

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовао комисију: Декан Факултета техничких наука на основу одлуке Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, 012-40/550-2025 од дана 25.12.2025.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Видаковић др Милан	Редовни професор	Примењене рачунарске науке и информатика, 02.07.2014.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Председник	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Ковачевић др Александар	Редовни професор	Примењене рачунарске науке и информатика, 27.01.2022.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Члан	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Војновић др Никола	Ванредни професор	Електроенергетика, 01.05.2024.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Члан	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Радовановић др Милош	Редовни професор	Рачунарске науке, 12.12.2021.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду	Члан	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Сливка др Јелена	Редовни професор	Примењене рачунарске науке и информатика, 10.07.2025.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду	Ментор	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. Видаковић др Јована	Ванредни професор	Информациони системи, 01.07.2025.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Природно-математички факултет, Универзитет у Новом Саду	Ментор	
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
1. Име, име једног родитеља, презиме: Александра, Свето, Каплар 2. Датум рођења, општина, држава: 18.06.1992. Нови Сад, Нови Сад, Република Србија 3. Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Рачунарство и аутоматика, Дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер. 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2016, Рачунарство и аутоматика
III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Аутоматски систем управљања уређајима паметне куће за балансирање трошкова електричне енергије и удобности становања заснован на методама дубоког учења
IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл. Докторска дисертација припада научној области Електротехника и рачунарство, односно ужој научној области Примењене рачунарске науке и информатика. Написана је на српском језику на 198 страна Б5 формата латиничним писмом. Главни део дисертације садржи 7 поглавља, уз додатне сегменте за апстракт на енглеском језику, резиме рада на српском језику, литературу, биографију, прилог, индекс слика, индекс табела и план третмана података. Дисертација садржи 73 слика, 25 табела и 146 навода из литературе. Кључна документацијска информација написана је на српском и енглеском језику. Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља: 1. Увод 2. Теоријске основе 3. Преглед актуелног стања у области 4. Методологија 5. Евалуација методологије 6. Резултати и дискусија 7. Закључак

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој методологије за аутоматизацију планирања времена рада уређаја у паметној кући ради смањења трошкова електричне енергије уз одржавање удобности станара.

Докторска дисертација је организована у седам поглавља.

У првом поглављу наведена је мотивација решавања конкретног проблема, где је описан значај оптимизације потрошње електричне енергије у паметним кућама. Потом су истакнута отворена истраживачка питања у аутоматизацији планирања рада уређаја паметне куће, где је акценат на методама заснованим на дубоком учењу и примени великих језичких модела. Истакнути су циљеви, претпоставке и хипотеза ове дисертације. Набројани су кораци истраживања. На крају су истакнути резултати истраживања заједно са доприносима.

У другом поглављу наведене су теоријске основе везане за ову докторску дисертацију. Описана су окружења за симулацију потрошње електричне енергије у паметним кућама, где је акценат на опису рада уређаја са променљивом потрошњом. Наведени су модели дубоког учења који су примењени за управљање временом рада уређаја у симулираном окружењу паметне куће. Акценат је на моделима заснованим на учењу поткрепљивањем (енг. *Reinforcement Learning*, RL) и примени великог језичког модела (енг. *Large Language Model*, LLM). На крају је описана SHAP (енг. *SHapley Additive exPlanations*) библиотека која је примењена за анализу одлука модела заснованих на учењу поткрепљивањем.

У трећем поглављу је дат преглед актуелног стања у области. Анализиран је историјски развој система за управљање енергијом у паметним кућама. Хронолошки су набројани приступи засновани на учењу поткрепљивањем, као и примена великих језичких модела у системима паметних кућа. На крају су истакнута ограничења постојећих приступа и истакнуте су потребе за даљим истраживањем.

У четвртном поглављу анализирана је примењена методологија. Описана је архитектура система где су наведене основне компоненте: симулационо окружење паметне куће, слој који доноси одлуке у систему за управљање енергијом у домаћинству (енг. *Home Energy Management System*, HEMS), информациони слој који представља прикупљене податке и комуникациони слој који омогућава размену података између HEMS-а и симулационог окружења. Описана су два адаптивна симулациона окружења, где једно моделује константну потрошњу уређаја, а друго варијабилну. Дефинисана је вишециљна функција награде која оптимизује потрошњу електричне енергије при чему се разматра и комфор дефинисан од стране станара. Описана је примена модела учења поткрепљивањем и приказани промптови дизајнирани за примену великих језичких модела.

У петом поглављу извршена је евалуација методологије где су описани начини моделовања уређаја у паметној кући, временски услови и тарифни режим, захтеви станара паметне куће, репрезентација стања и скупа могућих акција и експериментална поставка. Дефинисан је тренинг скуп за моделе учења поткрепљивањем који обухвата прве три недеље у јануару и јуну, односно првих 22 дана. Евалуација се врши над једним даном након 22 дана, као и над наредних 7 дана у месецу. Због ограничења доступног буџета у овом истраживању, евалуација резултата LLM-а спроведена је само на једном дану.

У шестом поглављу дат је детаљни преглед и дискусија резултата. Прво се анализирају резултати модела учења поткрепљивањем где се анализира процес конвергенције награде, анализирају се вредности функције награде на нивоу дана након периода тренирања, анализирају се одлуке модела на нивоу једног дана из перспективе људског експерта са циљем да се процени да ли су одлуке модела усклађене са жељама станара уз рационалну потрошњу електричне енергије, и анализира се утицај карактеристика стања на одлуке модела коришћењем SHAP библиотеке. Потом се анализирају резултати LLM-а, где се анализирају вредности функције награде и одлуке

модела на нивоу дана. Након тога се врши поређење модела на нивоу једног дана са системом заснованим на знању (енг. *Knowledge-Based System*, KBS) дефинисаним од стране људског експерта, који је третиран као референтни модел. Потом је извршено испитивање робусности модела над 7 дана који следе након периода над којим је трениран модел. У анализи се засебно разматрају три метрике: удобност, цена електричне енергије и укупна награда. На крају су дати закључци и потенцијална побољшања.

У седмом поглављу наведен је закључак ове дисертације. Анализирају се кључни резултати, постигнуће постављених циљева и евалуира постављена хипотеза. Истичу се предности развијених модела, као и области у којима су потребна даља истраживања. Указана су могућа унапређења система и дате су смернице будуће примене и развој.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ:

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

M23 – Међународни часопис

1. **Kaplar, A.**, Vidaković, M., Vidaković, J. and Slivka, J., 2024. House energy management system for balancing electricity costs and residential comfort, based on deep reinforcement learning. *Acta Polytechnica Hungarica*, 21(8), pp.289-308, ISSN: 1785-8860, DOI: <https://doi.org/10.12700/APH.21.8.2024.8.15>.

M33 – Саопштење са међународног скупа штампаног у целини

1. **Aleksić, A.**, Vidaković, M., Slivka, J., Milosavljević, B., Kaplar, A. Multi-Agent based HEMS framework. In: Zdravković, M., Konjović, Z., Trajanović, M. (Eds.) *ICIST 2020 Proceedings*, pp.84-88, 2020
2. **Kaplar, A.**, Savić, F., Kaplar, A., Vidaković, J., Slivka, J., Vidaković, M. Integration of Mainflux platform into a Multi-Agent based HEMS framework. In: Zdravković, M., Trajanović, M., Konjović, Z. (Eds.) *ICIST 2021 Proceedings*, pp.168-172, 2021

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА:

У докторској дисертацији је представљено истраживање из области аутоматизованог управљања уређајима у паметној кући, са фокусом на оптимизацију потрошње електричне енергије уз очување комфора станара. Препозната је потреба за системима који могу да се аутоматски прилагођавају динамичким условима у снабдевању и потрошњи електричне енергије, укључујући варијације тарифа и производњу из обновљивих извора. Развијен је систем заснован на дубоком учењу поткрепљивањем и великим језичким моделима који омогућава интелигентно планирање рада уређаја без потребе за ручном интервенцијом или експертним дефинисањем правила. Представљена методологија није доменски ограничена и може се применити на различите конфигурације паметних кућа и сценарије потрошње. Описани приступи верификовани су применом у симулационом окружењу и евалуацијом резултата у различитим условима рада.

Доприноси истраживања су следећи:

- Развијено је адаптивно окружење које омогућава симулацију разноликих реалистичних сценарија потрошње енергије у паметним кућама (временски услови, тарифе и типови и карактеристике присутних уређаја). Симулационо окружење омогућава креирање виртуелног модела реалистичне куће.
- Предложена је функција награде за минимизацију трошкова електричне енергије уз очување комфора станара. Комфор станара је изражен у монетарним јединицама, што омогућава његово директно сабирање са трошковима електричне енергије и квантификацију спремности станара да плате коришћење уређаја у одређеном временском периоду. Станари дефинишу приоритете рада уређаја (висок, средњи, низак), при чему се сваком нивоу додељује одговарајућа новчана вредност у складу са тарифним режимима. За разлику од овог приступа, у постојећој литератури функција награде се најчешће формулише као пондерисана сума трошкова и комфора, при чему су тежински коефицијенти често бирани хеуристички, без јасног методолошког образложења.
- Разматрана су два приступа моделовању потрошње електричних уређаја – са константном и варијабилном потрошњом енергије. Варијабилни модел веродостојније одражава реално понашање уређаја и чини решења погоднијим за практичну примену, док се у литератури најчешће користи поједностављена претпоставка константне потрошње. Резултати показују да избор модела значајно утиче на перформансе система за управљање радом уређаја.
- Предложени су следећи приступи за решавање постављеног проблема: модели засновани на учењу поткрепљивањем, укључујући двоструку дубоку Q-мрежу и оптимизацију проксималне политике, као и методе које користе претрениране велике језичке моделе (ВЈМ). Ово је прва студија која се бавила применом ВЈМ у оптимизацији времена рада кућних уређаја.
- Предложени приступи су упоређени са референтним моделом заснованим на знању дефинисаном од стране људског експерта у више симулационих сценарија и годишњих доба. Показано је да модел заснован на оптимизацији проксималне политике испуњава постављене циљеве, односно, остварује исте или боље перформансе у односу на референтни модел, уз доношење одлука које су оправдане из перспективе људског експерта. Приступи засновани на ВЈМ нису у потпуности испунили дефинисане критеријуме, али су постигли резултате упоредиве са референтним моделом, што указује на њихов значајан потенцијал за даља истраживања.
- Резултати су указали да перформансе и стратегије анализираних приступа у значајној мери зависе од годишњег доба, док се у већини постојећих радова утицај сезонских разлика не разматра. Добијени налази такође потврђују предност предложених решења у односу на референтни модел, која се огледа у њиховој способности аутоматске адаптације на променљиве услове окружења, док би систем заснован на експертском знању захтевао редизајн при свакој значајнијој промени окружења.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА:

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Приказ и интерпретација експерименталних резултата у дисертацији су јасни, систематични и логички доследни. Изведени закључци су директно ослоњени на представљене податке, анализе и теоријску основу рада. Резултати су темељно представљени кроз графичке приказе, табеле и аналитичка поређења, уз контекстуализацију у односу на претходна истраживања у области управљања енергетским системима. Дисертација је успешно верификована применом алата за детекцију плагијаризма iThenticate.

У складу са наведеним Комисија ПОЗИТИВНО оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.

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

Да. Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Оригинални научни допринос докторске дисертације чини доказ полазне хипотезе на основу експерименталног и теоријског истраживања. Оригинални доприноси дисертације су:

- Развијено је адаптивно симулационо окружење које омогућава обучавање и евалуацију модела у виртуелној, реалистичној и персонализованој паметној кући пре примене у стварном свету.
- Предложена је нова функција награде у којој су комфор станара и трошак електричне енергије изражени у истим монетарним јединицама, чиме се елиминише потреба за хеуристичким тежинским коефицијентима.
- Уведено је реалистичније моделовање потрошње уређаја кроз варијабилне профиле рада и показано да избор модела потрошње значајно утиче на перформансе система управљања.
- Утврђена је потреба за сезонским ажурирањем модела, јер анализа показује да тренирани модели доносе различите одлуке у зависности од годишњег доба и морају периодично да се обнављају.
- Дисертација представља један од првих радова који испитују применљивост великих језичких модела у управљању уређајима унутар паметних кућа, показујући да претренирани модели могу доносити одлуке без потребе за поновним тренирањем, што је случај код типично коришћених модела учења поткрепљивањем.

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

Дисертација нема битне недостатке који утичу на резултате истраживања.

5. Образложење rezultata провере оригиналности рада (нумерички и наративно):	
Провером рада на плагијаризам помоћу програмског пакета iThenticate, утврђен је проценат преклапања од 2%, при чему се подударане односи на терминолошке и методолошке фразе. Комисија констатује да је кандидат адекватно цитирао коришћену литературу и да оригиналност добијених научних резултата и дискусије није упитан.	
X ПРЕДЛОГ:	
На основу наведеног, комисија предлаже:	
☒	а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;
☐	б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени);
☐	в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум: Нови Сад, 15.01.2026.

1. др Милан, Видаковић, редовни професор
_____, председник
2. др Александар, Ковачевић, редовни професор
_____, члан
3. др Никола Војновић, ванредни професор
_____, члан
4. др Милош Радовановић, редовни професор
_____, члан
5. др Јелена Сливка, редовни професор
_____, ментор
6. др Јована Видаковић, ванредни професор
_____, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај и да исти потпише.