом настанка БТ, а то је да се елиминише ова потреба. Иако у предложеном моделу архитектуре информационог система то није наведено, у приказаној имплементацији паметног

уговора, већ је уграђена једна трећа страна од поверења, а то је страна која ће управљати *master* адресом, о чему ће више речи бити у наставку.

Прва од две позиције за трећу страну од поверења, а која је и даље укључена у процес је нотар. За сам процес регистрације трансакције применом предложеног паметног уговора, није неопходно учешће нотара, али у реалности, нотари или неки други званичник ће и на даље морати да буде укључен у купопродајни процес. Разлог за ово је крајње једноставан, односно, за већину људи, непокретност представља највреднију физичку имовину коју ће икада поседовати и имплементација система у којем је могуће извршити пренос власништва над овом имовином једноставним дигиталним потписом би отворио врата за потенцијалне злоупотребе попут крађе идентитета, принуде или злонамерног навођења. Краћа идентитета представља ситуацију у којој би неко дошао у посед дигиталног кључа власника непокретности, те био у могућности да изврши пренос власништва над том непокретношћу без знања стварног власника. Принуда би била ситуација у којој би особа или особе могле применом силе да натерају власника непокретности да изврши пренос власништва. Злонамерно навођење би могла бити ситуација у којој би особа могла да злоупотреби поверење и утицај које може имати над власником непокретности како би га навела да изврши пренос власништва без пуне свести о последицама које ће та активност проузроковати. Улога нотара у предложеном процесу је да провери идентитете страна у поступку, да направи или провери нацрт купопродајног уговора, да са садржајем уговора упозна станке у поступку и да све ово потврди својим дигиталним потписом, дакле улога нотара је да елиминира оне могућности злоупотребе које није могуће елиминисати применом БТ. Битно је напоменути да се могућности крађе ентитета, принуде и злонамерног навођења могу ублажити различитим начинима управљања дигиталним потписима, али свакако остаје неопходност појашњавања кључних ставки уговора странкама које га потписују.

Друга позиција за трећу страну од поверења се односи на институцију која ће управљати *master* адресом. У предложеном коду паметног уговора дефинисана је *master* адреса. *Master* адреса се одређује приликом постављања паметног уговора на блокчејн мрежу и једнака је адреси са које је послат захтев за постављање паметног уговора. Први разлог за постојање *master* адресе је потреба да се корисници заштите од грешака које могу да направе. Наиме, у случају губитка приватног кључа, власник непокретности изгубио би могућност да остварује део својих права над непокретношћу, односно, не би могао да учествује у трансакцијама. Стога је неопходно да постоји механизам који би обезбедио да стварни власник непокретности може наставити да остварује своја права чак и након губитка приватног кључа, и то је један од разлога за постојање *master* адресе.

Губитак приватног кључа није редак случај. Практично је немогуће утврдити са пуном сигурношћу колико Етера је заробљено на рачунима са изгубљеним приватним кључевима, јер осим јавног признања власника, није могуће тврдити да ли неки рачун тренутно не учествује у трансакцијама зато што је приватни кључ изгубљен или је то одлука власника. Ипак, као илустрација може послужити податак да чак 500 рачуна који су били укључени у иницијалну продају Етера по цени од 30 центи по Етеру никада нису имали никакве трансакције, што је крајње необично, јер се према [218] на

њима налази чак 532.426 Етера који су средином новембра 2022. године вредели готово 660 милиона америчких долара. Према, [219] процена је да се чак 20% Биткоина сматра изгубљеним из истог разлога, а вредност изгубљених Биткоина прелази 63 милијарде долара.

Постојање треће стране од поверења која ће управљати *master* адресом се може сматрати упитним, али предложеном имплементацијом, која подразумева да се у складу са БТ све активности *master* адресе трајно бележе на блокчејн мрежи, као и могућности које постоје за управљање *master* адресом попут коришћења више дигиталних потписа за приступ *master* адреси, могу смањити могућност евентуалне недозвољене употребе. Управљање *master* адресом може бити поверено КН, из услов да је употреба везана само за одлуку коју је донео надлежни суд или нотар.

Поред постојећих задатака, као што је чување електронских докумената везаних за трансакције, и описаног управљања *master* адресом, улога КН је проширена активностима који би биле неопходне у иницијалној фази имплементације, али и приликом сваке регистрације нове непокретности. Те активности подразумевају креирање токена који ће репрезентовати непокретности и потом додела токена власницима.

Још једна активност КН могла би потенцијално бити и иницијално издавање дигиталних потписа. Овакав начин пословања би био у складу са тренутном праксом, где државне институције издају своје различите идентификационе документе и јединствене бројеве нпр. матични број, лични број осигураника, лични број ученика, али би вероватно боља опција била да дигиталне потписе издаје и њима управља једна државна управа, те да се они могу користити у различитим сервисима. То би корисницима значајно поједноставило управљање дигиталним потписима.

## 5.1 Испитивање хипотеза

У поглављу 1.4 представљене су четири хипотезе, те ће у наставку те хипотезе бити дискутоване кроз теоријске основе презентоване у поглављу 2.2 и кроз резултате тестирања софтверског решења развијеног у поглављу 3.

*X1. На основу модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, могуће је развити информациони систем који ће умањити могућност неовлашћене манипулације подацима;*

Процес неовлашћене манипулације подацима, идентификован је као један од извора нетачности КН-а. Под неовлашћеном манипулацијом подацима овде се подразумевају активности намерне измене или уништавања података кроз неовлашћене канале. Конкретно, корупција и преваре се наводе као разлози зашто долази до неовлашћене манипулације и креирања нових нетачности у КН-у [21] [22]. Према *Transparency International* у 20% случајева преноса власништва дешавају се злоупотребе [180].

У предложеном моделу архитектуре информационог система КН, предложена имплементација компоненте за управљање трансакцијама заснована на БТ, а као платформа за имплементацију изабран је Етереум Блокчејн. Преласком на *PoS* МК, Етереум је постао блокчејн мрежа са апсолутном коначношћу. Као што је наведено у поглављу 2.2.3 коначност се постиже кроз употребу контролних блокова где је контролни блок први блок сваке епохе. Након што валидатори гласају за пар контролних блокова и уколико су ти блокови подржани од стране чворова који заједно поседују барем две трећине уложеног Етера, новији контролни блок се унапређује у финализован [111]. То значи да се на сваких 384 секунде (32 блока/слота унутар једне епохе, где се блокови додају сваких 12 секунди), постиже апсолутна коначност. Да би се спречило да блок буде проглашен коначним, нападач би морао да се „обавеже“ на губитак једне трећине укупно уложеног Етера у *PoS*, односно, средином новембра 2022. године, то би значило губитак од преко 5 милиона Етера, вредности око 6,5 милијарди долара. Имајући у виду ове вредности може се тврдити да након мало више од шест минута по уписивању трансакција у блок, сматра да више не постоји могућност да се неовлашћено манипулише подацима смештеним у блок.

Применом БТ у регистрацији трансакција смањена је могућност неовлашћеног манипулисања подацима и због јавности блокчејн мреже. Свака трансакција, па и оне које су спроведене од стране *master* адресе се јавно објављују и видљиве су свим учесницима у процесу, који могу бити обавештени о трансакцији над непокретностима за које су заинтересоване. Јавност трансакција свакако утиче на „спремност“ ентитета на евентуално неовлашћено манипулисање подацима. Као што је већ помињано, адекватно управљање *master* адресом може ову могућност додатно умањити.

Део неовлашћеног манипулисања подацима на које у предложеном моделу архитектуре није могуће утицати, везан је за податке који се налазе у традиционалној бази података, али и поред тога, примена БТ у регистрацији трансакција, на описане начине, свакако доприноси умањењу могућности злонамерне манипулације подацима.

*X2. На основу модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, могуће је развити информациони систем који ће скратити време потребно за регистрацију трансакција у КН;*

У предложеном моделу архитектуре информационог система, трансакције се региструју на блокчејн мрежи. Да би се провериле перформансе паметног уговора и блокчејн мреже спроведено је истраживање у две фазе. У првој фази крајем 2021. године на *Ropsten Ethereum Testnet* мрежи постављена је прва верзија паметног уговора. *Ropsten Ethereum Testnet* је била јавна блокчејн мрежа која је радила на истом протоколу који је користила и главна Етереум мрежа и представљала је најсличнију мрежу главној мрежи за тестирање извршавања паметних уговора на *EVM*. Паметни уговор постављен је на адреси `0xDc7919cbd85ea93370c642d937c9E87DecFa7674` (<https://ropsten.etherscan.io/address/0xDc7919cbd85ea93370c642d937c9E87DecFa7674>)

и спроведено је тестирање симулирајући 1000 трансакција непокретности. Током трансакција мерено је време између:

- тренутка у којем *frontend* упућује захтев,
- до тренутка у којем *frontend* добија информацију да је блок који садржи трансакцију уписан на блокчејн.

Мерење протеклог времена за регистрацију трансакције на *Ropsten Ethereum Testnet* дало је следеће резултате:

- Просечно измерено време – 27.34 секунде,
- Медијана – 20 секунди,
- Стандардна девијација – 25.14 секунди,
- Процент трансакција унутар  $-1\sigma$  и  $+1\sigma$  (2.20s – 52.48s) – 86.60%,
- 99% трансакција је регистровано унутар 114 секунди.

Приказ броја трансакција по протеклом времену дат је на слици 5-3 док је преглед појединачног времена за све трансакције дат на слици 5-4.



Слика 5-3. Број трансакција по протеклом времену *Ropstein*



Слика 5-4. Протекло време у секундама по трансакцији *Ropstein*

Како је средином септембра 2022. године Етереум блокчејн мрежа прешла на *PoS* МК, друга фаза провере перформанси паметног уговора и платформе спроведена је на *Sepolia Ethereum Testnet*, који је једна од тренутно препоручених мрежа за тестирање паметних уговора, јер је *Ropstein Ethereum Testnet* мрежа, које била заснована на *PoW* МК, престала са радом. Паметни уговор који је представљен у поглављу 3.1.3 постављен је на адреси

0x8e75B6b1EB2a1d70F40E96bc51906fd06c14a439

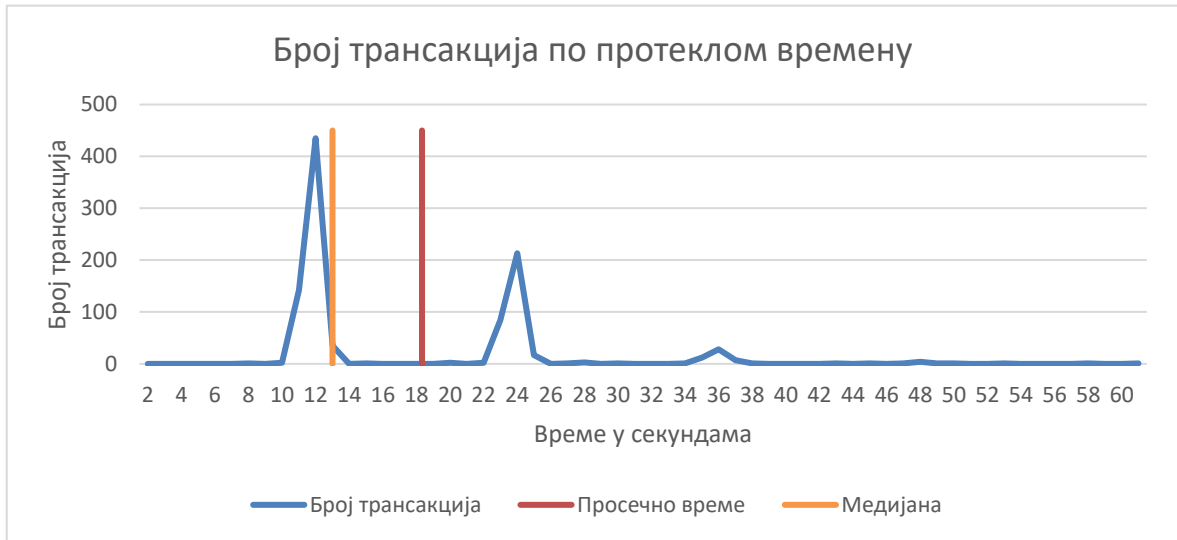
(<https://sepolia.etherscan.io/address/0x8e75b6b1eb2a1d70f40e96bc51906fd06c14a439>) и спроведено је тестирање позива *mint* функције у којој је симулирано креирање токена за 1000 непокретности, да би се потом симулирало 1000 трансакција непокретности. Као и у претходном случају, током трансакција мерено је време између:

- тренутка у којем *frontend* упућује захтев,
- до тренутка у којем *frontend* добија информацију да је блок који садржи трансакцију уписан на блокчејн.

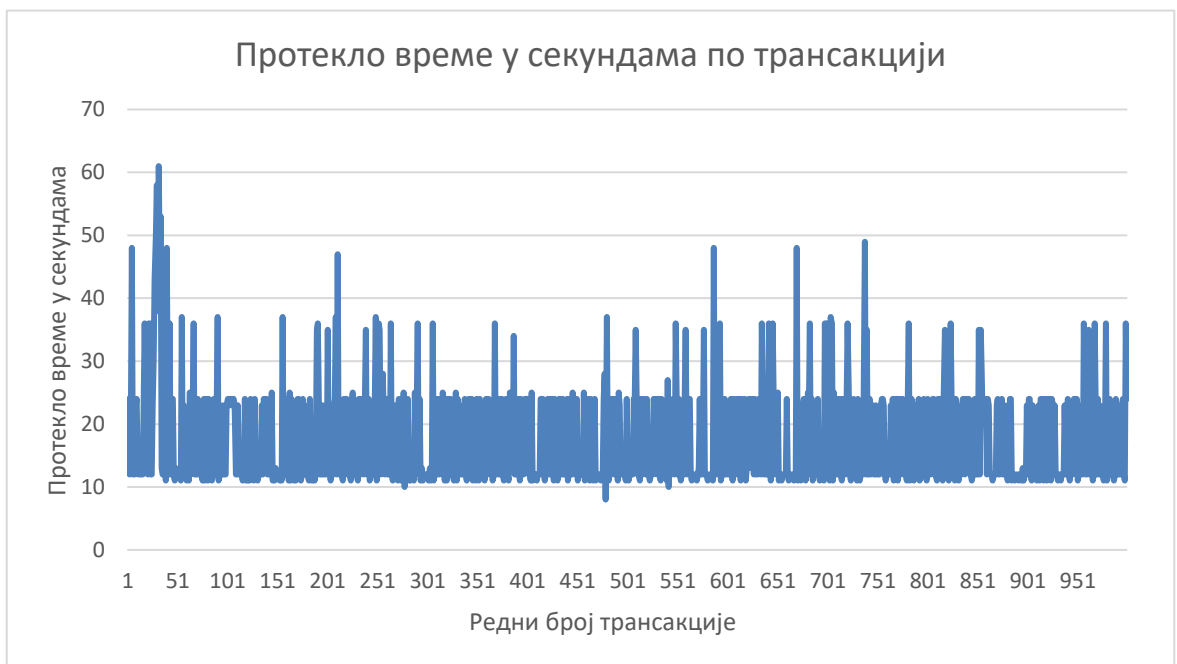
Мерење протеклог времена приликом креирања токена на *Sepolia Ethereum Testnet* дало је следеће резултате:

- Просечно измерено време – 17.33 секунде,
- Медијана – 12 секунди,
- Стандардна девијација – 7.92 секунде,
- Процент трансакција унутар –  $1\sigma$  и  $+1\sigma$  (4.08s – 19.92s) – 61.80%,
- 99,15% трансакција је регистровано унутар 24 секунде.

Приказ броја трансакција за креирање токена по протеклом времену дат је на слици 5-5 док је преглед појединачног времена за све трансакције креирања токена дат на слици 5-6.



Слика 5-5. Број трансакција креирања токена по протеклом времену *Sepolia*



Слика 5-6. Протекло време у секундама по трансакцији за креирање токена *Sepolia*

Мерење протеклог времена за регистрацију трансакције на *Sepolia Ethereum Testnet* дало је следеће резултате:

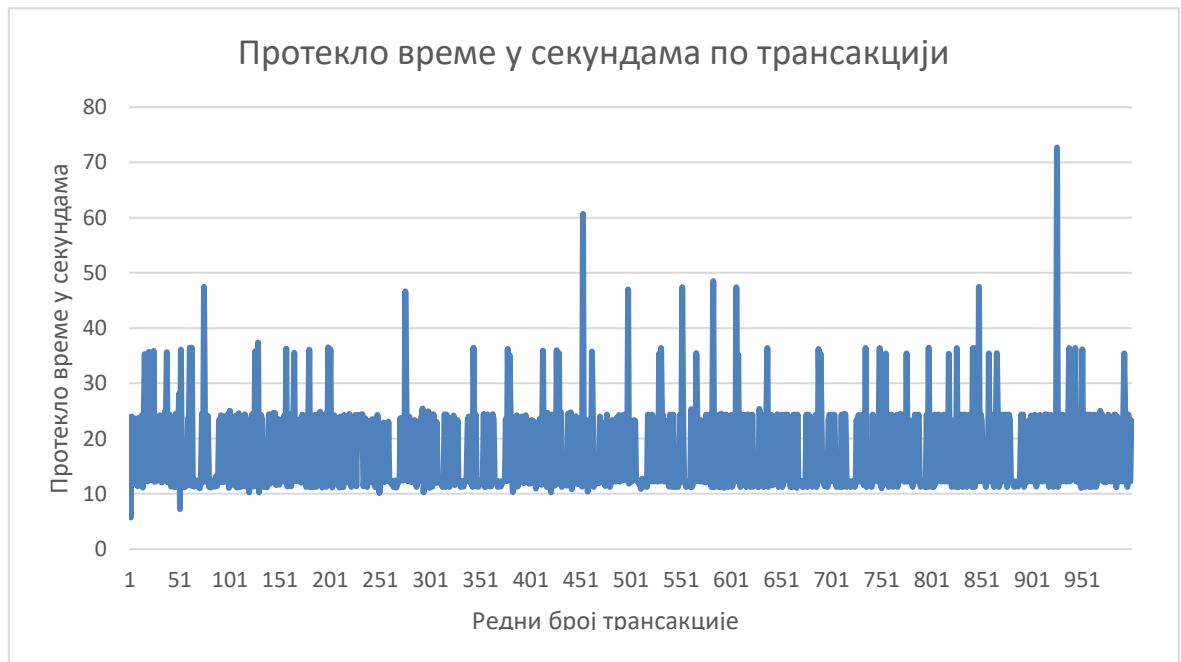
- Просечно измерено време – 16.87 секунде,
- Медијана – 12 секунди,
- Стандардна девијација – 7.64 секунде,
- Процент трансакција унутар  $-1\sigma$  и  $+1\sigma$  (4.36s – 19.64s) – 64.10%,
- 99,30% трансакција је регистровано унутар 24 секунде.

Приказ броја трансакција за креирање токена по протеклом времену дат је на слици 5-7 док је преглед појединачног времена за све трансакције креирања токена дат на слици 5-8.



Слика 5-7. Број трансакција по протеклом времену *Sepolia*

Имплементирајући предложени модел архитектура информационог система КН



Слика 5-8. Протекло време у секундама по трансакцији *Sepolia*

могуће је доћи до значајних уштеда у времену потребног за регистравање трансакција. Током новембра 2022. године, просечно време које је било потребно за додавање блока на Етереум мрежи износило је нешто више од 12 секунди, док је просечан број обрађених трансакција износио нешто испод 13 по секунди [220]. У Србији, која има популацију од нешто мање од 7 милиона становника током 2021. године регистровано је 138.380 купопродајних уговора [221], што би значило једна трансакција на нешто мање од четири минута. У Француској, држави са популацијом од нешто више од 67



милиона становника, током 2020. године било је нешто више од 1.600.000 купопродајних уговора, односно по једна трансакција сваких 20 секунди [222]. Имајући у виду ове вредности, предложени модел архитектуре информационог система и паметни уговор који се извршава на Етереум блокчејн мрежи могу скратити време потребно за регистрацију трансакција и имају неопходно капацитет да опслуже потребне захтеве.

*X3. На основу модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ, могуће је развити информациони систем који ће умањити могућност појаве двоструког трошења непокретности;*

У [95], документу који представља зачетак БТ наведено је да Биткоин представља решење проблема двоструког трошења употребом *P2P* дистрибуираног сервера за временску одредницу (енгл. *timestamp*). Применом блокчејн технологије за регистрацију трансакција, по предложеном моделу архитектуре информационог система КН, могућност двоструког трошења непокретности се значајно смањује. Чак и у случају да власник непокретности успе да пренебрегне процес продаје непокретности заснован на предложеном моделу, и успе да упути две трансакције за исти токен, обе трансакције ће завршити у истом *pool*-у непотврђених трансакција. МК ће обезбедити да приликом избора трансакција из *pool*-а, чвор изабере само ону трансакцију која је прва ушла у *pool*-у. У случају да се трансакције нађу у *pool*-у у истом тренутку и обе буду изабране у различите блокове над којим ће радити различити чворови и који ће бити потврђени, на крају ће као важећи остати само блок који добије подршку од највећег броја чворова. Ово је разлог зашто се у блокчејн мрежама које имају коначност вероватноће, корисници одлучују да сачекају да се на блокчејн дода неколико блокова пре него што трансакцију прихвате као коначну. Имајући у виду наведене карактеристике Етереум блокчејн мреже, модел архитектуре информационог система и паметни уговор могу довести до смањења могућности појаве двоструког трошења.

*X4. На основу модела архитектура информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ могуће је развити информациони систем који може обрадити све потребне случајеве употребе КН везане за трансакције власништва.*

У поглављу 3 препознато је шест случајева употребе КН везано за трансакције у власништва и то:

I. Више ентитета може имати различит удео у власништву над једном непокретношћу – Декларисањем промењивих стања *realEstateOwners* и *realEstateOwnersShare* у предложеном уговору, омогућено је евидентирање ситуација у којој над једном непокретношћу више ентитета може делити власништво у различитим уделима и на овај начин подржан је тражени случај употребе.

II. Власник ентитета може пренети мање од 100% свог удела – У *LandAdministrationSystemInterface*-у дефинисана је функција *transferFrom* у којој је један од параметара *\_share* типа *uint16* који представља удео у власништву који се преноси. Имплементацијом *transferFrom* функције у предложеном паметном уговору омогућено је пренос удела у власништву мањем од 100% и евидентирања промена у *realEstateOwners*, *realEstateOwnersShare* и *ownedRealEstates* промењивим стања. На овај начин подржан је тражени случај употребе.

III. Власнику ентитета може бити забрањено располагање имовином – Декларисањем промењиве стања *disapproved* у предложеном паметном уговору, омогућено је евидентирање ентитета којима је забрањено располагање имовином. Приликом позива функције *transferFrom* имплементирана је провера стања промењиве *disapproved* за вредност адресе са које се врши трансакција. На овај начин подржан је тражени случај употребе.

IV. Пренос власништва може извршити ентитет који није власник непокретности – Дефинисањем *master* адресе као промењиве стања и омогућавајући да се коришћењем *transferFrom* функције изврши пренос власништва над било којом непокретношћу докле год је позив функције упућен са *master* адресе, подржан је тражени случај употребе.

V. Непокретност се може поделити на више нових непокретности;

Процес поделе једне непокретности на више нових непокретности могуће је реализовати тако што ће се користећи *mint* функцију креирати нови токени који ће репрезентовати нове непокретности, док ће токен који је представљао стару непокретност бити „уништен“ слањем на нула адресу. На овај начин подржан је тражени случај употребе.

VI. Више непокретности се може спојити у једну нову непокретност;

Процес спајања више постојећих у једну нову непокретност се може постићи тако што ће се користећи *mint* функцију креирати нови токен који ће репрезентовати нову непокретност, док ће се токени који су репрезентовали непокретности које су спајане бити „уништени“ слањем на нула адресу. На овај начин подржан је тражени случај употребе.

## 5.2 Ограничења

Када се говори о ограничењима у БТ, обично се креће од броја трансакција које мрежа може обрадити у једној секунди. Као што је приказано у поглављу 5.1, просечан број обрађених трансакција на Етереум блокчејну је износио нешто мање од 13 секунди, док максималан број које мрежа може подржати износи 20. Биткоин мрежа може подржати 7 трансакција у секунди. Ове вредности су значајно мање ако се има у виду да *Visa* подржава 24.000 трансакција у секунди [223]. Такође, приказано је да са тренутним бројем трансакција Етереум мрежа има капацитет да опслужи и КН, али се поставља питање како би се понашала мрежа у случају када би постала избор за имплементација компоненти информационих система великог броја КН. У том случају би избор платформе вероватно морао да буде нека хибридна имплементација блокчејн мреже која би служила само потребама КН.

Друго ограничење је везано за немогућност да се на БТ чувају велике количине података, и то је разлог зашто се у предложеном решењу на блокчејн мрежи чувају само хеш вредности докумената на основу којих се спроводи трансакција. Нека од предложених решења су примена *IPFS*, *Ethereum Swarm*, и *Torrent* мрежа, али свако од ових решења има недостатке. У *IPFS*, само се хеш вредности докумената размењују између суседних чворова, док се документи размењују само у случају да им неко приступа. Стога не постоји гаранција да ће се документ трајно чувати на *IPFS*, јер уколико му други чворови не приступају, и једини чвор на коме се документ налази престане да буде део мреже, то значи и да је документ изгубљен. Исто објашњење се може понудити и за *Torrent* мреже, уколико се документ не преузима, чува се само на једном чвору од ког зависи његово постојање на мрежи. По питању *Ethereum Swarm*, то би могло бити решење за чување докумената на дистрибуираној мрежи, али у овом тренутку *Ethereum Swarm* је још увек у бета фази и докле год се не имплементира систем награде, не постоји гаранција да ће документи бити трајно сачувани.

Још једно ограничење за примену БТ у КН везано је за неопходност постојања правне сигурности. Неопходно је да дође до промене законских и подзаконских аката како би БТ била одобрена за примену од стране државе. Потребно је јасно дефинисати правно важење паметних уговора, као и контроле над дигиталним потписима. Без подршке државе КН са компонентом заснованом на БТ не може бити имплементиран. Као илустрација, у Италији, још од 2018. године, паметни уговори су препознати као правно важећи на исти начин као што је то случај са традиционалним уговорима [224].

Како је за извршавање паметног уговора неопходан гас, а цена гаса зависи од цене Етера, може се поставити питање честог мењања цене извршавања паметног уговора као последица непредвидивости цене криптовалута, али и непредвидивости цене гаса, која зависи од тренутног оптерећења мрежа. Имајући у виду да и сада промене у КН подразумевају плаћање одређених такси, које обично нису мале, могуће је трошкови извршавања паметних уговора неће имати велики удео таксама, али би први корак пре имплементацији свакако требало да представља анализа очекиваних трошкова извршавања трансакција на блокчејну.

Такође, у предложеном паметном уговору, приказано је како може бити имплементиран одређен број функција које служе за проверу испуњености одређених услова попут *getIndexOfOwner*, *removeFromRealEstateOwnersIfNoShare* и *addToRealEstateOwnersIfNewOwner*. Са повећањем броја трансакција које су регистроване у паметном уговору, позиви овим методама могу проузроковати значајано повећање неопходне количине гаса потребног за коришћење паметног уговора. Стога би било неопходно истражити могућности оптимизације паметног уговора или могућност да се неке од функционалности спроводе ван паметног уговора уз очување свих неопходних функционалности.

У самом предложеном паметном уговору, једно од битних ограничења је могућност да паметни уговор буде позван ван информационог система КН. Како су паметни уговори на Етереум мрежи јавни, свако може креирати интерфејс ка предложеном паметном уговору и користити његове функционалности. У случају имплементације ово је свакако нешто што би обавезно морало да буде решено, било кроз неопходност потврде трансакције од стране *master* адресе или од нотара.

### 5.3 Теоријске и практичне импликације

У раду се истичу четири кључне теоријске импликације. Прва је предложени модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ чијом имплементацијом је могуће довести до ублажавања дела проблема који постоје у КН, углавном оних везаних за власништво и за пренос власништва.

Друга кључна теоријска импликација је да, иако је модел архитектуре информационог система са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ развијан како би задовољио потребе КН, током развоја модела није се ишло ка томе да он буде уско везан са КН, већ ка могућности да се предложени модел може употребити и у другим системима који имају потребу за управљањем трансакцијама на један транспарентан и поуздан начин. Предложени модел архитектуре информационог система је такође у складу са савременом праксом у којој се приликом имплементација користе различите технологије за различите делове информационог система, односно за сваки део система могуће је изабрати технологију која ће донети највише предности.

Трећа кључна теоријска имплементација је предложени интерфејс за креирање паметног уговора за потребе КН који ће моћи да подржи све потребне случајеве употребе који се дешавају приликом преноса власништва над непокретностима, али и приликом комбинованих трансакција КН.

Четврта кључна теоријска импликација је да је, као и у претходном случају, и приликом дефинисања овог интерфејса намера је била да се креира предлог који ће моћи да се примењује и у другим областима, а не само у КН. Стога је део неопходних ограничења и захтева везаних за случајеве употребе из КН, реализован само унутар паметног уговора, а није дефинисан у самом интерфејсу. Предложени интерфејс може послужити као основа за неки нови *ERC* који би постао стандард за креирање ове врсте токена.

Што се тиче практичне импликације, приказана је конкретна имплементација паметног уговора у *Solidity* програмском језику која задовољава потребе имовинско-правних и комбинованих трансакција у КН. У радовима који су објављени на ову тему, није пронађен предлог имплементације чак ни оног „најједноставнијег“ случаја употребе који се најчешће описује, а то је да један ентитет преноси потпуно власништво над непокретношћу другом ентитету. У приказаном паметном уговору показано је како је могуће имплементирати свако од конкретних ограничења постављених у *LandAdministrationSystemInterface*-у, као и како обезбедити неопходну конзистентност података. Предложени паметни уговор може послужити као основа за даљи развој у области КН, али и за друге примене у којима је неопходно регистровати дељено власништво над непокретностима.

# 6. Закључци и правци будућих истраживања

У првим поглављима ове дисертације, кроз уводна разматрања и преглед теоријских основа и стања у области, дата су објашњења основних појмова КН и БТ. У представљеној литератури приказане су позитивне оцене о могућој промени БТ у КН. Идентификовани су проблеми који постоје у савременим КН, те предложен модел архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ. На основу предложеног модела, имплементиран је паметни уговор који је подржао све предвиђене случајеве употребе. Имплементација је тестирана и приказани су резултати спроведених тестова. Из претходно наведеног издвојени су следећи резултати остварени у оквиру ове дисертације:

1. Прегледом литературе у оквиру дисертације уочен је недостатак да се у већини радова није ишло даље од позитивне оцене "компатибилности" КН и БТ. У овој дисертацији, идентификовани конкретни проблеми КН чије ефекте је могуће ублажити применом БТ.
2. За разлику од ранијих радова на ову тему, у овој дисертацији се није узимао у обзир само један најједноставнији случај употребе трансакције КН, где један власник продаје непокретност једном купцу, већ су након анализе трансакција КН идентификовани сви неопходни случајеви употребе које је потребно подржати применом БТ.
3. Дат је предлог модела архитектуре информационог система КН са компонентом за управљање трансакцијама заснованом на БТ који поред примене у КН има и могућност примене у другим системима у којима је потребно реализовати трансакције на поуздан и транспарентан начин.
4. Предложен је програмски интерфејс за КН, који може послужити за креирање новог *ERC* који би решио проблем дељеног власништва над јединственим токенима и у другим системима, не само у КН.
5. Приказан је конкретан начин могуће имплементације паметног уговора који ће моћи са опслужи све дефинисане случајеве употребе за КН.

## 6.1 Правци будућих истраживања

Будућа истраживања би могла да се одвијају у три кључна правца и то:

- чување велике количине података,
- трошкови везани за извршавање паметних уговора и
- избор платформе.

У дисертацији је већ наведен проблем чувања велике количине података на самом блокчејну и иако је то могуће, уз веома високе трошкове, у пракси је то мало вероватно. Средином новембра 2022. године, сваки пуни чвор, односно чвор који је чувао податке о свим трансакцијама које су се десиле на Етереум мрежи, морао је да обезбеди простор за чување нешто више од 1ТВ података. Уколико би се на самој

Етереум мрежи чувале веће количине података, то би значило да сви пуни чворови морају да обезбеде простор за смештање тих података, што би вероватно брзо довело до тога да би одређени број пуних чворова напусти мрежу. Са друге стране, постоји потреба за децентрализованим системом за смештање података, што би могло довести до тога да цео информациони систем буде децентрализован, а не да, као што је то случај у предложеном моделу, његова компонента за перзистенцију података буде централизована. Нека од могућих решења су помињана у дисертацији, и од највише обећава Етереум *Swarm*, који је развио систем подстицаја и који би могао да се примени у оваквим системима, али свакако постоји потреба за даљим истраживањима у овој области.

Такође, у дисертацији је помињана и потреба за анализом саме имплементације паметног уговора са аспекта трошкова који су повезани са његовим извршавањем. Потребно је истражити начине имплементације који би смањили потрошњу гаса приликом извршавања паметног уговора. Једна од могућности је везана за дистрибуиран систем за смештање података у којем би могле да се чувају у промењиве стања паметних уговора. Такође, у случају конкретних имплементација било би неопходно спровести истраживања која ограничења је неопходно спроводити у паметном уговору, а које је могуће спроводити и традиционалним ИКС.

На проблем трошкова делимично се надовезује и питање избора адекватне платформе за имплементацију паметних уговора. У дисертацији су као основа послужила два истраживања, али ни у једном од ова два истраживања у обзир нису узимани финансијски трошкови извршавања паметних уговора. Стога се јавља потреба за истраживањем које ће у факторе који утичу на избор платформе укључити и трошкове извршавања паметног уговора, што може довести до избора неке друге платформе, попут хибридне.

Будућа истраживања ће свакако бити настављена и у области примене БТ у КН и истраживање у правцу проналажењу нових решења која могу допринети како побољшању услуга које КН пружа, тако и поверења које заинтересоване снаге имају у пружене услуге и читав систем КН.

# 7. Литература

---

- [1] H. Kshetri, J. Voas, R. Sharma, „Computing and Socioeconomic Transformations,“ *Computer*, pp. 26-29, 2021.
- [2] UN Department of Economical and Social Affairs, „E-Government Survey 2020 - Digital Government in the Decade of Action for Sustainable Development,“ United Nations, New York, USA, 2020.
- [3] G. Viale Pereira, Y. Charalabidis, C. Alexopoulos, F. Mureddu, P. Parycek, A. Ronzhyn, D. Sarantis, L. Flak, M. Wimmer, „Scientific Foundations Training and Entrepreneurship Activities in the Domain of ICT-enabled Governance,“ *In Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: Governance in the Data Age*, Delft, Netherlands, 2018.
- [4] D. Allessie, M. Sobolewski, L. Vaccari, „Blockchain for Digital Government,“ Publications Office of the European Union, Brussels, Belgium, 2018.
- [5] T. Suyambu, M. Anand, M. Janakirani, „Blockchain – A Most Disruptive Technology On The Spotlight Of World Engineering Education Paradigm,“ *Procedia Computer Science*, pp. 152-158, 2020.
- [6] M. Sharma, S. Kumar, „The Implication of Blockchain as a Disruptive Technology for Construction Industry,“ *IIM Kozhikode Society & Management Review*, pp. 1-12, 2020.
- [7] J. Frizzo-Barker, P. Chow-White, P. Adams, J. Mentanko, D. Ha, S. Green, „Blockchain as a Disruptive Technology for Business: A Systematic Review,“ *International Journal of Information Management*, vol. 51, 2020.
- [8] A. Hrga, T. Capuder, I. Podnar Žarko, „Demystifying Distributed Ledger Technologies: Limits, Challenges, and Potentials in the Energy Sector,“ *IEEE Access*, vol. 8, pp. 126149-126163, 2020.
- [9] S. Ølnes, J. Ubacht, M. Janssen, „Blockchain in Government: Benefits and Implications of Distributed Ledger Technology for Information Sharing,“ *Government Information Quarterly*, vol. 34, pp. 355-364, 2017.
- [10] J. Vos, „What Should We (Not) Do With Land Administration Data?,“ *In Proceedings of 2017 World Bank Conference on Land and Poverty*, Washington, DC, USA, 2017.
- [11] C. Alexopoulos, Y. Charalabidis, A. Androutsopoulou, M. Loutsaris, Z. Lachana, „Benefits and Obstacles of Blockchain Applications in E-Government,“ *In Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, Honolulu, USA, 2019.

- [12] V. Lemieux, „Evaluating the Use of Blockchain in Land Transactions: An Archival Science Perspective,“ *European Property Law Journal*, vol. 3, p. 6, 2017.
- [13] G. Miscione, R. Ziolkowski, L. Zavolokina, G. Schwabe, „Tribal Governance: The Business of Blockchain Authentication,“ *In Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) 2018*, Waikoloa Village, Hawaii, USA, 2018.
- [14] C. Muller, M. Seifert, „Blockchain, a Feasible Technology for Land Administration?,“ *In Proceedings of FIG Working Week 2019*, Hanoi, Vietnam, 2019.
- [15] C. Lemmen, J. Vos, BeentjesB., „Ongoing Development of Land Administration Standards,“ *European Property Law Journal*, vol. 6, issue 3, 2017.
- [16] M. Nofer, P. Gomber, O. Hinz, D. Schiereck, „Blockchain,“ *Business & Information Systems Engineering*, vol. 59, issue 3, 2017.
- [17] J. Henssen, I. Williamson, „Land Registration, Cadastre and Its Interaction; A World Perspective,“ *y Proceedings XIX FIG Congress, Commission 7*, Helsinki, 1990.
- [18] S. Bittner, A. Frank, „A Formal Model of Correctness in a Cadastre,“ *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 26, issue 5, pp. 465-482, 2002.
- [19] G. Hunter, K. Beard, „Understanding error in spatial databases,“ *Australian Surveyor*, vol. 37, issue 2, pp. 108-119, 1992.
- [20] ISO TC 211, „ISO 19157:2013 Geographic Information - Data Quality,“ ISO, Geneva, Switzerland, 2013.
- [21] J. Vos, „Blockchain-based land registry: Panacea illusion or something in between?,“ *In Proceedings of the IPRA/CINDER Congress*, Dubai, UAE, 2017.
- [22] V. Lemieux, „Trusting records: Is blockchain technology the answer?,“ *Records Management Journal*, vol. 26, issue 2, pp. 110-139, 2016.
- [23] M. Kempe, „The land registry in the blockchain-testbed,“ *Kairos Future*, Stockholm, Sweden, 2017.
- [24] M. Delić, *Menadžment kvaliteteom i primena inforacionih tehnologija: kombionovani uticaj na performanse organizacije*, Novi Sad, Serbia: FTN Grid, 2017.
- [25] T. Lolić, „Prošireni model merenja uspešnosti informacionih sistema,“ *UNS FTN*, Novi Sad, Serbia, 2020.
- [26] C. Schmid, C. Hertel, H. Wicke, „Real Property Law and Procedure in the European Union,“ *European University Institute (EUI) Florence/European Private Law Forum Deutsches Notarinstitut (DnotI)*, Würzburg, 2005.
- [27] R. Bennett, A. Rajabifard, M. Kalantari, J. Wallace, I. Williamson, „Cadastral Futures: Building a New Vision for the Nature and Role of Cadastres,“ *y Proceedings of FIG Congress 2010*, Sydney, Australia, 2010.



- [28] J. McLaughlin, „The Nature, Design and Development of Multi-Purpose Cadastres,“ PhD Thesis, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, United States, 1975.
- [29] I. Williamson, „Cadastres and Land Information Systems in Common Law Jurisdictions,“ *Survey Review*, pp. 114-119, 1985.
- [30] International Federation of Surveyors by Commission 7, „Statement on the Cadastre,“ FIG Publication, Copenhagen, Denmark, 1995.
- [31] United National Interregional Meeting of Experts on the Cadastre, „The Bogar Declaration,“ FIG, Copenhagen, Denmark, 1996.
- [32] UN-FIG, „The Bathurst Declaration,“ y *Proceedings of International Workshop on Land Tenure and Cadastral Infrastructures in Support of Sustainable Development*, Bathurst, Australia, 1999.
- [33] J. Kaufmann, D. Steudler, „Cadastre 2014 - A Vision for a Future Cadastral System,“ FIG, Copenhagen, 1998.
- [34] S. Enemark, I. Williamson, J. Wallace, „Building Modern Land Markets in Developed Economies,“ *Journal of Spatial Sciences*, vol. 50, issue 2, pp. 51-68, 2005.
- [35] P. van Oosterom, C. Lemmen, T. Ingvarsson, P. van der Molen, H. Ploeger, W. Quak, J. Stoter, J. Zevenbergen, „The Core Cadastral Domain Model,“ *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 30, issue 5, 2006.
- [36] T. Bennett, A. Rajabifard, I. Williamson, J. Wallace, „On the Need for National Land Administration Infrastructures,“ *Land Use*, vol. 29, pp. 208-219, 2012.
- [37] V. Cagdas, E. Stubkjær, „Core Immovable Property Vocabulary for European Linked Land Administrations,“ *Survey Review*, vol. 47, pp. 49-60, 2015.
- [38] M. Iban, O. Aksu, „A Model for Big Spatial Rural Data Infrastructure in Turkey: Sensor-driven and Integrative Approach,“ *Land Use Policy*, vol. 91, 2020.
- [39] H. Inan, „Associating Land Use/Cover Information With Land Parcels Represented in LADM,“ *Land Use Policy*, vol. 49, pp. 626-633, 2015.
- [40] P. Drobež, M. Kosmatin Fras, M. Ferlan, A. Lisec, „Transition From 2D to 3D Real Property Cadastre: The Case of the Slovenian,“ *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 62, pp. 125-135, 2015.
- [41] A. Przewiezlikowska, „Legal Aspects of Synchronising Data on Real Property Location in Polish Cadastre and Land and Mortgage,“ *Land Use Policy*, vol. 95, 2020.
- [42] V. Cetl, M. Roic, M. Mastelic Ivic, „Towards a real property Cadastre in Croatia,“ *Survey Review*, vol. 44, pp. 17-22, 2012.
- [43] D. Kitsakis, C. Apostolou, E. Dimopoulou, „Three-dimensional cadaster modelling of customary real property rights,“ *Survey Review*, vol. 50, pp. 107-121, 2015.
- [44] A. Kara, V. Cagdas, V. Isikdag, „The LADM Valuation Information Model and Its Application to the Turkey Case,“ *Land Use Policy*, vol. 104, 2021.

- [45] H. Tomić, S. Mastelić Ivić, M. Roić, J. Šiško, „Developing an Efficient Property Valuation System Using the LADM Valuation Information Model: A Croatian Case Study,“ *Land Use Policy*, vol. 104, 2021.
- [46] E. Unger, J. Zevenbergen, R. Bennett, C. Lemmen, „Application of LADM For Disaster Prone Areas and Communities,“ *Land Use Policy*, vol. 108, pp. 118-126, 2019.
- [47] E. Unger, R. Bennett, C. Lemmen, J. Zevenbergen, „LADM for Sustainable Development: An Exploratory Study on the Application of Domain-specific Data Models to Support the SDGs,“ *Land Use Policy*, vol. 108, 2021.
- [48] G. Rockson, R. Bennett, L. Groenendijk, „Land Administration for Food Security: A Research Synthesis,“ *Land Use Policy*, vol. 32, pp. 337-342, 2013.
- [49] E. Zysk, A. Dawidowicz, M. Nowak, M. Figurska, S. Zrobek, R. Zrobek, „Organizational Aspects of the Concept of a Green Cadastre for Rural Areas,“ *Land Use Policy*, vol. 91, 2020.
- [50] M. Habib, „Developing a Sustainability Strategy for Multipurpose Cadastre in Post-Conflict Syria,“ *Land Use Policy*, vol. 97, 2020.
- [51] A. Indrajit, B. van Loenen, H. Ploeger, P. van Oosterom, „Developing a Spatial Planning Information package in ISO 19152 Land Administration Domain Model,“ *Land Use Policy*, vol. 98, 2020.
- [52] „Zakon o državnom premeru i katastru,“ "Sl. glasnik RS", br. 9/2020, Belgrade, Serbia, 2020.
- [53] Đ. Pržulj, I. Dejanović, M. Stefanović, T. Lolić, S. Sladojević, „Domain-Specific Language for Land Administration System Transactions,“ *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, issue 425, 2022.
- [54] Technical Committee ISO/TC 211, „ISO 19103:2005; Geographic Information - Conceptual Schema Language,“ International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2005.
- [55] D. Steudler, I. Williamson, J. Kaufmann, D. Grant, „Benchmarking Cadastral Systems,“ *The Australian Surveyor*, vol. 42, issue 3, pp. 87-106, 1997.
- [56] Independent Pricing and Regulatory Tribunal of New South Wales, „Benchmarking Local Government Performance in New South Wales,“ IPRT, Sydney, 1998.
- [57] Republički geodetski zavod, „Strategija mera i aktivnosti za povećanje kvaliteta usluga u oblasti geoprostornih podataka i upis prava na nepokretnostima u zvanočnoj državnoj evidenciji - Refomrski put Republičkog geodetskog zavoda do 2020. godine,“ "Sl. glasnik RS", br. 8/2017, Beograd, Srbija, 2017.
- [58] „Zakon o državnom premeru i katastru i upisima prava o nepokretnostima,“ "Sl. glasnik RS", br. 83/1992, Beograd, Srbija, 1992.
- [59] European Commission, „INSPIRE,“ 12 08 2022. [Online]. Available: <https://inspire.ec.europa.eu/>. [Accessed 12 08 2022].
- [60] C. Lemmen, P. van Oosterom, R. Bennett, „The Land Administration Domain Model,“ *Land Use Policy*, vol. 49, pp. 535-545, 2015.

- [61] P. van Oosterom, C. Lemmen, „The Land Administration Domain Model (LADM): Motivation, Standardisation, Application and Further Development,“ *Land Use Policy*, vol. 49, p. 527–534, 2015.
- [62] ISO TC 211, „ISO 19106:2004 Geographic information — Profiles,“ The International Organization for Standardization, Geneva, 2004.
- [63] A. Radulović, D. Sladić, M. Govedarica, A. Ristić, D. Jovanović, „LADM Based Utility Network Cadastre in Serbia,“ *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8(5), issue 6, 2019.
- [64] L. Lisjak, M. Roić, H. Tomić, S. Mastelić Ivić, „Croatian LADM Profile Extension for State-Owned Agricultural Land Management,“ *Land*, vol. 10, issue 222, 2019.
- [65] M. Abdeslam Adad, S. El Hassane, M. El-ayachi, F. Ibannaina, „Supporting Land Data Integration and Standardization Through,“ *Land use policy*, vol. 97, 2020.
- [66] B.-M. Lee, T.-J. Kim, B.-Y. Kwak, Y.-H. Lee, J. Choi, „Improvement of the Korean LADM Country Profile to Build a 3d Cadastre,“ *Land use policy*, vol. 49, 2015.
- [67] ISO TC 211/WG 7, „Geographic information — Land Administration Domain Model (LADM),“ The International Organization for Standardization, Geneva, 2012.
- [68] E. Kalogianni, M. Kalantari, E. Dimopoulou, P. van Oosterom, „LADM Country Profiles Development: Aspects to Be Reflected and Considered,“ y *Proceedings of the 8th Land Administration Domain Model Workshop*, Kuala Lumpur, Indonesia, 2019.
- [69] Đ. Pržulj, N. Radaković, D. Sladić, A. Radulović, M. Govedarica, „Domain Model for Cadastral Systems with Land Use,“ *Survey Review*, vol. 51, pp. 135-146, 2017.
- [70] M. Stefanović, M. Pržulj, D. Stefanović, M. Vukmanović, D. Ristić, „OCL Specification of Inter-Register Integrity Constraints,“ y *Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, Varaždin, Croatia, 2017.
- [71] A. Polat, M. Alkan, „Design and Implementation of a LADM-based External Archive Data Model for Land Registry and Cadastre Transactions in Turkey: A Case Study of Municipality,“ *Land Use Policy*, vol. 77, pp. 249-266, 2018.
- [72] A. Lisec, M. Ferlan, M. Šumrada, „UML Notation for the Rural Land Transaction Procedure,“ *Geodetski vjesnik*, vol. 51, pp. 11-34, 2007.
- [73] K. Fradkin, Y. Doytsher, „Establishing an Urban Digital Cadastre: Analytical Reconstruction of Parcel Boundaries,“ *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 26, issue 5, pp. 447-463, 2002.
- [74] G. Rowe, „The Survey-Conversion of Project- Making a Survey-Accurate Cadastre in New Zealand a Reality,“ *Journal of New Zealand Institute of Surveyors*, vol. 293, issue June, 2003.
- [75] T. Buyong, W. Kuhn, A. Frank, „A Conceptual Model of Measurement Based Multi-Purpose Cadastral Systems,“ *URISA Journal*, pp. 35-49, 1991.

- [76] M. Elfick, „A Cadastral Geometry Management System,“ *The Australian Surveyor*, pp. 35-40, 1995.
- [77] D. Spaziani, „Constructing a Survey Accurate Digital Cadastre,“ y *Proceedings of FIG XXII International Congress*, Washington, D.C. USA, 2002.
- [78] P. van Oosterom, „Research and Development in 3D Cadastres,“ *Computers Environment and Urban Systems*, vol. 40, pp. 1-6, 2013.
- [79] A. Aien, M. Kalantari, A. Rajabifard, I. Williamson, J. Wallace, „Towards Integration of 3D Legal and Physical Objects in Cadastral Data Models,“ *Land Use Policy*, vol. 35, pp. 140-154, 2013.
- [80] D. Shojaei, M. Kalantari, I. Bishop, A. Rajabifard, A. Aien, „Visualization Requirements for 3D Cadastral Systems,“ *Computers Environment and Urban Systems*, vol. 41, pp. 39-54, 2013.
- [81] F. Doner, R. Thompson, J. Stoter, C. Lemmen, H. Ploeger, P. van Oosterom, S. Zlatanova, „4D cadastres: First Analysis of Legal, Organizational, and Technical Impact - With a Case Study on Utility Networks,“ *Land Use Policy*, vol. 27, issue 4, pp. 1068-1081, 2010.
- [82] I. Jazayeri, A. Rajabifard, M. Kalantari, „A Geometric and Semantic Evaluation of 3D Data Sourcing Methods for Land and Property Information,“ *Land Use Policy*, vol. 36, pp. 219-230, 2014.
- [83] J. Stoter, H. Ploeger, P. van Oosterom, „3D Cadastre in the Netherlands: Developments and International Applicability,“ *Land Use Policz*, vol. 40, pp. 56-67, 2013.
- [84] Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping, „Cadastre 2034: Powering Land and Real Property (Cadastral Reform and Innovation for Australia - A National Strategy),“ Intergovernmental Committee for Surveying and Mapping, Canberra, Australia, 2015.
- [85] Land Information New Zealand, „Cadastre 2034 - A 10-20 Year Strategy for Developing the Cadastral System: Knowing the ‘Where’ of Land-related Rights,“ Land Information New Zealand, Wellington, New Zealand, 2013.
- [86] M. Lemmens, „Towards Cadastre 2034,“ *GIM International*, vol. 24, issue 9, 2010.
- [87] N. Vučić, D. Markovinović, B. Mičević, „LADM in the Republic of Croatia - Making and Testing Country Profile,“ *In Proceedings of 5th LADM Workshop*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2013.
- [88] F. Collins, J. Smith, „Taxonomy for error in GIS,“ *In Proceedings of International symposium on spatial accuracy in Natural Resource Data Bases "Unlocking the puzzle"*, Williamsburg, USA, 1994.
- [89] Đ. Pržulj, „Servisno orijentisana arhitektura katastarskog informacionog sistema,“ doktorska disertacija, Novi Sad, Serbia, 2013.
- [90] A. Shahaab, B. Lidgey, C. Hewage, I. Khan, „Applicability and Appropriateness of Distributed Ledgers Consensus Protocols in Public and Private Sectors: A Systematic Review,“ *IEEE Access*, vol. 7, pp. 43622-43636, 2019.



- [104] World Population Review, „Carbon Footprint by Country,“ World Population Review, [Online]. Available: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-footprint-by-country>. [Accessed 12 09 2022].
- [105] S. Zhang, J. Lee, „Analysis of the Main Consensus Protocols of Blockchain,“ *ICT Express*, vol. 6, issue 2, pp. 93-97, 2020.
- [106] S. Hazari, Q. Mahmoud, „Comparative Evaluation of Consensus Mechanisms in Cryptocurrencies,“ *Internet Technology Letters*, vol. 2, issue 100, 2019.
- [107] G. Carrara, L. Burle, D. Medeiros, C. V. de Albuquerque, D. Mattos, „Consistency, Availability, and Partition Tolerance in Blockchain: A Survey on the Consensus Mechanism Over Peer-to-Peer Networking,“ *Annals of Telecommunications*, pp. 163-174, 2020.
- [108] M. Oliveira, G. Carrara, N. Fernandes, C. Albuquerque, R. Carrano, D. Medeiros, D. Mattos, „Towards a Performance Evaluation of Private Blockchain Frameworks Using a Realistic Workload,“ *In Proceedings of 22nd conference on innovation in clouds, internet and networks and workshops*, Paris, France, 2019.
- [109] W. Wang, D. Hoang, P. Hu, Z. Xiong, D. Niyato, P. Wang, Y. Wen, D. Kim, „A Survey on Consensus Mechanisms and Mining Strategy Management in Blockchain Networks,“ *IEEE Access*, pp. 22328-22370, 2019.
- [110] M. de Oliveira, L. Reis, R. Carrano, F. Seixas, D. Saade, C. Albuquerque, N. Fernandes, S. Olabariaga, D. Medeiros, D. Mattos, „Towards a Blockchain-based Secure Electronic Medical Record for Healthcare Applications,“ *In Proceedings of I2019 IEEE international conference on communications*, Shanghai, China, 2019.
- [111] P. Wackerow, „ethereum.org,“ Proof-of-stake (PoS), 17 06 2022. [Online]. Available: <https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/>. [Accessed 10 09 2022].
- [112] Digiconomist, „Ethereum Energy Consumption Index - Digiconomist,“ Digiconomist, 16 09 2022. [Online]. Available: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>. [Accessed 16 09 2022].
- [113] EOS.IO, „Documentation/TechnicalWhitePaper.md at master · EOSIO/Documentation,“ EOS.IO, 16 03 2018. [Online]. Available: <https://github.com/EOSIO/Documentation/blob/master/TechnicalWhitePaper.md#consensus-algorithm-bft-dpos>. [Accessed 22 09 2022].
- [114] Intel, „Intel Software Guard Extensions (Intel SGX),“ Intel, Santa Clara, USA, 2018.
- [115] I. Chen, L. Xu, Z. Gao, W. Shi, „On Security Analysis of Proof-of-Elapsed-Time (PoET),“ *In Proceedings of International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems*, Boston, USA, 2017.
- [116] M. Bowman, D. Das, A. Mandal, H. Montgomery, „On Elapsed Time Consensus Protocols,“ *In Proceedings of International Conference on Cryptology in India - INDOCRYPT 2021*, Jaipur, India, 2021.

- [117] H.-N. Dai, Z. Zheng, Y. Zhang, „Blockchain for Internet of Things: A Survey,“ *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, issue 5, pp. 8076-8094, 2019.
- [118] E. Politou, F. Casino, E. Alepis, C. Patsakis, „Blockchain Mutability: Challenges and Proposed Solutions,“ *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 9, pp. 1972-1986, 2021.
- [119] L. Yang, „The Blockchain: State-of-the-art and Research Challenges,“ *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 15, pp. 80-90, 2019.
- [120] R. Huo, S. Zeng, Z. Wang, J. Shang, W. Chen, T. Huang, S. Wang, R. Yu, Y. Liu, „A Comprehensive Survey on Blockchain in Industrial Internet of Things: Motivations, Research Progresses, and Future Challenges,“ *IEEE Communications Survey & Tutorials*, vol. 24, issue 1, pp. 88-122, 2022.
- [121] D. Di Francesco Maesa, P. Mori, „Blockchain 3.0 Applications Survey,“ *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 138, pp. 99-114, 2020.
- [122] W. Cai, Z. Wang, J. Ernst, Z. Hong, C. Feng, V. Leung, „Decentralized Applications: The Blockchain-Empowered Software System,“ *IEEE Access*, vol. 6, pp. 53019-53033, 2018.
- [123] L. Liu, S. Zhou, H. Huang, Z. Zheng, „From Technology to Society: An Overview of Blockchain-Based DAO,“ *IEEE Open Journal of the Computer Society*, vol. 2, pp. 204-215, 2021.
- [124] N. Szabo, „Smart contracts: Building Blocks for Digital Markets,“ *Extropy*, vol. 16, pp. 50-53 and 61-63, 1996.
- [125] M. Stefanović, Đ. Pržulj, S. Ristić, D. Stefanović, D. Nikolić, „Smart Contract Application for Managing Land Administration System Transactions,“ *IEEE Access*, vol. 10, pp. 39154-39176, 2022.
- [126] M. Giancaspro, „Is a 'smart contract' really a smart idea? Insights From a Legal Perspective,“ *Computer Law & Security Review*, vol. 33, issue 6, pp. 825-835, 2017.
- [127] V. Buterin, „Ethereum White Paper - A Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform,“ 2015.
- [128] K. Wu, Y. Ma, G. Huang, X. Liu, „A First Look at Blockchain-based Decentralized Applications,“ *Software: Practice and Experience*, vol. 51, pp. 2033-2050, 2021.
- [129] B. K. Mohanta, S. S. Panda, D. Jena, „An Overview of Smart Contract and Use Cases in Blockchain Technology,“ *Proceedings of 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Bengaluru, India, 2018.
- [130] J. Mandloi, P. Bansal, „An Empirical Review on Blockchain Smart Contracts: Application and Challenges in Implementation,“ *International Journal of Computer Networks and Applications*, vol. 7, issue 2, pp. 43-61, 2020.
- [131] Z. Zheng, S. Xie, H.-N. Dai, W. Chen, X. Chen, J. Weng, M. Imran, „An Overview on Smart Contracts: Challenges, Advances and Platforms,“ *Future Generation Computer Systems*, vol. 105, pp. 475-491, 2020.

- [132] S. Wang, L. Ouyang, Y. Yuan, X. Ni, X. Han, F.-Y. Wang, „Blockchain-Enabled Smart Contracts: Architecture, Applications, and Future Trends,“ *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 49, issue 11, pp. 2266-2277, 2019.
- [133] ISO/IEC JTC 1/SC 27, „ISO/IEC 27000:2018 Information technology — Security techniques — Information security management systems — Overview and vocabulary,“ ISO, Geneva, Switzerland, 2018.
- [134] X. Li, P. Jiang, T. Chen, X. Luo, Q. Wen, „A survey on the security of blockchain systems,“ *Future Generation Computer Systems*, vol. 107, pp. 841-853, 2020.
- [135] S. Singh, A. S. Hosen, B. Yoon, „Blockchain Security Attacks, Challenges, and Solutions for the Future Distributed IoT Network,“ *IEEE Access*, vol. 9, pp. 13938-13959, 2021.
- [136] J. L. Zhao, S. Fan, J. Yan, „Overview of Business Innovations and Research Opportunities in Blockchain and Introduction to the Special Issue,“ *Finacial Inovation*, vol. 2, issue 28, 2016.
- [137] BTC.com, „Professional Data Service for Global Blockchain Enthusiasts,“ BTC.com, 30 09 2022. [Online]. Available: <https://explorer.btc.com/en/btc>. [Accessed 30 09 2022].
- [138] Amazon.com, „Amazon.com - Bitmain Antminer S19 Pro 110TH - SHA-256 - Bitcoin Miner,“ Amazon.com, 30 09 2022. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Antminer-S19-pro-110th-Bitmain/dp/B08K7CVKDZ>. [Accessed 30 09 2022].
- [139] Staking Rewards, „Ethereum (ETH) Staking Interest Caclulator,“ Staking Rewards, 30 09 2022. [Online]. Available: <https://www.stakingrewards.com/earn/ethereum-2-0/>. [Accessed 20 09 2022].
- [140] F. Tschorsch, B. Scheuermann, „Bitcoin and Beyond: A Technical Survey on Decentralized Digital Currencies,“ *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, issue 3, pp. 2084-2123, 2016.
- [141] BTC.com, „Pool Stats - BTC.com,“ BTC.com, 30 09 2022. [Online]. Available: [https://btc.com/stats/pool?pool\\_mode=day](https://btc.com/stats/pool?pool_mode=day). [Accessed 30 09 2022].
- [142] BTC.com, „Ethereum blockchain explorer,“ BTC.com, 30 09 2022. [Online]. Available: <https://eth.btc.com/>. [Accessed 30 09 2022].
- [143] CoinDesk, „Ethereum Classic hit by Third 51% Attack in a Month,“ CoinDesk, 30 09 2022. [Online]. Available: <https://www.coindesk.com/markets/2020/08/29/ethereum-classic-hit-by-third-51-attack-in-a-month/>. [Accessed 30 09 2022].
- [144] J. Lovejoy, „Bitcoin Gold was 51% attacked,“ 30 09 2022. [Online]. Available: <https://gist.github.com/metalicjames/71321570a105940529e709651d0a9765>. [Accessed 30 09 2022].



- [145] J. Lovejoy, „Vertcoin was 51% attacked,“ 30 09 2022. [Online]. Available: <https://gist.github.com/metalicjames/01222049f95f85df8c0eb253de54848b>. [Accessed 30 09 2022].
- [146] J. Lovejoy, „Expanse was 51% attacked,“ 30 09 2022. [Online]. Available: <https://gist.github.com/metalicjames/f2acdb9ef448ec5298173b36c7c54133>. [Accessed 30 09 2022].
- [147] J. Lovejoy, „Litecoin Cash was 51% attacked,“ 30 09 2022. [Online]. Available: <https://gist.github.com/metalicjames/82a49f8afa87334f929881e55ad4ffd7>. [Accessed 30 09 2022].
- [148] I. Eyal, E. G. Sirer, „Majority Is Not Enough: Bitcoin Mining Is Vulnerable,“ *Communications of the ACM*, vol. 61, issue 7, pp. 95-102, 2018.
- [149] A. Sapirshtein, Y. Sompolinsky, A. Zohar, „Optimal Selfish Mining Strategies in Bitcoin,“ *In Proceedings of International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, Christ Church, Barbados, 2016.
- [150] E. Heilman, A. Kendler, A. Zohar, S. Goldberg, „Eclipse Attacks on Bitcoin’s Peer-to-Peer Network,“ *In Proceedings of the 24th USENIX Security Symposium*, Washington, D.C., USA, 2015.
- [151] K. Nayak, S. Kumar, A. Miller, E. Shi, „Stubborn Mining: Generalizing Selfish Mining and Combining with an Eclipse Attack,“ *In Proceedings of 2016 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)*, Saarbrücken, Germany, 2016.
- [152] A. Soni, S. Maheshwari, „A Survey of Attacks on the Bitcoin System,“ *In Proceedings of 2018 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science*, Bhopal, India, 2018.
- [153] D. Dasgupta, J. M. Shrein, K. D. Gupta, „A survey of blockchain from security perspective,“ *Journal of Banking and Financial Technology*, vol. 3, pp. 1-17, 2019.
- [154] M. Vasek, M. Thornton, T. Moore, „Empirical Analysis of Denial-of-Service Attacks in the Bitcoin Ecosystem,“ *In Proceedings of FC 2014: Financial Cryptography and Data Security*, Christ Church, Barbados, 2014.
- [155] R. Rawat, R. Chougule, S. Singh, S. Dixit, A. Kadam, „Smart Contracts using Blockchain,“ *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 6, issue 6, pp. 3880-3893, 2019.
- [156] N. Atzei, M. Bartoletti, T. Cimoli, „A Survey of Attacks on Ethereum Smart Contracts SoK,“ *In Proceedings of the 6th International Conference on Principles of Security and Trust*, Uppsala, Sweden, 2017.
- [157] F. Massacci, C. Ngo, J. Nie, D. Venturi, J. Williams, „The Seconomics (Ssecurity-economics) Vulnerabilities of Decentralized Autonomous Organizations,“ *In Proceedings of Security protocols XXV : 25th international workshop*, Cambridge, UK, 2017.

- [158] D. Macrinici, C. Cartofeanu, S. Gao, „Smart Contract Applications Within Blockchain Technology: A Systematic Mapping Study,” *Telematics and Informatics*, vol. 35, pp. 2337-2354, 2018.
- [159] L. Luu, D.-H. Chu, H. Olickel, P. Saxena, A. Hobor, „Making Smart Contracts Smarter,” *In Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, Vienna, Austria, 2016.
- [160] K. Delmolino, M. Arnett, A. Kosba, A. Miller, E. Shi, „Step by Step Towards Creating a Safe Smart Contract: Lessons and Insights from a Cryptocurrency Lab,” *In Proceedings of International Conference on Financial Cryptography and Data Security*, Christ Church, Barbados, 2016.
- [161] L. Luu, V. Narayanan, C. Zheng, K. Baweja, S. Gilbert, P. Saxena, „A Secure Sharding Protocol For Open Blockchains,” *In Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, Vienna, Austria, 2016.
- [162] M. Andrychowicz, S. Dziembowski, D. Malinowski, L. Mazurek, „Secure Multiparty Computations on Bitcoin,” *In Proceedings of 2014 IEEE Symposium on Security and Privacy*, Berkeley, USA , 2014.
- [163] D. Boneh, M. Naor, „Timed Commitments,” *In proceedings of Crypto '2000*, Santa Barbara, USA, 2000.
- [164] B. Marino, A. Juels, „Setting Standards for Altering and Undoing Smart Contracts,” *In Proceedings of International Symposium on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*, Stony Brook, USA, 2016.
- [165] M. I. Mehar, C. Shier, A. Giambattista, E. Gong, G. Fletcher, R. Sanayhie, H. M. Kim, M. Laskowski, „Understanding a Revolutionary and Flawed Grand Experiment in Blockchain: The DAO Attack,” *Journal of Cases on Information Technology*, vol. 21, issue 1, pp. 19-32, 2017.
- [166] S. Sayeed, H. Marko-Gisbert, T. Caira, „Smart Contract: Attacks and Protections,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 24416-24427, 2020.
- [167] M. Risius, K. Spohrer, „A Blockchain Research Framework: What We (Don't) Know, Where We Go From Here, and How We Will Get There,” *Business & Information Systems Engineering*, vol. 6, issue 59, pp. 385-409, 2017.
- [168] F. Casino, T. K. Dasaklis, C. Patsakis, „A Systematic Literature Review of Blockchain-based Applications: Current Status, Classification and Open Issues,” *Telematics and Informatics*, vol. 36, pp. 55-81, 2019.
- [169] F. R. Batubara, J. Ubacht, M. Janssen, „Challenges of Blockchain Technology Adoption for E-government: A Systematic Literature Review,” *In Proceedings of 19th Annu. Int. Conf. Digit. Government Res.: Governance Data Age*, Delft, The Netherlands, 2018.
- [170] S. Ølnes, „Beyond Bitcoin Enabling Smart Government Using Blockchain Technology,” *In Proceedings of 15th IFIP WG*, Guimarães, Portugal, 2016.

- [171] N. Elisa, L. Yang, F. Chao, Y. Cao, „A Framework of Blockchain-based Secure and Privacy-preserving E-government System,“ *Wireless Networks*, 2018.
- [172] D. Geneiatakis, Y. Soupionis, G. Steri, I. Kounelis, R. Neisse, I. Nai-Fovino, „Blockchain Performance Analysis for Supporting Crossborder E-government Services,“ *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 67, issue 4, pp. 1310-1322, 2020.
- [173] H. Hou, „The Application of Blockchain Technology in E-government in China,“ *In Proceedings of 26th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*, Vancouver, Canada, 2017.
- [174] N. Diallo, W. Shi, L. Xu, Z. Gao, L. Chen, Y. Lu, N. Shah, L. Carranco, T.-C. Le, A. B. Surez, G. Turner, „eGov-DAO: A Better Government Using Blockchain Based Decentralized Autonomous Organization,“ *In Proceedings of Fifth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)*, Ambato, Ecuador, 2018.
- [175] M. Stefanović, Đ. Pržulj, S. Ristić, D. Stefanović, M. Vukmanović, „Blockchain and Land Administration: Possible Applications and Limitations,“ *In Proceedings of EBM*, Kragujevac, Serbia, 2018.
- [176] M. Stefanović, S. Ristić, D. Stefanović, M. Bojkić, Đ. Pržulj, „Possible Applications of Smart Contracts in Land Administration,“ *In Proceedings of 26th TELFOR*, Belgrade, Serbia, 2018.
- [177] R. Thomas, C. Huang, „Blockchain, the Borg Collective and Digitalisation of Land Registries,“ *Conveyancer Property Lawyer*, vol. 81, issue 1, pp. 14-25, 2017.
- [178] H. Wouda, R. Opdenakker, „Blockchain Technology in Commercial Real Estate Transactions,“ *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 37, issue 6, pp. 570-579, 2019.
- [179] V. Thakur, M. Doja, Y. Dwivedi, T. Ahmad, G. Khadanga, „Land Records on Blockchain for Implementation of Land Titling in India,“ *International Journal of Information Management*, vol. 52, 2020.
- [180] K. Veeramani, S. Jaganathan, „Land Registration: Use-case of e-Governance Using Blockchain Technology,“ *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, vol. 14, issue 9, pp. 3693-3711, 2020.
- [181] K. Mintah, K. Baako, G. Kavaarpuo, G. Otchere, „Skin Lands in Ghana and Application of Blockchain Technology for Acquisition and Title Registration,“ *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, vol. 12, issue 2, pp. 147-169, 2020.
- [182] S. Kumar, V. Talasila, P. Pasumarthy, „A novel architecture to identify locations for real estate investment,“ *International Journal of Information Management*, vol. 56, 2021.
- [183] A. Annand, M. McKibbin, F. Pichel, „Colored Coins: Bitcoin, Blockchain, and Land Administration,“ *In Proceedings of Annu. World Bank Conference on Land Poverty*, Washington, DC, USA, 2017.

- [184] C. Kombe, M. Manyilizu, A. Mvuma, „Design of Land Administration and Title Registration Model Based on Blockchain Technology,” *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 7, issue 1, pp. 8-15, 2017.
- [185] D. van Bochove, L. de Bruin, C. Lemmen, „From Bitcoins to Bitsquares - Blockchain in Land Administration,” *GIM International*, vol. 30, issue 9, pp. 36-37, 2016.
- [186] F. Jahan, M. Mostafa, S. Chowdhury, „SHA-256 in Parallel Blockchain Technology: Storing Land Related Documents,” *International Journal of Computers and Applications*, vol. 175, issue 35, pp. 33-38, 2020.
- [187] A. Sahai, R. Pandey, „Smart Contract Definition for Land Registry in Blockchain,” *In Proceedings of IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Gwalior, India, 2020.
- [188] A. Mendi, K. Sakakli, A. Cabuk, „A Blockchain Based Land Registration System Proposal for Turkey,” *In Proceedings of 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, Istanbul, Turkey, 2020.
- [189] A. Torun, „Hierarchical Blockchain Architecture for a Relaxed Hegemony on Cadastre Data Management and Update: A Case Study for Turkey,” *In Proceedings of UCTEA International Geographical Information Systems Congress*, Adana, Turkey, 2017.
- [190] G. Sladić, B. Milosavljević, S. Nikolić, D. Sladić, A. Radulović, „A Blockchain Solution for Securing Real Property Transactions: A Case Study for Serbia,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 10, issue 1, 2021.
- [191] K. Alam, J. Ashfiqur Rahman, A. Tasnim, A. Akther, „A Blockchain-based Land Title Management System for Bangladesh,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, pp. 1-15, 2020.
- [192] J. Graglia, C. Mellon, „Blockchain and Property in 2018: At the End of the Beginning,” *In Proceedings of Annual World Bank Conference on Land Poverty*, Washington, DC, USA, 2018.
- [193] „Zakon o osnovama svojinskopravnih odnosa,” "Sl. list SFRJ", br. 6/80 i 36/90, "Sl. list SRJ", br. 29/96 i "Sl. glasnik RS", br. 115/2005, Beograd, Srbija, 2005.
- [194] „Zakon o oduzimanju imovine proistekle iz krivičnog dela,” "Sl. glasnik RS", br. 32/2013, 94/2016, 35/2016, Beograd, Srbija, 2019.
- [195] „Zakon o ograničavanju raspolagawa imovinom u cilju sprečavanja terorizma i širenja oružja za masovno uništenje,” "Sl. glasnik RS", br. 29/2015, 113/2017 i 41/2018, Beograd, Srbija, 2018.
- [196] A. B. Pedersen, M. Risius, R. Beck, „A Ten-Step Decision Path to Determine When to Use Blockchain Technologies,” *MIS Quarterly Executive*, vol. 18, issue 2, pp. 99-115, 2019.
- [197] M. Jansen, F. Hdhili, R. Gouiaa, Z. Qasem, „Do Smart Contract Languages Need to Be Turing Complete?,” *In Proceedings of International Congress on Blockchain and Applications*, Avila, Spain, 2019.

- [198] S. Farshidi, S. Jansen, S. Espana, J. Verkleij, „Decision Support for Blockchain Platform Selection: Three industry Case Studies,“ *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 67, issue 4, pp. 1109-1128, 2020.
- [199] „Ethereum Improvement Proposals,“ 20 10 2022. [Online]. Available: <https://eips.ethereum.org/>. [Accessed 20 10 2022].
- [200] F. Vogelsteller, V. Buterin, „EIP-20: EPC-20 Token Standard,“ [Online]. Available: <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-20>. [Accessed 21 10 2022].
- [201] W. Entriken, D. Shirley, J. Evans, N. Sachs, „EIP-721: Non-Fungible Token Standard,“ [Online]. Available: <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721>. [Accessed 21 10 2022].
- [202] SolidityLang.org, „Solidity 0.8.17 documentation,“ SolidityLang.org, [Online]. Available: <https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.17/types.html#address>. [Accessed 22 10 2022].
- [203] C. Reitwiessner, N. Johnson, F. Vogelsteller, J. Baylina, K. Feldmeier, W. Entriken, „ERC-165: Standard Interface Detection,“ [Online]. Available: <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-165>. [Accessed 25 10 2022].
- [204] ISO/IEC JTC 1/SC 7, „ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Systems and software engineering — Architecture description,“ The International Organization for Standardization, Geneva, 2011.
- [205] M. Shaw, . P. Clement, „The golden age of software architecture,“ *IEEE Software*, vol. 23, issue 2, pp. 31-39, 2006.
- [206] D. Garlan, M. Shaw, „An Introduction to Software Architecture,“ *Advances in Software Engineering & Knowledge Engineering*, vol. 2, pp. 1-39, 1993.
- [207] D. Perry, A. Wolf, „Foundations for the Study of Software Architecture,“ *ACM Software Engineering Notes*, vol. 17, issue 4, pp. 40-52, 1992.
- [208] M. Shaw, P. Clements, „A Field Guide to Boxology: Preliminary Classification of Architectural Styles for software systems,“ y *Proceedings Twenty-First Annual International Computer Software and Applications Conference*, Washington, DC, USA, 1997.
- [209] A. Sharma, M. Kumar, S. Agarwal, „A Complete Survey on Software Architectural Styles and Patterns,“ y *4th International Conference on Eco-friendly Computing and Communication Systems, ICECCS*, Kurukshetra, India, 2015.
- [210] K. Gos, W. Zabierowski, „The Comparison of Microservice and Monolithic Architecture,“ y *Proceedings in 2020 IEEE XVI International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*, Lviv, Ukraine, 2020.
- [211] F. Ponce, G. Márquez, H. Astudillo, „Migrating from Monolithic Architecture to Microservices: A Rapid Review,“ y *Proceedings in 2019 38th International Conference of the Chilean Computer Science Society (SCCC)*, Concepcion, Chile, 2019.

- [212] J. Gallagher, S. Ramanathan , „Choosing a Client/Server Architecture - A Comparison of Two-and Three-Tier Systems,“ *Information Systems Management*, vol. 13, issue 2, pp. 7-13, 1996.
- [213] S. Dumbrava, D. Panescu, M. Costin, „A Three-tier Software Architecture for Manufacturing Activity Control in ERP Concept,“ *In Proceedings of International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech' 2005*, Ruse, Bulgaria, 2005.
- [214] P. Bianco, R. Kotermanski, P. Merson, Evaluating a Service-Oriented Architecture, Hanscom, USA: Software Architecture Technology Initiative, 2007.
- [215] YCharts, „Ethereum Average Gas Price,“ YCharts, 01 11 2022. [Online]. Available: [https://ycharts.com/indicators/ethereum\\_average\\_gas\\_price](https://ycharts.com/indicators/ethereum_average_gas_price). [Accessed 01 11 2022].
- [216] CoinDesk, „Ethereum Price,“ CoinDesk, 01 11 2022. [Online]. Available: <https://www.coindesk.com/price/ethereum/>. [Accessed 01 11 2022].
- [217] EhtereumPrice, „Ethereum Price,“ EthereumPrice, 12 11 2022. [Online]. Available: <https://ethereumprice.org/>. [Accessed 12 11 2022].
- [218] . H. Mansoor, „\$1.6 bn worth Ethereum lost forever since its ‘presale’,“ 17 05 2022. [Online]. Available: <https://www.siasat.com/1-6-bn-worth-ethereum-lost-forever-since-its-presale-2328759/>. [Accessed 15 10 2022].
- [219] C. Jones , „Millions of dollars in ETH lie unclaimed in presale wallets — but there's a way to get them back,“ 26 08 2022. [Online]. Available: <https://cointelegraph.com/news/millions-of-dollars-in-eth-lie-unclaimed-in-presale-wallets-but-theres-a-way-to-get-them-back>. [Accessed 1 10 2022].
- [220] Blockchair, „Ethereum Explorer - Blockchair,“ Blockchair, 13 11 2022. [Online]. Available: <https://blockchair.com/ethereum>. [Accessed 13 11 2022].
- [221] Republički geodetski zavod, „ProfGodisnji.pdf,“ 13 11 2022. [Online]. Available: <https://www.rgz.gov.rs/content/Datoteke/masovna%20procena/2022/ProfGodisnji2021.pdf>. [Accessed 13 11 2022].
- [222] Ministère de la Transition Écologique, „House Prices in France: Property Price Index, French Real Estate Market Trends in the Long Run,“ 21 10 2021. [Online]. Available: <https://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/house-prices-in-france-property-price-index-french-a1117.html/>. [Accessed 21 10 2021].
- [223] Crypto.com, „A Deep Dive Into Blockchain Scalability,“ 03 01 2020. [Online]. Available: <https://crypto.com/university/blockchain-scalability>. [Accessed 14 11 2022].
- [224] R. Guido, G. Mirabelli, E. Palermo, V. Solina, „A framework for food traceability: Case study - Italian extra-virgin olive oil supply chain,“ *International Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 11, issue 1, pp. 50-60, 2020.
- [225] Blockchain.com, „Charts - total-bitcoins,“ [Online]. Available: <https://www.blockchain.com/explorer/charts/total-bitcoins>. [Accessed 22 10 2022].

- [226] C. Wang, „Different GARCH Model Analysis on Returns and Volatility in Bitcoin,“  
*Data Science in Finance and Economics* , vol. 1, issue 1, pp. 37-59, 2021.

# Прилог А – Програмски кôд паметног уговора

```
001 // SPDX-License-Identifier: MIT
002 pragma solidity ^0.8.7;
003
004 interface LandAdministrationSystemInterface {
005     function ownersOf(uint256 _tokenId) external view
006         returns (address[] memory);
007     function tokensOf(address _owner) external view
008         returns (uint256[] memory);
009     function shareOf(uint256 _tokenId, address _owner)
010         external view returns (uint16);
011     function transferFrom(address _from, address _to,
012         uint256 _tokenId, uint16 _share,
013         bytes memory _documentHash) external;
014     function approveOwner(address _owner, bool _approved,
015         bytes memory _documentHash) external;
016     function isOwnerApproved(address _owner) external view
017         returns (bool);
018
019     event Transfer(address indexed _from, address indexed _to,
020         uint256 indexed _tokenId, uint16 _share,
021         bytes _documentHash);
022     event ApproveOwner(address indexed _owner, bool _approved,
023         bytes _documentHash);
024 }
025
026 contract LandAdministrationSystem
027     is LandAdministrationSystemInterface {
028     address master;
029     uint16 maximumShare;
030     mapping(uint256 => address[]) realEstateOwners;
031     mapping(address => uint256[]) ownedRealEstates;
032     mapping(uint256 => mapping(address => uint16))
033         realEstateOwnersShare;
034     mapping(address => bool) disapproved;
035
036     constructor(uint16 _maximumShare) {
037         master = msg.sender;
038         maximumShare = _maximumShare;
039     }
040
```



```

041     function mint(uint _tokenId, bytes memory _documentHash)
042         external {
043         require(msg.sender == master,
044             "Sender not the master address.");
045         addToOwnedRealEstatesIfNewRealEstate(master, _tokenId);
046         addToRealEstateOwnersIfNewOwner(_tokenId, master);
047         realEstateOwnersShare[_tokenId][master] = maximumShare;
048         emit Transfer(address(0), master, _tokenId, maximumShare,
049             _documentHash);
050     }
051
052     function ownersOf(uint256 _tokenId) override external view
053         returns (address[] memory) {
054         if(isOwnerZeroAddress(_tokenId)) {
055             revert zeroAddress({
056                 _owner: address(0),
057                 _message:
058                     bytes("Zero address can not be queried.")
059             });
060         }
061         return realEstateOwners[_tokenId];
062     }
063
064     function tokensOf(address _owner) override external view
065         returns (uint256[] memory) {
066         if(_owner == address(0)) {
067             revert zeroAddress({
068                 _owner: address(0),
069                 _message:
070                     bytes("Zero address can not be queried.")
071             });
072         }
073         return ownedRealEstates[_owner];
074     }
075
076     function shareOf(uint256 _tokenId, address _owner)
077         override public view returns (uint16) {
078         if(_owner == address(0)) {
079             revert zeroAddress({
080                 _owner: address(0),
081                 _message:
082                     bytes("Zero address can not be queried.")
083             });
084         }
085         return realEstateOwnersShare[_tokenId][_owner];
086     }
087

```

```

088     function transferFrom(address _from, address _to,
089                             uint256 _tokenId, uint16 _share,
090                             bytes memory _documentHash)
091                             override external {
092         if(_from == address(0)) {
093             revert zeroAddress({
094                 _owner: address(0),
095                 _message: bytes
096                     ("Transfers from zero address are not allowed.")
097             });
098         }
099
100         if (!(msg.sender == master
101             || isOwnerInRealEstateOwners(_tokenId, _from))){
102             revert notOwnerOrMaster({
103                 _tokenId: _tokenId,
104                 _from: _from
105             });
106         }
107
108         if(msg.sender != master) {
109             if(disapproved[_msg.sender]) {
110                 revert notApproved({
111                     _from: msg.sender
112                 });
113             }
114         }
115
116         if (shareOf(_tokenId, _from) <= _share) {
117             revert notOwningBigEnoughShare({
118                 _tokenId: _tokenId,
119                 _from: _from,
120                 _owningShare: shareOf(_tokenId, _from),
121                 _transferringShare: _share
122             });
123         }
124
125         if (_documentHash.length == 0) {
126             revert documentHashMustBeProvided({
127                 _from: _from,
128                 _to: _to,
129                 _tokenId: _tokenId,
130                 _share: _share,
131                 _documentHash: _documentHash
132             });
133         }
134

```

```

135     realEstateOwnersShare[_tokenId][_from] -= _share;
136     realEstateOwnersShare[_tokenId][_to] += _share;
137     addToRealEstateOwnersIfNewOwner(_tokenId, _to);
138     removeFromRealEstateOwnersIfNoShare(_tokenId, _from);
139     addToOwnedRealEstatesIfNewRealEstate(_to, _tokenId);
140     removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare(_from, _tokenId);
141     emit Transfer(_from, _to, _tokenId, _share,
142                 _documentHash);
143 }
144
145 function approveOwner(address _owner, bool _approved,
146                      bytes memory _documentHash)
147     override external {
148     require(msg.sender == master,
149            "Sender not the master address.");
150     if(_owner == address(0)) {
151         revert zeroAddress({
152             _owner: address(0),
153             _message: bytes
154                 ("Zero address can not be approved or disapproved.")
155         });
156     }
157     disapproved[_owner] = !_approved;
158     emit ApproveOwner(_owner, _approved, _documentHash);
159 }
160
161 function isOwnerApproved(address _owner)
162     override external view
163     returns (bool) {
164     if(_owner == address(0)) {
165         revert zeroAddress({
166             _owner: address(0),
167             _message: bytes
168                 ("Zero address can not be approved or disapproved.")
169         });
170     }
171     return !disapproved[_owner];
172 }
173

```

```

174     function isOwnerInRealEstateOwners(uint256 _tokenId,
175                                     address _address)
176                                     internal view
177                                     returns (bool) {
178         address[] memory allOwners = realEstateOwners[_tokenId];
179         for (uint i=0; i < allOwners.length; i++) {
180             if (allOwners[i] == _address ) {
181                 return true;
182             }
183         }
184         return false;
185     }
186
187     function isOwnerInOwnedRealEstate(uint256 _tokenId,
188                                     address _address)
189                                     internal view
190                                     returns (bool) {
191         uint256[] memory allOwned = ownedRealEstates[_address];
192         for (uint i=0; i < allOwned.length; i++) {
193             if (allOwned[i] == _tokenId ) {
194                 return true;
195             }
196         }
197         return false;
198     }
199
200     function isOwnerZeroAddress(uint256 _tokenId)
201                                     internal view returns (bool) {
202         address[] memory allOwners = realEstateOwners[_tokenId];
203         for (uint i=0; i < allOwners.length; i++) {
204             if (allOwners[i] == address(0) ) {
205                 return true;
206             }
207         }
208         return false;
209     }
210

```

```

211     function getIndexOfOwnerForRealEstate(uint256 _tokenId,
212                                           address _owner)
213                                           internal view
214                                           returns (int){
215         for(uint i = 0;
216             i < realEstateOwners[_tokenId].length; i++){
217             if(_owner == realEstateOwners[_tokenId][i])
218                 return int(i);
219         }
220         return -1;
221     }
222
223     function getIndexOfRealEstateForOwner(uint256 _tokenId,
224                                           address _owner)
225                                           internal view
226                                           returns (int){
227         for(uint i = 0; i < ownedRealEstates[_owner].length; i++){
228             if(_tokenId == ownedRealEstates[_owner][i])
229                 return int(i);
230         }
231         return -1;
232     }
233
234     function addToRealEstateOwnersIfNewOwner(uint256 _tokenId,
235                                               address _owner)
236                                               internal {
237         if (!isOwnerInRealEstateOwners(_tokenId, _owner)) {
238             realEstateOwners[_tokenId].push(_owner);
239         }
240     }
241
242     function removeFromRealEstateOwnersIfNoShare(
243                                               uint256 _tokenId,
244                                               address _from)
245                                               internal {
246         if (shareOf(_tokenId, _from) == 0) {
247             int i = getIndexOfOwnerForRealEstate (_tokenId, _from);
248             if (i != -1) {
249                 realEstateOwners[_tokenId][uint(i)] =
250 realEstateOwners[_tokenId][realEstateOwners[_tokenId].length - 1];
251                 realEstateOwners[_tokenId].pop();
252             }
253         }
254     }
255

```

```

256     function addToOwnedRealEstatesIfNewRealEstate(address _owner,
257                                                    uint256 _tokenId)
258         internal {
259         if (!isOwnerInOwnedRealEstate(_tokenId, _owner)) {
260             ownedRealEstates[_owner].push(_tokenId);
261         }
262     }
263
264     function removeFromOwnedRealEstatesIfNoShare(address _owner,
265                                                  uint256 _tokenId)
266         internal {
267         if (shareOf(_tokenId, _owner) == 0) {
268             int i = getIndexOfRealEstateForOwner(_tokenId, _owner);
269             if (i != -1) {
270                 ownedRealEstates[_owner][uint(i)] =
271 ownedRealEstates[_owner][ownedRealEstates[_owner].length - 1];
272                 ownedRealEstates[_owner].pop();
273             }
274         }
275     }
276
277     error zeroAddress(address _owner, bytes _message);
278     error notApproved(address _from);
279     error notOwnerOrMaster(uint256 _tokenId, address _from);
280     error notOwningBigEnoughShare(uint256 _tokenId, address _from,
281                                   uint16 _owningShare,
282                                   uint16 _transferringShare);
283     error documentHashMustBeProvided(address _from, address _to,
284                                       uint256 _tokenId,
285                                       uint16 _share,
286                                       bytes _documentHash);
287 }

```

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

## План третмана података

|  |
|--|
| <b>Назив пројекта/истраживања</b>  |
| Модел архитектуре информационог система катастра непокретности заснован на блокчејн технологији  |
| <b>Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање</b>  |
| а) Унивезитет у Новом Саду, Факултет техничких наука<br>б)<br>в)   |
| <b>Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање</b>  |
| -  |
| <b>1. Опис података</b>  |
| <p>1.1 Врста студије</p> <p>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</p> <p><u>Студија спроведена у оквиру дисертације је обухватала квантитативне истраживање са циљем емпиријске верификације предложеног модела.</u></p> <p>1.2 Врсте података</p> <p>а) <b>квантитативни</b><br/>б) квалитативни</p> <p>1.3. Начин прикупљања података</p> <p>а) анкете, упитници, тестови<br/>б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи<br/>в) генотипови: навести врсту _____<br/>г) административни подаци: навести врсту _____<br/>д) узорци ткива: навести врсту _____</p> |

ђ) снимци, фотографије: навести врсту \_\_\_\_\_

е) текст, навести врсту \_\_\_\_\_

ж) мапа, навести врсту \_\_\_\_\_

з) остало: описати мерење протеклог времена од тренутка давања налога до регистрације извршене трансакције на блокчејн мрежи

### 1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

#### 1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

а) **Excel фајл, датотека .xlsx** \_\_\_\_\_

б) SPSS фајл, датотека \_\_\_\_\_

с) PDF фајл, датотека \_\_\_\_\_

д) **Текст фајл, датотека .txt** \_\_\_\_\_

е) JPG фајл, датотека \_\_\_\_\_

ф) Остало, датотека \_\_\_\_\_

#### 1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

а) број варијабли \_\_\_\_\_

б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) \_\_\_\_\_

#### 1.3.3. Поновљена мерења

а) да

**б) не**

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) временски размак између поновљених мера је \_\_\_\_\_

б) варијабле које се више пута мере односе се на \_\_\_\_\_

в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као \_\_\_\_\_

Напомене: \_\_\_\_\_



Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 2. Прикупљање података

### 2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

Методологија за прикупљање података подразумевала је бележење временске одреднице на систему који је вршио позив, а потом бележење временске одреднице на истом систему по пријему потврде о извршеној операцији.

#### 2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, навести тип \_\_\_\_\_

б) корелационо истраживање, навести тип \_\_\_\_\_

ц) анализа текста, навести тип \_\_\_\_\_

д) остало, навести шта \_\_\_\_\_

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

Софтверско решење развијана у оквиру дисертације.

### 2.2 Квалитет података и стандарди

У обраду су укључени сви добијени подаци.

#### 2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? \_\_\_\_\_

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан кроз понављање 1000 различитих трансакција за сваки од три случаја употребе и провера одступања од стандардне девијације.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

За прикупљање података задужен је софтвер и резултати и прикуљени подаци су директно обрађивани.

### 3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијум докторски дисертација Универзитета у Новом Саду.

3.1.2. URL адреса <https://www.cris.uns.ac.rs/etheses.jsf>

3.1.3. DOI \_\_\_\_\_

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- a) **Да**
- б) Да, али после ембарга који ће трајати до \_\_\_\_\_
- в) **Не**

Ако је одговор не, навести разлог \_\_\_\_\_

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? Стандард који примењује Репозиторијум Универзитета у Новом Саду.

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Мирослав Стефановић (2023): Модел архитектуре информационог система катастра непокретности заснован на блокчејн технологији

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

---

---

---

---

### 3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? \_\_\_\_\_

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да **Не**

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да **Не**

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да **Не**

Образложити

---

---

## 4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

### 4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности ([https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_zastiti\\_podataka\\_o\\_licnosti.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html)) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да **Не**

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

---

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да **Не**

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

- а) Подаци нису у отвореном приступу
- б) Подаци су анонимизирани
- ц) Остало, навести шта

---

---

## 5. Доступност података

### 5.1. Подаци ће бити

#### a) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

---

---

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

---

---

### 5.4. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

Ауторство – некомерцијално – без прераде

## 6. Улоге и одговорност

### 6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Мирослав Стефановић, mstef@uns.ac.rs

### 6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Мирослав Стефановић, mstef@uns.ac.rs

### 6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Мирослав Стефановић, mstef@uns.ac.rs