

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I. ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовао комисију:
9. 4. 2026. године, Сенат Универзитета Сингидунум
2. Састав комисије у складу са Правилима докторских студија Универзитета у Сингидунум:
 1. Др Млађан Јовановић, ванредни професор, УНО Софтверско инжењерство (година избора 2023), Универзитет Сингидунум, председник
 2. Др Видан Марковић, ванредни професор, УНО Софтверско инжењерство (година избора 2023), Универзитет Сингидунум, ментор и члан
 3. Др Милан Сегединац, редовни професор, УНО Примењене рачунарске науке и информатика (година избора 2024), Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, члан

II. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:
Боривој, Властимир, Богдановић
2. Датум рођења, место, држава:
8. 6. 1986. године, Шабац, Република Србија
3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив:
Техничких факултет Универзитета Сингидунум, мастер академске студије другог степена, мастер инжењер софтверско и информационо инжењерство
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2022. година, Докторске академске студије Интелигентно софтверско инжењерство

III. НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Методологија за убрзани развој процесно-свесних информационих система базирана на онтолошком моделовању и теорији категорија

IV. ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација припада области софтверског инжењерства.

Дисертација је написана на српском језику латиничним писмом и штампана је у А4 формату на 176 страна. Садржи предговор, осам поглавља, 161 референцу, 8 слика, 16 табела, 19 листинга и 7 прилога.

Поглавља у докторској дисертацији су следећа: Увод, Преглед области и сродних истраживања, Онтологије као основа за спецификацију модела, Теорија категорија као основа за трансформације модела, ВАВ софтверски оквир: имплементација методологије, Валидација и евалуација, Дискусија резултата, Закључак.

Након ових поглавља следи списак коришћене литературе, прилози, те библиотечки подаци о дисертацији и сажетак дисертације на српском и енглеском језику.

V. ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

У првом поглављу докторске дисертације је јасно представљена мотивација за истраживање, указано је на потребу, актуелност и значај теме у области софтверског инжењерства, прецизно су идентификовани домет и ограничења истраживања спроведеног у докторској дисертацији. Затим је јасно и прецизно формулисана истраживачка хипотеза, јасно је артикулисано пет истраживачких питања на која дисертација даје одговоре, сажето је описана методологија истраживања као синтеза принципа онтолошког инжењерства и теорије категорија ослоњена на парадигму моделом вођеног инжењерства, онтолошког моделовања и теорије категорија, и прецизно је исказан научни допринос докторске дисертације. Приказана је структура текста докторске дисертације по поглављима и веза истраживачких питања са поглављима у којима се она првенствено и додатно разматрају. Начин на који је кандидат формулисао истраживачки хипотезу, артикулисао истраживачка питања и идентификовао домет и ограничења свог истраживања сведоче о исцрпном и дубоком разумевању области и предмета истраживања, док приказ структуре текста докторске дисертације омогућава лако праћење овог комплексног истраживања.

У другом поглављу дисертације приказан је преглед стања у области процесно свесних информационих система (енгл. *Process-Aware Information Systems*, PAIS) и сродних области на које се развој PAIS-а ослања.

Детаљно је описан концепт и дата је класификација PAIS-а и прецизно су карактерисани PAIS-и релевантни за дисертацију. Анализиран је однос према сродним концептима (системи за управљање радним токовима, системи за управљање пословним процесима, системи за управљање ресурсима предузећа) и исказана су три ограничења традиционалних PAIS-а: (1) ригидна структура и тешко прилагођавање променама, (2) недостатак семантичке ригорозности, (3) ограничена способност учења из података, и (4) слаба интеграција са техникама вештачке интелигенције. Препознат је и јасно аргументован континуитет развоја у области који води од PAIS-а, преко интелигентних PAIS-а (енгл. *Intelligent Process-Aware Information Systems*, IPAIS), до система за управљање пословним процесима унапређених вештачком интелигенцијом (енгл. *AI-Augmented Business Process Management Systems*, ABPMS) на начин који основну дефиницију концепта PAIS никако не доводи у питање.

У истом поглављу дата је анализа академских истраживања, али и индустријских резултата у областима на које се ослањају савремени трендови развоја PAIS-а. Приказана анализа обухвата области моделом вођеног развоја софтвера, онтолошког моделовања у софтверском инжењерству, теорије категорија као формалног оквира за трансформацију модела, и приступима за аутоматизацију генерисања кода. Одликује се комплетношћу изабраних извора, њиховом релевантношћу за предмет истраживања дисертације и, што је посебан квалитет, даје јасно и прецизно позиционирање дисертације у односу на постојећу литературу у области тако што обједињује налазе из наведених области утврђујући кључне истраживачке празнине на спојевима тих области. Представља изузетно квалитетан полазни материјал истраживачима са интересовањима за развој савремених сложених информационих и софтверских система.

Треће, четврто и пето поглавље чине централни део дисертације.

У трећем поглављу дисертације приказан је онтолошки слој методологије предложене у дисертацији. Овај слој представља један од оригиналних научних доприноса дисертације. Онтолошки слој методологије раздваја платформски независан опис пословне апликације, уговор пресликавања и одлуке циљне платформе. Актуелна имплементација користи модулари BAV PIM 2.0, засебан речник BAV Mapping 2.0 и BAVj 2.0 као платформски специфичан профил за скуп технологија Java/Jakarta EE/Vaadin. Структурно језгро платформски независног модела не садржи JPA, SQL, JPQL, Vaadin руте ни физичка имена. Такве одлуке уводе се тек у BAVj профилу и реализацији генератора. Ова организација прати основну идеју MDA приступа: модел пословног информационог система не треба оптеретити детаљима конкретног програмског језика, библиотеке, корисничког интерфејса или система за перзистенцију (OMG, 2014). Модули платформски независног модела описују намеру и структуру апликације, речник пресликавања описује

апстрактни уговор трансформације, а BAVj наводи податке о реализацији за један циљни скуп технологија.

Описана је модулarna архитектура онтолошког оквира, дат је концептуални платформски независан модел информационог система, извршни профил платформски специфичног модела за Java платформу, веза платформски независног модела, пресликавања и платформски специфичног модела и описана је валидација онтолошког и реализационог уговора.

Резултати изложени у овом поглављу представљају значајан научни допринос којим се омогућују модели са ригорозном семантиком, што је један од основних проблема постојећих приступа моделовању информационих система.

Четврто поглавље описује други оригинални научни допринос проистекао из истраживања у дисертацији – категоријални апарат који обезбеђује очување структуре при трансформацији модела од платформски независног модела до извршног кода. Овде се модели представљају категоријама а трансформације функторима.

Категорија посматра се над унијом шематских елемената свих учитаних модула BAV PIM 2.0 и засебног речника BAV Mapping 2.0. Доменски и пресликавајући објекти зато се и даље издвајају као две пуне поткатегорије исте категорије. Над пресликавајућим класама затим се уводи категоријална конструкција, чији морфизми представљају дораде одређене хијерархијом `rdfs:subClassOf`. Засебност онтологије BAV Mapping не мења ову обједињену категоријалну интерпретацију.

Формални резултат односи се на шематску структуру трансформационог ланца. Функторска својства следе из конструкције када су пресликавања добро дефинисана, док верност и инјективност на објектима важе под експлицитним условима верификације. Не тврде се очување података на нивоу инстанци, семантичка еквиваленција онтологије и програма, нити могућност реконструкције онтологије из генерисаног кода.

Иако се посредна категорија може изоставити из записа композитног функтора, категорија не може се изоставити из формалног апарата. На њеном нивоу дефинишу се бифунктор параметризован циљним скупом технологија, једначине презентације и природне трансформације дорада, а кроз њу се факторише. Због тога она остаје неопходна за спецификацију, доказ добро дефинисаности и верификацију трансформације.

У овом поглављу дат је детаљан опис конструкција категорија из онтолошких скелета, конформансног функтора и бифунктора трансформације, условног очувања шематске структуре, те валидације модела и верификације трансформације.

Изложени резултати представљају нову, оригиналну методологију развоја софтвера која за репрезентацију модела заговара онтологије, а за трансформацију модела апарат теорије категорија.

У петом поглављу, детаљно је приказан трећи оригинални научни допринос дисертације – проширива софтверска платформа за развој процесно свесних информационих система.

Платформа је организована као слојевита архитектура пословног система која обухвата шест целина: инфраструктурни слој, перзистентни слој, слој доменских репозиторијума, слој оркестрације, презентациони слој, и слој агената. Инфраструктурни слој успоставља везу са релационом базом, бави се мапирањем између класа и табела базе података и подешава јединицу перзистенције у датотеци `persistence.xml`. Перзистентни слој чине ентитети изведени из класе `AbstractEntity` и метаподаци њиховог пресликавања. Слој доменских репозиторијума заснива се на хијерархији `AbstractHome` и обухвата операције CRUD, упите и трансакционе границе. Слој оркестрације повезује више репозиторијума у пословне токове и комуницира са слојем агената. Презентациони слој ослања се на апстракције `GenericView`, `GenericTable` и `GenericWindow`. Слој агената делује попречно у односу на остале слојеве и са њима комуницира путем сабирнице догађаја. Овде је детаљно описана и Java/Jakarta EE/Vaadin реализација платформе са посебним нагласком на имплементацију оперативног трансформационог ланца, као и оперативни PSM уговор. На крају овог поглавља је приказан механизам унапређења помоћу вештачке интелигенције.

Резултати приказани у овом поглављу потврђују могућности практичне примене предложеног теоријског методолошког оквира.

Шесто поглавље доноси валидацију и евалуацију предложене методологије. Валидација

обухвата проверу формалног модела, реализације трансформационог ланца и применљивости оквира у пословним апликацијама. Јединице анализе су PIM апликације, изабрана трансформациона спецификација, генерисани пројекат и конкретне компоненте информационог система. Успех на једном од ових нивоа не подразумева успех на осталима: логички конзистентан PIM може бити непотпун за генерисање, пројекат који се компајлира може захтевати допуну пословне логике, а постојање компоненте засноване на агентима само по себи не потврђује аутономно унапређење процеса. Поглавље обједињује више међусобно допуњујућих врста доказа на реалним информационим системима. Случај PostOffice служи за преглед конкретног пута од модуларног PIM-а до кода који користи BAV 2. Случај WasteX показује примену BAV 2 апстракција, пословних процеса и интеграција у развијеном пословном систему. Случај SoilLab представља проверу употребу основног модула BAV 2 у истраживачкој апликацији за сензорска мерења и припрему предиктивних модела, Случај DentaScape показује употребу ширег скупа опционих модула у апликацији за стоматолошку ординацију, док студија статичке класификације даје засебне емпиријске доказе за два домена. Аутоматизовани тестови и сертификати проверавају идентификовану BAV 2 верзију генератора и декларисани шематски део онтологије а засебна провера Maven реактора испитује саму модуларну библиотеку.

Иако нису спроведена потпуна регресиона тестирања, Комисија оцењује да је валидација и евалуација методологије извршена на начин који јасно и недвосмислено одсликава њене могућности и оцењује перформансе за репрезентативне случајеве.

Предмет седмог поглавља је анализа и дискусија остварених резултата. Прво су експлицитно наведена три доприноса у односу на стање у области: (1) категоријална формализација трансформационог ланца модела, (2) емпиријска студија статичке класификације у којој су проверени онтолошко закључивање, репродукција очекиваних класификација, понашање при намерно унетим грешкама и ограничена преносивост између два домена и (3) тренутна имплементација генератора: модуларни BAV PIM 2.0, BAV Mapping 2.0, BAVj 2.0 профил, непроменљиви ApplicationSpec, разрешавање вођено способностима, заштита датотека под контролом генератора и сертификат трансформационе спецификације. Затим је идентификовано и детаљно аргументовано пет ограничења приступа: изражајни домет језика OWL 2 DL, претпоставка отвореног света, платформска независност као архитектонска могућност а не као емпиријски потврђена једнакост више имплементација, обим емпиријске провере актуелног генератора, и високи професионални захтеви који се постављају пред кориснике за коришћење методологије. Дискутоване су и претње валидности при чему су идентификоване претње интерној валидности као последица чињенице да су сами аутори методологије доминирали у изради онтологија, генератора и тестова. Идентификоване су и претње екстерној валидности као последица малог броја разматраних домена, те претње конструктивној валидности (потреба да се мерења перформансе врше уз унапред дефинисане границе сваког мерења и да се одвојено прати валидација онтологије, екстракција PIM-а, PSM разрешавање, генерисање, компилација и класификација током извршавања). Коначно, идентификована је и претња поузданости као последица ограниченог корпуса прихватних тестова. Комисија оцењује да је изложена анализа и дискусија остварених резултата студиозна и објективна, да су доприноси стању у области вишеструки, вредни, јасно истакнути и аргументовани. Додани квалитет овог поглавља је што су објективно сагледана и јасно исказана ограничења приступа и претње валидности.

Последње, осмо поглавље садржи закључак и правце даљих истраживања. У закључку се сажето наводе преглед и резултати истраживања, док се у делу о даљим истраживањима идентификује пет тема: (1) подршка за двосмерни инжењеринг, (2) потпуна реализација АБПМС карактеристика, (3) реализација алтернативних скупова платформских технологија, (4) развој доменски специфичних језика и графичких алата за доменско моделовање, и (5) проширење регресионог корпуса. Комисија оцењује да су закључци изведени у складу са претходно приказаним истраживањем те да су правци даљих истраживања директна последица ограничења идентификованих у поглављу 7 и да, као такви, представљају консеквентан план за даље унапређење предложене методологије у правцу који следи развој области истраживања.

У делу Литература, референце су наведене у складу са академским стандардима.

Део Прилози састоји се од електронског и штампаног дела. Електронски део обухвата меродавне фајлове а штампани део садржи пратеће описе потребне за репродукцију резултата.

Комисија је позитивно оценила све делове докторске дисертације.

VI. НАУЧНИ И СТРУЧНИ РАДОВИ КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА ИЗ ОБЛАСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу резултата истраживања из области докторске дисертације је објављено укупно девет научних радова у часописима и на научним скуповима. Следи листа објављених радова.

1. Bogdanović, B., Marković, V., Segedinac, M., Konjović, Z. (2026). Methodology for rapid development of PAIS based on ontological modeling and category theory. *Computer Science and Information Systems, OnLine-First*. <https://doi.org/10.2298/CSIS260815044B> (M22).
2. Bogdanović, B., Nikolić, S. (2026). From Rule Engines to Ontologies: An OWL 2 DL Approach for Domain-Specific Evaluation Information Systems. *Computers*, 15(8), 544. <https://doi.org/10.3390/computers15080544> (M22).
3. Bogdanović, B., Marković, V., Segedinac, M., Konjović, Z. (2026). BAB software framework and micro-service technology as the basis for cooperative process-aware information systems on the Java platform. *Vojnotehnički glasnik*, 74(3), 613–641. <https://doi.org/10.5937/vojtehg74-59807> (M51).
4. Bogdanović, B., Obradović, Đ., Segedinac, M., Konjović, Z. (2024). BAB Framework – Towards an Extensible Software Platform for AI-Augmented Process Aware Business Information Systems. In: Trajanović, M., Filipović, N., Zdravković, M. (eds.), *Disruptive Information Technologies for a Smart Society: Proceedings of 14th International Conference on Information Society and Technology (ICIST 2024)*, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 860, pp. 197–212. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71419-1_18 (M33).
5. Bogdanović, B., Segedinac, M., Konjović, Z., Marković, V. (2026). Chasing ABPMS Vision: The BAB Framework Approach for LLM Agents Over Model-driven Enterprise Systems. *Sinteza 2026 – International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science*, pp. 103–116. <https://doi.org/10.15308/Sinteza-2026-103-116>. Пленарно предавање по позиву (M31).
6. Bogdanović, B., Marković, V., Obradović, Đ., Segedinac, M., Konjović, Z. (2025). Ontological Modelling and Reasoning for the AbstractHome Class of the BAB Framework for PAIS Systems. *Sinteza 2025 – International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science*, pp. 128–135. <https://doi.org/10.15308/Sinteza-2025-128-135> (M33).
7. Bogdanović, B., Konjović, Z., Obradović, Đ. (2023). BAB (Business Application Builder) Framework for Rapid Development of Business Information Systems. *Sinteza 2023 – International Scientific Conference on Information Technology, Computer Science, and Data Science*, pp. 76–84. <https://doi.org/10.15308/Sinteza-2023-76-84> (M33).
8. Bogdanović, B. (2026). Formal Guarantees of Structural Properties in Ontology-Driven Software Development. In: Papić, Lj. (ed.), *Proceedings of the 17th DQM International Conference: Life Cycle Engineering and Management (ICDQM-2026)*, Prijevor, Serbia, 25–26 June 2026. DQM Research Center – Prijevor. ISBN 978-86-86355-60-7. Пленарни рад по позиву (M31).
9. Bogdanović, B., Marković, V., Segedinac, M., Konjović, Z. (2026). BAB Core Ontology: A Formal Description Logic-Based Platform Independent Model for Enterprise Information Systems. *16th International Conference on Information Society and Technologies (ICIST 2026)*, програмска секција Software Engineering 1, 9. 3. 2026, рад бр. 14. Прихваћен за усмено излагање, према обавештењу од 10. 2. 2026, и уврштен у програм (M33).

Сви објављени радови директно се односе на предмет истраживања дисертације и кандидат је први аутор на свим објављеним радовима. Још једно запажање Комисије је да истраживање у докторској дисертацији представља континуиран наставак рада кандидата

на мастер академским студијама, чиме је кандидат демонстрирао јасно опредељење за област свог научног рада.

Комисија констатује да је научна продукција кандидата изнад просечног обима и завидног квалитета, те да су два рада објављена у часописима са SCI листе. Сходно изнетом, Комисија констатује да су задовољени сви формални услови за одбрану докторске дисертације који се односе на објављене радове прописани на Универзитету Сингидунум.

VII. ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Добијена научна сазнања су резултат истраживачког рада кандидата којим се потврђује висок ниво разумевања проблема, темељно познавање научне методологије и способност њене креативне практичне примене.

У закључку се сажето наводе преглед и резултати истраживања, док се у делу о даљим истраживањима идентификује пет тема: (1) подршка за двосмерни инжењеринг, (2) потпуна реализација ABPMS карактеристика, (3) реализација алтернативних скупова платформских технологија, (4) развој доменски специфичних језика и графичких алата за доменско моделовање, и (5) проширење регресионог корпуса.

Комисија оцењује да су закључци изведени у складу са претходно приказаним истраживањем те да су правци даљих истраживања директна последица ограничења идентификованих у поглављу 7 дисертације и да, као такви, представљају консеквентан план за даље унапређење предложене методологије у правцу који следи развој области истраживања.

VIII. ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Тумачење резултата истраживања је обухватно, дубоко и одлично структурирано. Исказан је изузетан фокус на предмет истраживања, уз темељну интерпретацију теоријских основа и, посебно, објашњење њихове успешне интеграције у практичну имплементацију. Резултати истраживања су систематично приказани коришћењем садржајних и концизних текстуалних објашњења и образложења обогаћених фрагментима кода, графичким и табеларним приказима. Део дисертације који описује примену теорије категорија у трансформационом ланцу модела одликује се високом математичком ригорозношћу, а део који приказује софтверску имплементацију прецизно дефинише и јасно описује услове коришћења предложеног категоријског модела.

Комисија је високо оценила начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX. КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

Да, докторска дисертација садржи све резултате и написана је у свему у складу са образложењем наведеним у пријави теме. Штавише, дисертација излаже вредне додатне резултате истраживања који нису били планирани у пријави а односе се на проширење методологије механизмом унапређења помоћу вештачке интелигенције.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да, докторска дисертација садржи све битне елементе који представљају оригиналан научни допринос, написана је и структурирана у складу са захтевима за израду научног дела.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригинални допринос дисертације науци је двојак, теоријски и практичан.

Теоријски допринос који припада рачунарској науци, прецизније теоријским основама софтверског инжењерства, је нова, оригинална методологија развоја процесно-свесних информационих система која се ослања на парадигму моделом вођеног развоја система, онтолошко моделовање и примену теорије категорија. При томе, онтолошко моделовање обезбеђује ригорозну моделску семантику а теорија категорија трансформациони ланац који очувава моделску структуру у оквиру парадигме моделом вођеног развоја система од

платформски независног модела до извршивог кода за различите платформе.

Практични допринос који припада области софтверског инжењерства у ужем смислу, је функционално софтверско решење за аутоматско генерисање кода процесно-свесних информационих система ослоњено на предложену методологију. Софтверско решење је верификовано на репрезентативним примерима реалних информационих система за Java платформу, чиме је потврђена практична употребљивост теоријских резултата. Комисија посебно указује на утврђену способност развијеног софтверског решења да на природан и контролисан начин укључи елементе вештачке интелигенције у информациони систем за који се код генерише.

Резултати дисертације представљају значајан допринос потврди остваривости софтверских алата за аутоматско генерисања кода за различите платформе, са укљученим елементима вештачке интелигенције, уз обезбеђење ригорозне моделске семантике и теоријске (математичке) гаранције очувања моделске структуре. Као такви, представљају значајан подстицај за даљу контролисану формализацију развоја сложених софтверских система и врло солидну основу за будућа истраживања у области аутоматизације развоја софтвера.

4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања?

У докторској дисертацији нема недостатака који би утицали на резултат истраживања.

5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно):

Помоћу софтвера за детекцију плагијаризма iThenticate (<https://www.ithenticate.com/>) утврђено је да проценат сличности са другим изворима износи 2% што недвосмислено потврђује оригиналност остварених резултата.

X. ПРЕДЛОГ

На основу изнетог у овом Извештају, Комисија са великим задовољством предлаже:

- Да се докторска дисертација под насловом „Методологија за убрзани развој процесно-свесних информационих система базирана на онтолошком моделовању и теорији категорија“ кандидата Боривоја Богдановића прихвати.
- Да се кандидату Боривоју Богдановићу одобри одбрана докторске дисертације под насловом „Методологија за убрзани развој процесно-свесних информационих система базирана на онтолошком моделовању и теорији категорија“.

Место и датум:
Београд, 25.9.2026.

1. др Млађан Јовановић, ванредни професор

 председник

2. др Видан Марковић, ванредни професор

 ментор

3. др Милан Сегединац, редовни професор

 члан