

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
ЧАЧКА

ПРИМЉЕНО 2.08.2023.

Орг.јед.	Број	Прилог	Вредност
	1390		

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Андријевића

Одлуком Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу број IV-04-503/17 од 13.07.2023. године, на предлог Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку (одлука бр. 012-94-1172/15 од 03.07.2023. године), именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Небојше Андријевића, мастер професора технике и информатике**, под насловом:

„СИСТЕМ ЗА МОНИТОРИНГ И ПРЕДИКЦИЈУ АКТИВНОСТИ МЕДОНОСНИХ ПЧЕЛА БАЗИРАН НА ИОТ ТЕХНОЛОГИЈИ И ПРИМЕНИ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“

Докторанд Небојша Андријевић је 29. 06. 2023. године, након испуњења услова предвиђених Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу, предао рукопис докторске дисертације Наставном-научном већу Факултета техничких наука у Чачку, на оцену и проверу. Чланови Комисије детаљно су прегледали рукопис и проценили научни квалитет дисертације при чему су дали своје сугестије за унапређење презентације научних резултата. На основу Извештаја о провери на плагијаризам докторске дисертације и Оцене ментора проф. др Влада Урошевића о извештају и провери оригиналности докторске дисертације, достављеног 19. 07. 2023. год., а према члану 7. Правилника о поступку провере плагијаризма Универзитета у Крагујевцу, Комисија је констатовала да је утврђено подударње текста настало услед евиденције текста пријаве саме дисертације, претходно публикованих резултата проистеклих из истраживања које је докторанд спровео и препознавања библиографских извора уредно наведених у дисертацији уз поштовање академских правила цитирања. Овим су се стекли сви услови утврђени Правилником о пријави, изради и одбрани докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу да Комисија референата поднесе Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Опис докторске дисертације

Предмет истраживања у докторској дисертацији је тестирање и развој ИоТ (Internet of Things) система за мониторинг активности пчела, као и адекватна анализа података прикупљених са сензорских позиција уз примену вештачке интелигенције. Проблем који је истраживан и решаван у дисертацији је фундаментални и свеопшти проблем. Умирање и нестајање пчела неизбежно доводи до катастрофалних последица по глобални екосистем. Агресивна индустрија, лош однос према природи и окружењу, савремена пољопривреда и агротехничке мере уз примену пестицида и хербицида, као и значајне климатске промене довеле су до озбиљних негативних промена у пчелињем свету. Због свега наведеног долази до наглих помора читавих друштава, миграција из кошница, тровања приликом прикупљања полена, хране и меда и на тај начин озбиљно се угрожава локацијски екосистем јер пчеле представљају најбитнију карику у опрашивању биљака. У циљу спречавања наведених стања са катастрофалним последицама по пчеле и људе који их негују неопходан је развој и имплементација ИоТ система. Систем прикупља податке са више карактеристичних тачака из саме кошнице и из непосредног окружења, који указују на узрочно последична кретања пчела одакле се може утврдити и међусобна корелација осматраних параметара. Истраживања указују и на релевантност праћених параметара, чиме се омогућава и процена интензитета утицаја датог параметра за мониторинг пчелињег друштва.

Циљ дисертације је примена ИоТ технологија за развој, конструисање и изградњу целокупног система интегрисане кошнице са сензорима и микроконтролерима. Систем пружа увид у здравље пчелиње заједнице и омогућава пчеларима упозорења на нагла одступања вредности параметара у односу на номиналне. На основу дубинске анализе предвиђају се промене параметара и указује на тренутно стање у кошници, што представља директну предност у односу на ручни преглед кошнице који може изазвати стрес код пчелиње заједнице. Систем најпре прати улазно-излазне фреквенције пчела, док се модул за дубинску анализу података користи за предвиђање кретања пчела уз помоћ фактора са највећим утицајем. Веб оријентисана апликација омогућава контролу и управљање кошницама. Манипулација и приказ података у реалном времену се спроводе преко интерфејса који заокружује ИоТ систем за праћење и предвиђање са опцијама за активирање аларма.

Овакав интегрисани приступ, који користи технологије ИоТ, аналитику података и вештачку интелигенцију, пружа свеобухватно решење за пчеларе, помажући им да боље разумеју, прате и управљају пчелињим друштвима. Дизајниран систем има потенцијал да помогне у идентификацији и разумевању ширег утицаја промена у окружењу на пчеле, што омогућава очување њихове значајне улоге у екосистему.

У уводном делу (прво и друго поглавље) дисертације приказани су проблеми са којима се данашње пчеларство суочава од којих су најопаснија изумирања читавих колонија медоносних пчела, са потенцијалним катастрофалним последицама за читав екосистем. Савремена пољопривреда се базира на примени нових технологија и агротехничких мера за побољшање процеса производње и повећање приноса. Ови вештачки процеси неминовно утичу на дисбаланс природних токова и латентну промену животних услова у окружењу у коме пчеле обављају своје активности. Појашњени су поједини елементи приступа израде система за мониторинг и њихов значај за примену у савременој апикултури. Описана је мотивација и циљ рада ка изради јединственог система за мониторинг и предикцију активности пчелињег друштва применом модела вештачке интелигенције.

У трећем поглављу дата је детаљна анализа релевантности спроведених истраживања кроз преглед литературе и постојећа решења приказана у доступним публикацијама. Управо ова детаљна анализа помогла је у дизајну ИоТ система за мониторинг. Описана су досадашња истраживања и параметри који су праћени кроз иста, а који указују на значај фактора који представљају узрочнике кретања и понашања пчела.

У четвртном поглављу дата је анализа проблема са којима се пчелари сусрећу при дигитализацији пчеларства, са закључком да је за напредовање у овој области неопходна имплементација ИоТ-концепта и дигитализација већег дела процеса. Указано је на чињеницу да дигитализација захтева разумевање функционисања напредне технологије ка вишим нивоима примене, као и обуке пчелара за коришћење истих.

У делу описа ИоТ технологија приказано је тренутно стање примена ове технологије у пољопривреди и апикултури, које прате развој и хардверских и софтверских решења. Приказана је слојевита подела архитектуре ИоТ технологија и широка примена у свим сферама делатности савременог друштва. Описан је константан прогрес развоја бежичних технологија, клауд технологија, примене вештачке интелигенције на edge слојевима као и значај безбедности података.

У делу описа архитектуре система за мониторинг приказана је примена паметних сензорских модула на перцептивном ИоТ слоју за прикупљање података из микроекосистема пчелиње заједнице и интеграција сензора за прикупљање амбијенталних и метеоролошких промена који обезбеђују квалитативне и квантитативне улазне податке. Конструисан систем за детекцију пролаза пчела на улазу у кошницу, са паром фото-рефлектујућих отпорника за активирање сензора и детекцију смера кретања, омогућава прикупљање података о улазно-излазној фреквенцији кретања пчела. Примена аналитичких модела на скуп ових података омогућава откривање окидача за кретање пчела. С обзиром на специфичности екосистема кошнице, сензорски систем је пажљиво осмишљен и инсталиран тако да не ремети свакодневне активности пчела. Сензори постављени на прототипу кошнице су омогућили аквизицију изворних података који су потом интегрисани микроконтролерима, одакле се шаљу у базу података. Дат је комплетан опис микроархитектуре (Arduino платформа) и примењене сензорске електронике који су

коришћени за изradу IoT система, као и њихове техничке спецификације у Прилогу дисертације.

У делу описа софтверских технологија приказана је Веб оријентисана апликација која је пројектована тако да приказује податке у реалном времену, са административним подешавањима за манипулацију подацима. Овакав приступ омогућава пчеларима једноставан и интуитиван начин удаљеног праћења друштава медоносних пчела. Развијена апликација пружа онлајн сервис, надзор и управљање кошницама са уграђеним модулом за аналитику и предикцију за праћење кретања података према граничним вредностима.

У делу анализе података прикупљених кроз сензорски и перцептивни слој, приказани су графици корелација измерених вредности параметара из непосредног окружења кошнице са фреквенцијом кретања пчела, који указују на најзначајније узрочне факторе кретања. У овом делу су појашњена и комбинована деловања више параметара, као што је појава влаге у кошници услед ниских вредности температуре и високе влажности ваздуха, што директно утиче на сам квалитет ваздуха. Ови детаљи су јако битни и помажу при разумевању понашања пчела у различитим условима. Укрштање свих параметара са улазно-излазним фреквенцијама јединки, омогућава пчеларима да идентификују потенцијалне промене или ризике пре појаве критичних параметара који могу да изазову озбиљну штету или губитак самог пчелињег друштва. Кроз ову анализу, пчелари могу пратити здравље пчелиње заједнице, са упозорењима на било какве наглашене промене у понашању или активности које указују на постојање проблема.

У делу који се односи на вештачку интелигенцију приказан је значај примене модела вештачке интелигенције који унапређује могућности овог система. Поред описа предности примене вештачке интелигенције у различитим областима, приказани су и нови приступи у аналитици који се тренутно развијају. Узроци нестандартних понашања, одступања вредности у односу на номиналне и предвиђање трендова кретања параметара се могу детектовати употребом аналитичких модула за обраду велике количине података. Подаци прикупљени у облику временских серија конвертовани су у просечне сатне вредности на нивоу сваког посматраног дана у циљу што прецизнијег моделовања алгорита за предикцију. Ови подаци даље служе за тренирање модела машинског учења, где је примена науронских мрежа над прикупљеним подацима показала супериорност у тачности предикција у односу на традиционалне методе. Тестирано је више модела и приказани су резултати сваког појединачног модела са детаљним описом подешавања параметара. У докторској дисертацији коришћени су следећи модели: ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), Facebook Prophet и LSTM (Long Short-Term Memory) вишеслојне рекурентне неуронске мреже. LSTM рекурентне неуронске мреже су показале најбоље перформансе за овај скуп података, тако да је овај модел изабран за продукцију и интеграцију у софтвер. API скрипта која користи LSTM модел је интегрисана у апликативни део на клауд сервису апликације и служи за тригероване аларма уколико предиктивни алгоритам детектује неочекиване промене.

У делу анализе резултата додатно су приказане примене стандардних статистичких модела чији су резултати далеко слабији и показују инфериорност у односу на примену неуронских мрежа. Кроз табеле су дати детаљи сваког модела, а поређење резултата јасно указује да LSTM модел даје најтачније резултате у предвиђању броја излазака и улазака пчела, а у зависности од различитих фактора који постоје унутар и узван кошнице. У овом делу су приказани и доприноси статистичких анализа при пројекцији модела и подели података на различите скупове.

У Закључку је дат генерални опис и приступ конструкцији развијеног ИоТ система, његове предности и мане. Детаљно је описана реализација сваког појединачног сегмента за мониторинг и предикцију. Дати су и предлози за наставак истраживања који отварају нове правце у развоју оваквих решења. Указано је на својства система која се могу још додатно унапредити и наведене неке од опција проширења: систем хранилица, аутоматска регулација температуре и влажности у кошници, систем за контролу улаза у кошницу и сл.

Затим је приказана Литература са наводима коришћених библиографских извора из којих се сагледава опсежност спроведених истраживања и детаљна анализа решаваног проблема. На крају дисертације дати су прилози који садрже техничке спецификације коришћених сензора и микроконтролера инсталираних у систему. Дисертација садржи и обавезне елементе: Биографију и Изјаве о ауторству, истоветности верзија и коришћењу докторског рада.

2. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

Докторска дисертација кандидата Небојше Андријевића, мастер професора технике и информатике, под називом „Систем за мониторинг и предикцију активности медоносних пчела базиран на ИоТ технологији и примени вештачке интелигенције“ настала је као резултат кандидатовог самосталног научноистраживачког рада у области примене ИоТ технологије и вештачке интелигенције у савременом прецизном пчеларству.

Као први допринос дисертације истиче се развој ИоТ система који је есенцијалан за све добијене резултате приказане у дисертацији и који представља основ и за наредна истраживања. Представљени систем омогућава прикупљање података на основу којих се спроводи даља анализа података, корелација параметара и моделовање предикције. Кроз преглед научне литературе и референтних радова, није пронађен систем који би могао да испуни специфичне захтеве овог истраживања. Као одговор на ту потребу, развијен је и имплементиран систем заснован на Atmel и Espressif чиповима, са посебним фокусом на слој перцепције. За слој перцепције примењени су комерцијални сензори, са карактеристикама високе тачности. Сензори прикупљају податке са стратешких позиција у кошници, обезбеђујући квалитетне и прецизне податке који се смештају у базу података на клауд систему. Главна јединица система са дефинисаним временским итерацијама преко SIM модула шаље податке серверу за упис у базу. Увид у здравље кошница у реалном

времену и могућност благовремене акције су суштински потенцијал имплементације ИоТ технологије. На овај начин је могуће и откривање и уклањање евентуалних проблема чији су најчешћи узрок неадекватне делатности од стране човека.

Један од значајних доприноса овог система је могућност непрекидног праћења виталних параметара пчелињег друштва у реалном времену. Подаци који се прикупљају омогућавају пчеларима да имају увид у виталне параметре и активности пчела, као и да благовремено реагују. Коришћењем фото-отпорника на улазу, детектује се смер кретања пчела, чиме је омогућено прецизно бројање улазака и излазака и праћење њихових активности. Детекција је спроведена применом принципа прекида рефлекције у тренутку пролаза сваке јединке. Смер кретања је одређиван на основу редоследа активирања фотоотпорника (излазак–редослед активације 1-2, улазак–редослед активације 2-1). Ови подаци се заједно са осталим резултатима мерења бележе у облику временских серија, обезбеђујући потребне информације за даљу анализу и интерпретацију.

Приказани ИоТ систем представља иновативно решење за праћење и управљање пчелињим друштвима и пружа висок ниво аутоматизације и прецизности. Такође, отварају се могућности за даља истраживања и развој нових метода за праћење пчела уз унапређење њихове продуктивности и заштите здравља. Допринос се огледа и у могућности благовременог откривања проблема и осавремењавања пчеларских пракси, чиме се омогућава одрживи развоја пчеларства.

Други допринос ове дисертације је серверски део апликације и база података. Технологије на којима су базирани серверски део апликације и база података су РНР, Laravel и MySQL. Апликација је развијена тако да прихвати податке који се шаљу са ИоТ система, упише их у базу података а затим упућује ка клијентском делу апликације. Веб сервис приказан у дисертацији је кључан у оваквим приступима, јер његова практичност и доступност омогућавају контролна и апликативна подешавања без обзира на локацију.

Трећи допринос је фронтални део апликације коју чини интерфејс оптимизован за све врсте уређаја, задужен за приказ података из базе података и који садржи и аналитички аларм. Апликацији се може приступити са свих уређаја који имају приступ интернету без обзира на оперативни систем или хардверску конфигурацију. Други и трећи допринос заједно чине клауд систем, део неопходан за повезивање кошнице са корисником који гаји и негује пчеле. Апликација је организована тако да се лако манипулише сензорима који припадају кошници. Софтверско решење омогућава детаљно подешавање кошнице и сензора, преглед и статистику промена параметара. Статистика је битна не само због праћења тренда параметара, већ и због контроле евентуалног отказивања сензора. Могућност подешавања граничних вредности параметара је посебна вредност система, јер се аналитичким праћењем параметара омогућава активација аларма који се приказује на интерфејсу са нотификацијом. Обзиром да су кошнице удаљене у природи, апликација са алармима има круцијалну улогу у брзом и адекватном реаговању и предузимању одговарајућих мера за заштиту пчела.

Допринос система је поред ефикасног прикупљања података и њихова анализа и интерпретација. Кроз имплементацију модула вештачке интелигенције на серверској страни, систем омогућава идентификацију образаца и понашања пчела. Аналитички алати прате податке у реалном времену, препознајући промене параметара и активирају аларме у случају потенцијалних проблема.

Четврти део резултата се односи на примену вештачке интелигенције и модула за предикцију који се базира на моделима машинског учења. Циљ предикције је имплементација предиктивног API-ја, а у циљу покретања аларма, чија се активност приказује на корисничком делу апликације. У току израде ове докторске дисертације тестирано је неколико модела који показују добре резултате у раду са временским серијама. Најпре су тестиране различите вредности параметара p , d , и q за ARIMA модел. Комбинације параметара које су дале најбоље резултате за предвиђање броја улазака и излазака пчела су $(p, d, q) = (10, 0, 2)$ и $(0, 0, 2)$, редом. За Facebook Prophet модел је добијено да комбинација следећих улазних променљивих даје најбоље резултате: температура спољашњег ваздуха, влажност спољашњег ваздуха, температура у кошници, влажност у кошници, квалитет ваздуха, дневна светлост и интензитет осветљења, UV индекс. Након тренирања и тестирања ових модела показано је да најбоље резултате у предикцији кретања пчела на основу дефинисаних параметара дају рекурентне неуронске мреже. За њих је дефинисана мрежа од 50 LSTM неурона у првом скривеном слоју и једним неуроном у излазном слоју који служи за предвиђање активности пчела. Улаз у мрежу представља један временски корак са десет изабраних карактеристика. Средња апсолутна грешка (MAE) је коришћена као функција губитка и Adam оптимизатор за тражење оптималног решења. Модел је обучаван кроз 50 епоха са величином пакета од 20. Резултати унакрсне валидације за сваки од коришћених модела (ARIMA, Facebook Prophet и LSTM) дати су кроз вредност корена средње квадратне грешке (RMSE). За број улазака пчела за сваки од модела вредности грешака су 894.92, 589.97, 426.49, редом, док су добијене грешке за број излазака пчела 511.77, 475.25 и 378.46.

Показано је да LSTM модел даје најтачније резултате када је реч о предвиђању кретања пчела у зависности од спољашњих фактора и фактора који постоје унутар кошнице. Према добијеним резултатима, најбољи модел постиже поуздано предвиђање активности пчела, са грешком од само 8.9 пропуштених јединки на сат за изласке пчела и 7.8 пропуштених јединки на сат за уласке пчела у кошницу.

3. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

На основу Извештаја о провери на плагијаризам докторске дисертације Универзитета у Крагујевцу бр. IV-04-542/2 од 18.07.2023. год. и Оцене ментора о извештају и провери оригиналности докторске дисертације бр. 1358 од 19.07.2023. год., достављеног Комисији референата 24.07.2023. год. и увида у литературне податке, утврђено је да је

докторска дисертација под називом "Систем за мониторинг и предикцију активности медоносних пчела базиран на ИоТ технологији и примени вештачке интелигенције" кандидата Небојше Андријевића, мастер професора технике и информатике, резултат његовог оригиналног научног рада.

4. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Небојша Андријевић, мастер професора технике и информатике, запослен је на Академији техничких струковних студија у Београду и ангажован је на стручним предметима из области информационих технологија. Током докторских студија се бавио научноистраживачким радом из области ИоТ, програмирања и примене вештачке интелигенције. У досадашњем научноистраживачком раду, као аутор или коаутор је публикувао пет радова: рад у истакнутом међународном часопису (M22-1), саопштење са међународног скупа (M33-1) и три саопштења са скупа националног значаја (M63-3):

Рад у истакнутом међународном часопису – M22

- [1] **N. Andrijević**, V. Urošević, B. Arsić, D. Herceg and B. Savić, IoT Monitoring and Prediction Modeling of Honeybee Activity with Alarm, *Electronics* 2022, Vol. 11(5), ISSN 2079-9292, <https://www.mdpi.com/2079-9292/11/5/783>.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини – M33

- [2] **N. Andrijević**, D. Radaković, P. Vasiljević, „Koncept adaptivne smart IoT tehnologije za primenu u pametnoj poljoprivredi“, **Šesti naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem** Politehnika, 10. decembar 2021, Beograd, ISBN-978-86-7498-087-3, str.749-754.

Саопштења са скупа националног значаја штампана у целини – M63

- [3] **N. Andrijević**, V. Urošević., „Koncept smart košnica sa sistemom za zaštitu pčela od toksičnih poremećaja u vazduhu“, Konferencija YU INFO 2023, 13-16 mart 2023, ISBN 978-86-85525-29-2, str. 147-150.
- [4] **N. Andrijević**, V. Urošević, „Razvoj softvera za kontrolu ekosistema pčelinjeg društva sa alarmom“, Konferencija YU INFO 2022, 13-16 mart 2022, ISBN 978-86-85525-27-8, str. 173-175.
- [5] **N. Andrijević**, V. Urošević., „Razvoj sistema za kontinuirano praćenje stanja pčelinjeg društva“, Konferencija YU INFO 2021, 7-10 mart 2021, ISBN 978-86-85525-25-4, str.123-126.

5. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему

На основу прегледа докторске дисертације под називом „Систем за мониторинг и предикцију активности медоносних пчела базиран на ИоТ технологији и примени вештачке интелигенције“ Комисија констатује да обим и циљеви истраживања одговарају по садржају

теми прихваћеној од стране Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу. Квалитет спроведених истраживања у потпуности задовољава све научне, стручне и законске услове за докторску дисертацију. Дисертација представља оригинални научни допринос у области примене ИоТ технологије и вештачке интелигенције у савременом прецизном пчеларству.

6. Научни резултати докторске дисертације

Из истраживања спроведених током израде ове дисертације до сада је публикувано пет радова, од којих је један рад у истакнутом међународном часопису (M22-1), једно саопштење са међународног скупа (M33-1), три саопштења са скупа националног значаја (M63-3), а два научна рада се припремају за објављивање. Заокруженим теоријским и експериментално - истраживачким радом кандидат је дошао до следећих научних резултата:

- Осмишљен је и реализован ИоТ систем за прикупљање података са прецизним сензорима последње генерације успешно интегрисаним у пчелињи екосистем. За одређивање улазно - излазне фреквенције, која је кључни параметар мониторинга пчелињег друштва, дизајнирани су функционални пролази.
- Спроведена је примена рекурентних неуронских мрежа за предикцију кретања пчела на основу великог броја параметара из непосредног окружења пчела као и мониторинга микроклиме саме кошнице (метеоролошки параметри). Развијен је модел вештачке интелигенције коришћењем LSTM рекурентних неуронских мрежа, који има високу стопу тачности предикција. На основу овог модела је развијен предиктивни API који се користи за апликативни део ИоТ система. Модел постиже поуздано предвиђање активности пчела, са грешком од само 8.9 пропуштених јединки на сат за изласке пчела и 7.8 пропуштених јединки на сат за улазак пчела у кошницу.
- Примена Веб оријентисаних технологија у прецизном пчеларству представља нов корак у дигитализацији апикултуре. Веб сервиси и cloud системи такође представљају примену напредних технологија које олакшавају сервисне инсталације и лакши приступ администрирања услуга и подешавања.
- Прикупљени подаци дају константан увид у стање кошница и мониторинг здравља пчелињег друштва. Приказ података у реалном времену детектује одступања мерених параметара у односу на нормална стања и омогућава правовремену реакцију чиме је могуће предупредити нежељене исходе.

7. Применљивост резултата у теорији и пракси

Докторска дисертације кандидата Небојше Андријевића, под називом „Систем за мониторинг и предикцију активности медоносних пчела базиран на ИоТ технологији и примени вештачке интелигенције,, даје веома значајне резултате, који представљају нова

сознања у области примене ИоТ технологије и вештачке интелигенције у савременом прецизном пчеларству.

Примена ИоТ система је могућа на више нивоа. Наука која се бави проучавањем пчела, може имати велике користи од оваквих система, где велика количина података и примена аналитике вештачке интелигенције може донети нова сазнања и боље разумевање појединих понашања пчела као њихове реакције на промене у окружењу. ИоТ систем је самосталан и практично применљив са сетом проширења. Пчелари иначе увид у стање кошница обављају ручно што може бити отежано, захтева пуно времена и расположивост опреме. Инстант анализа и праћење токова података путем графика из апликативне презентације даје увид у трендове параметара, што може бити значајно са становишта прикупљања меда уколико подаци показују да у околини нема довољно хране.

Детектовање фреквенције кретања пчела је кључни параметар за аналитички део ИоТ система из којег се добијају подаци о узроцима активности пчела. Напредна аналитика као интегрисани део система за управљање кошницама је будућност дигитализације прецизног пчеларства, што је и доказано кроз дисертацију.

8. Начин презентовања резултата научној јавности

Као непосредни резултат рада на овој докторској дисертацији кандидат је публикувао више радова, од којих је један рад у међународном научном часопису *Electronics* категорије М22 који је до сада цитиран 5 пута од стране иностраних аутора (извор **Scopus**). Публиковао је и једно саопштење са међународног научног скупа М33 и три саопштења са скупа националног значаја М63. У фази припреме су два научна рада.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Докторска дисертација кандидата Небојше Андријевића, мастер професора технике и информатике, под називом: „СИСТЕМ ЗА МОНИТОРИНГ И ПРЕДИКЦИЈУ АКТИВНОСТИ МЕДОНОСНИХ ПЧЕЛА БАЗИРАН НА ИОТ ТЕХНОЛОГИЈИ И ПРИМЕНИ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ“ је у сагласности са прихваћеном темом од стране Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Чачку и Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу.

Кандидат је успешно конструисао ИоТ систем за мониторинг и предикцију активности пчела који је по свим елементима изразито мултидисциплинарног карактера. У архитектури ИоТ система инсталирани су сензори и микроконтролери најновије генерације, а за детекцију фреквенције кретања пчела дизајнирани су функционални пролази. Интегрисан је модел неуронских мрежа на ИоТ слојевима архитектуре за обраду података прикупљених са перцептивног слоја уз примену аналитике података, од edge слоја до презентационог слоја. Представљена су и проширења ИоТ система за управљање и контролу кошница, што отвара нове правце развоја дигиталног пчеларства.

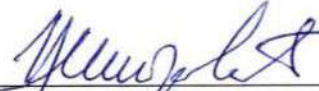
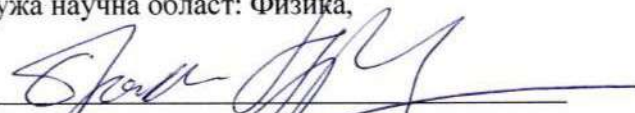
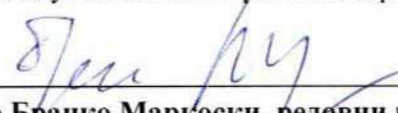
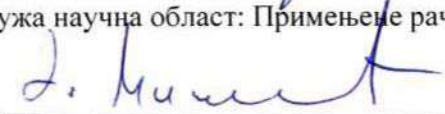
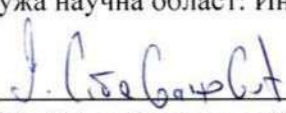
На основу претходно наведених чињеница Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Андријевића предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука у Чачку и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да докторску дисертацију под називом

**СИСТЕМ ЗА МОНИТОРИНГ И ПРЕДИКЦИЈУ АКТИВНОСТИ МЕДОНОСНИХ
ПЧЕЛА БАЗИРАН НА ИОТ ТЕХНОЛОГИЈИ И ПРИМЕНИ ВЕШТАЧКЕ
ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ**

прихвате као успешно урађену и да кандидата позову на усмену јавну одбрану докторске дисертације.

У Чачку, Крагујевцу, Новом Саду и Нишу, августа 2023. године.

КОМИСИЈА:

1. 
Др Небојша Митровић, редовни професор, председник,
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу,
ужа научна област: Физика,
2. 
Др Бранко Арсић, доцент, члан,
Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу,
ужа научна област: Примењено рачунарство,
3. 
Др Бранко Маркоски, редовни професор, члан,
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,
ужа научна област: Примењене рачунарске науке и информатика,
4. 
Др Данијела Милошевић, редовни професор, члан,
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу,
ужа научна област: Информационе технологије и системи,
5. 
Др Дејан Стевановић, научни сарадник, члан,
Електронски факултет, Универзитет у Нишу,
научна област: Техничко технолошке науке – Електроника.