

ОБРАЗАЦ 6

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

и

ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу одржаној 20.11.2024. године (број одлуке: IV-04-814/4) одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом: „РАЗВОЈСИСТЕМА ЗА КОНТРОЛУ КВАЛИТЕТА У ПРОИЗВODНОЈ ИНДУСТРИЈИ ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈЕ КОМПЈУТЕРСКЕ ВИЗИЈЕ”, кандидата Ђорђа Мијаиловић, студента докторских академских студија Индустијског инжењерства и инжењерског менаџмента, за коју је именован ментор Александар Ђорђевић, ванредни професор.

На основу података којима располажемо достављамо следећи:

ИЗВЕШТАЈ

О ОЦЕНИ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

1. Подаци о докторској дисертацији
1.1.Наслов докторске дисертације:
РАЗВОЈ СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛУ КВАЛИТЕТА У ПРОИЗВОДНОЈ ИНДУСТРИЈИ ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈЕ КОМПЈУТЕРСКЕ ВИЗИЈЕ
1.2.Опис докторске дисертације (навести кратак садржај са знаком броја страница, поглавља, слика, шема, графикана, једначина и референци) (до 500 карактера):
Докторска дисертација је написана на 134 странице и обухвата 7 поглавља. Резултати су представљени у виду 11 табела и 69 слика, а у раду је цитирано 115 референци. Основни научни циљ ове докторске дисертације је истраживање и развој система за визуелну контролу квалитета и управљање неусаглашеним производима, који се заснива на примени технологија Индустије 4.0 и Квалитета 4.0. Систем који је истражен у оквиру ове дисертације има потенцијал да се имплементира у оквиру постојећих производних процеса.
1.3.Опис предмета истраживања (до 500 карактера):
Ова докторска дисертација истражује примену метода компјутерске визије у области контроле квалитета у оквиру Индустије 4.0, са посебним акцентом на њихову интеграцију у савремене производне процесе. Циљ овог истраживања је развој и имплементација напредног система контроле квалитета који користи технологију машинског вида за идентификацију и класификацију неусаглашених производа у различитим фазама производње. Дисертација обухвата теоријске основе и практичне аспекте примене компјутерске визије у производним

процесима, као и анализу предности које ова технологија може донети у смислу побољшања прецизности и ефикасности процеса контроле квалитета.

У оквиру студије случаја, приказани су резултати примене развијеног система на конкретном производном процесу. Ови резултати се односе на побољшање квалитета производа, као и на оптимизацију оперативних параметара. Анализирани су подаци прикупљени током примене система, који се односе на укупну ефикасност опреме и машина. Овим подацима су такође утврђене области у којима је дошло до значајних побољшања, али и подручја која и даље захтевају додатне оптимизације. Посебно су анализирани утицаји примене система на смањење стопе дефеката и повећање продуктивности, као и на уштеду ресурса и енергије у производном процесу.

Тиме је истраживање не само теоријски значајно, већ и практично примењиво, са потенцијалом да буде интегрисано у постојеће производне системе, чиме се постиже значајно побољшање квалитета и укупне ефикасности производње у производним организацијама.

1.4. Анализа испуњености полазних хипотеза:

Кроз теоријски и практични рад, у оквиру ове докторске дисертације, пружени су детаљни одговори на основне хипотезе које су постављене као основа за истраживање. Хипотезе су дефинисане на основу јасно постављеног циља истраживања, који је имао за задатак да истражи и развије нове приступе у области примене машинског вида у контексту контроле квалитета у производним процесима. Разматрање и тестирање ових хипотеза омогућило је дубље разумевање основних принципа који стоје иза предложених решења, као и њихову применљивост у стварним производним условима.

X1. Може се развити унапређен систем за контролу квалитета применом компјутерске визије у концепту индустрије 4.0. који резултира бољим перформансама.

На основу истраживања, утврђено је да већина малих и средњих компанија користи мануелне методе контроле квалитета. Овај начин контроле квалитета је спор, захтева значајан број запослених који су обучени за идентификацију неусаглашености производа. Развијени систем, који је представљен у оквиру ове докторске дисертације, заснован је на примени технологије машинског вида и успешно је имплементиран у савременим условима производње, где су били присутни стварни производни проблеми.

При развоју овог система, праћени су улазни параметри који су добијени истраживањем, а фокус система је на уочавању површинских неусаглашености производа. Овај фокус омогућава интеграцију система у производним организацијама из различитих сектора. Први корак у примени система био је процес обуке алгорита машинског вида за препознавање неусаглашених производа, који је реализован на основу података из стварног производног окружења. Обука је укључивала препознавање добрих производа и неусаглашених производа, уз коришћена колекција од 110 сликовних података које су коришћене за дефинисање класа неусаглашености. Квалитет података за обуку имао је значајан утицај на прецизност система, те је било потребно обезбедити одговарајућу скуп података.

Након обуке, систем је тестиран и примењен за детекцију неусаглашености производа. Тестирање је започето у лабораторијским условима, а затим је следила интеграција у производно окружење. Подаци добијени из система били су обрађени и складиштени коришћењем рачунарства у облаку, што је омогућило приступ подацима у реалном времену.

Поред тога, добијени резултати система упоређени су са подацима који су добијени из истраживања спроведеног у производним компанијама које су контролу квалитета спроводиле традиционалним методом. Резултати показују да је развијени систем значајно побољшао перформансе у односу на традиционалне методе контроле.

На основу добијених података може се закључити да је систем довео до унапређења перформанси производних организација у следећим аспектима:

- **Смањење отпада** – Правовремена идентификација неусаглашености производа од стране развијеног система зауставља производњу и обавештава надлежне, што омогућава брзо реаговање на неусаглашености. У производним процесима, запослени често надгледају већи број производних јединица и стога им је потребно више времена за реакцију.
- **Брзина у доношењу одлука** – Развијени систем је бржи у идентификацији неусаглашености, са временом реакције мањим од 2 секунде. За разлику од система, запосленом је потребно више времена за идентификацију неусаглашености.
- **Прецизност** – Време које је потребно за идентификацију неусаглашености и континуитет рада система не утичу на прецизност одлука које систем доноси. За разлику од тога, у случају запосленог, фактори као што су замор или смањена концентрација могу утицати на прецизност.
- **Доступност података** – Подаци добијени применом овог система су доступни континуално, што омогућава брже доношење одлука заснованих на детаљним подацима од стране менаџмента. Ова доступност података може значајно побољшати укупну ефикасност процеса управљања квалитетом у компанији.

На основу ових резултата, може се закључити да је развијени систем довео до значајног побољшања перформанси у односу на традиционалне методе контроле квалитета, те да је његова примена оправдана у производним условима.

X2. Примена система за контролу квалитета који је развијен у оквиру ове докторске дисертације ће довести до повећања ефикасности и ефективности процеса производње и допринети већој тачности и прецизности, смањиће могућност појаве неусаглашених производа на тржишту и допринеће бољем одлучивању са аспекта управљања квалитетом.

Примена развијеног система за контролу квалитета омогућава значајна побољшања у производним процесима, чиме организације стичу конкурентску предност. Бенефити система у контексту ове хипотезе могу се сажети у следеће аспекте:

1. **Повећање ефикасности производног процеса:** Развијени систем омогућава аутоматизовану и правовремену идентификацију неусаглашености производа, чиме се скраћује време потребно за детекцију и корекцију проблема у производном процесу. Овај приступ омогућава организацијама да идентификују и отклоне уска грла у производњи, чиме се побољшавају оперативне перформансе.
У дисертацији се наводи да је укупна ефикасност опреме и машина израчуната коришћењем следећих показатеља: расположивост, перформансе и квалитет. Перформансе су представљене као однос времена потребног за израду једног производа у идеалним условима и укупног времена рада машине, док су расположивост и квалитет дефинисани као односи планираног времена и стварног времена рада, односно броја добрих и укупног броја производа, респективно. Развијени систем користи напредне алгоритме који омогућавају идентификацију проблема пре него што утичу на коначну ефикасност, уз укључивање података о укупној ефикасности опреме.
2. **Смањење броја неусаглашених производа:** Систем аутоматски алармира и зауставља производњу при детекцији неусаглашености, чиме се спречава настанак додатних дефектних производа. Ова функционалност доприноси ефикасности производње, јер омогућава предузимање корективних мера у раној фази. Поред тога, континуирано праћење параметара производног процеса омогућава идентификацију узрока неусаглашености, што доприноси континуитету производње уз минималне прекиде. Током тестирања система, откривено је да алгоритам YOLO V3 успешно класификује неусаглашене производе у две класе: пукотине и мехуре. Тачност идентификације је

достигла 100% за димензије дефеката мање од 0.25 %, док је за веће дефекте износила 99.43%. Систем је интегрисан са платформама као што су ThingSpeak и MATLAB, што обезбеђује детаљну анализу и визуализацију параметара који доприносе информисанијем доношењу одлука.

3. **Повећање тачности и прецизности:** Развијени систем постиже висок степен тачности и прецизности у детекцији неусаглашености, чиме се смањују варијације у квалитету производа. То доприноси одржању високог нивоа квалитета и задовољавању стандарда који су кључни за позиционирање производа на тржишту. Кључне предности система укључују употребу технологија као што су YOLO алгоритам и TensorFlow, који омогућавају прецизну детекцију различитих типова дефеката. Обука система на реалним подацима из индустрије обезбеђује високу поузданост у класификацији производа. YOLO V3 алгоритам је обрађивао слике величине 416x416 пиксела са просечним временом обраде од 0.963 секунде по слици, што значајно доприноси процесу детекције. Ова брзина рада је упоредива са најсавременијим системима контроле квалитета. Анализа података у real-time режиму укључује обраду слика добијених са индустријских камера, уз коришћење OpenCV библиотеке за детекцију и идентификацију дефеката.
4. **Смањење могућности појаве неусаглашених производа на тржишту:** Употребом система, неусаглашени производи се идентификују пре него што дођу до крајњих корисника, чиме се смањују ризици за репутацију компаније и трошкови који настају због повлачења производа или компензације корисницима. Систем је дизајниран тако да интегрише механизме за алармирање у случају детекције већег броја неусаглашених производа. Ово омогућава да се одмах предузму корективне мере, чиме се значајно смањује ризик од појаве дефеката у коначним производима. Тиме се обезбеђује конзистентан квалитет и унапређује однос са клијентима.
5. **Подршка одлучивању и управљању квалитетом:** Подаци добијени из система се визуализују на различите начине, укључујући контролне табле са граничним вредностима и алармима. Ово укључује постављање приоритета, планирање мера побољшања и оптимизацију процеса на основу објективних показатеља. На овај начин, производне организације могу брзо реаговати на изазове и осигурати континуитет производње уз постизање стратешких циљева квалитета.

Укупно гледано, примена система за контролу квалитета развијеног у оквиру ове дисертације значајно унапређује ефикасност, прецизност и конкурентност организација, што потврђује његову применљивост и релевантност у савременом индустријском окружењу.

ХЗ. Унапређени алгоритми и развијен систем доводе до детекције неусаглашености производа у реалном времену на основу захтева стандарда ИСО9001/2015.

На основу захтева стандарда ISO 9001:2015 и алгоритама који су примењени за развој система представљеног у овој дисертацији, може се рећи да су доприноси система следећи:

- Брза идентификација неусаглашености производа. Развијени алгоритми омогућавају систему да брзо анализира визуелне податке током производног процеса. Као резултат, подаци о идентификацији неусаглашености производа доступни су у реалном времену, чиме се значајно скраћује време реакције на проблеме који се могу појавити у производњи. У дисертацији се истиче да систем користи YOLO V3 алгоритам, који детектује неусаглашености са тачношћу већом од 99%. Ова тачност омогућава предузимање мера у реалном времену, што значајно унапређује ефикасност производње.
- Смањење губитака ресурса. Правовремена идентификација неусаглашености производа омогућава организацији да брзо примени корективне мере, чиме се смањују губици ресурса. Систем спречава како производњу серија неусаглашених производа, тако и њихову дистрибуцију, чиме се штеде време и други ресурси. Подаци из анализе показују да је

интеграција система довела до смањења отпада за 15%, што значајно доприноси одрживости производње.

- Повећање прецизности и тачности идентификације неусаглашености. Употреба напредних алгоритама омогућава прецизнију и тачнију идентификацију неусаглашености, смањујући могућност за лажно позитивне и негативне резултате. Прецизност и тачност побољшавају квалитет система и помажу у избегавању непотребних интервенција које би захтевале додатне ресурсе.
- Ефикасно управљање променама. Систем пружа могућност организацији да идентификује неусаглашености које су настале услед промена у производном процесу. То омогућава минимизирање ризика од већих проблема у каснијим фазама производње. Употреба система резултирала је смањењем времена потребног за анализу утицаја промена са 48 сати на мање од 4 сата, што је посебно значајно у динамичним производним окружењима.
- Континуирано праћење перформанси. Систем омогућава континуирано праћење перформанси производње, идентификацију кључних параметара и области за побољшање. То укључује праћење укупне ефикасности опреме (ОЕЕ), броја дефеката и трендова у квалитету. На основу извештаја из система, идентификоване су кључне тачке побољшања које су допринеле повећању ефикасности опреме за 12% током периода тестирања.
- Боље управљање ризицима. Идентификација неусаглашености у реалном времену омогућава организацији да проактивно управља ризицима који могу довести до пада продуктивности или квалитета производа. У дисертацији се наводи да је интеграција система довела до смањења учесталости ризичних ситуација за 20%, укључујући ситуације које би могле резултирати повлачењем производа са тржишта.
- Смањење рекламација. Правовремена идентификација и кориговање неусаглашености у току производног процеса директно утиче на смањење броја рекламација од стране купаца. Статистика из дисертације показује да је број рекламација смањен за 25% након примене система, чиме је унапређено искуство купаца и репутација произвођача.
- Ефикасно управљање документацијом о квалитету производа. Систем омогућава управљање документацијом, укључујући податке о тренутном стању производње, застоју и количинама произведених производа. То доприноси транспарентности и усаглашености са стандардом ISO 9001:2015. Могућност прегледа извештаја у систему показује аутоматску генерацију документације, што је олакшало приступ информацијама у за све нивое управљања.

Овако интегрисан и детаљно представљен систем значајно доприноси испуњавању стандарда ISO 9001:2015, унапређењу производних процеса, смањењу ризика и постизању већег квалитета производа.

1.5. Анализа примењених метода истраживања:

Коришћене методе истраживања у овој дисертацији обухватају:

1. Теоријска анализа:

- Преглед литературе у области индустрије 4.0 и квалитета 4.0, са циљем да се истраже трендови и иновације у овим областима и утврде најбоље праксе за примену у контроли квалитета.
- Анализа метода које се примењују у области контроле квалитета засноване на површинској неусаглашености, као основа за развој новог система.

2. Методе контроле квалитета засноване на примени компјутерске визије:

- Развој система за контролу квалитета у производној индустрији заснован на примени технологије компјутерске визије.
- Коришћење напредних алгоритама (попут YOLO и TensorFlow) за идентификацију и класификацију објеката и површинских неусаглашености, са

применом у специфичним производним процесима као што су монтажа подскопа и ливење легуре силицијума.

3. Тестирање развијеног система:

- Примена развијених система у реалном индустријском окружењу, тестирање и интеграција у производне линије и машине.
- Верификација ефикасности развијеног система у поређењу са традиционалним методама контроле квалитета, као и тестирање његових перформанси у различитим производним условима.

4. Анализа података прикупљених развијеним системом:

- Анализа података прикупљених од стране развијеног система са фокусом на квалитет производа и укупну ефикасност опреме и машина.
- Преглед података како би се побољшао процес производње, оптимизовала употреба ресурса и смањили губици.

Ова докторска дисертација примењује наведене методе с циљем доприноса развоју решења у области квалитета 4.0 и индустрије 4.0, при чему правовременом идентификацијом неусаглашености производа директно утиче на побољшање квалитета производа и повећање профита компаније.

1.6. Анализа испуњености циља истраживања:

Циљ овог истраживања био је развој система за контролу квалитета који би био примењив у постојећим производним индустријским окружењима, уз примена технологија Индустрије 4.0, посебно у контексту примене машинског вида. У овом процесу, фокус је стављен на унапређење и примену савремених софтверских алата који омогућавају рад у реалном времену, уз усавршавање алгоритама машинског вида. Испуњеност циљева дефинисаних у оквиру истраживања може се проценити као потпуно, на основу развоја и тестирања система који задовољава све постављене захтеве и очекивања.

Општи циљ:

Главни циљ истраживања био је развој система за контролу квалитета, који се базира на примени технологија Индустрије 4.0, са посебним фокусом на машински вид. Развијени систем успешно функционише у постојећим производним окружењима и показује значајну предност у односу на традиционалне методе контроле квалитета. Овај систем је успешно интегрисан у реалне производне системе, што је доказано кроз тестирање и верификацију система у стварним производним условима. Интеграцијом у производну индустрију, процес контроле квалитета је у великој мери олакшан, чиме су значајно смањене потребе за примењивањем традиционалних метода, које су раније захтевале више времена и људских ресурса.

Развој система и спречавање појаве неусаглашених производа на тржишту:

Један од кључних циљева истраживања био је развој система и алгоритама који омогућавају правовремену идентификацију неусаглашености производа и спречавање њиховог пласирања на тржиште. У складу са овим циљем, развијени систем је омогућио брзу и прецизну детекцију дефеката на производима, што је у великој мери смањило број неусаглашених производа који би иначе били дистрибуирани на тржиште. Поред тога, правовремена идентификација неусаглашености значајно је смањила губитке који настају услед производње већег броја дефектних производа. Тиме се није само спречила штета по компанију у погледу материјалних и производних ресурса, већ је и побољшана репутација и поверење потрошача.

Унапређење ефикасности и дигитализација:

Један од кључних аспеката истраживања био је развој система који би значајно допринео повећању ефикасности производње кроз дигитализацију и примену технологија које омогућавају реално праћење и оптимизацију производних процеса. Развијени систем, базиран

на напредним алгоритмима компјутерског вида, омогућава не само детекцију дефеката, већ и континуирано праћење ефикасности опреме и машина, што се директно одразило на повећање продуктивности и оптимизацију производног процеса.

Дигитализација процеса, уз интеграцију система у производне линије, омогућила је не само побољшање квалитета производа, већ и значајну редукуцију трошкова и времена потребног за ручну контролу, чиме се ефикасност производних процеса повећала за више од 15%.

Дигитализација контроле квалитета производа, као и спречавање производње неусаглашених производа, директно су утицали на брже доношење одлука и на крајњи квалитет производа. Ово је такође допринело смањењу времена производње, као и времена потребног за анализу података, чиме се унапређује ефикасност производних процеса и смањују трошкови.

Остварени резултати:

Теоријски резултати:

Развијен је систем за контролу квалитета заснован на примени технологије компјутерске визије, који замењује неефикасне и деструктивне традиционалне методе идентификације неусаглашености производа у производним индустријским окружењима. Тестирањем система анализирани су могућности имплементације система у реалном окружењу, као и могући проблеми и грешке које су се јавиле током примене. Резултати тестирања показују да је систем успешно интегрисан у производне линије и да функционише у складу са стандардима Индустрије 4.0.

Практични резултати:

Развијени систем је не само финансијски исплатив, већ користи безбедне методе за имплементацију у оквиру индустријског окружења. Монтажа система је брза, а период поврата инвестиција је кратак, што чини ову технологију приступачном за производне организације које желе да модернизују своје производне процесе.

Поред тога, развијени систем испуњава очекивања и постављене циљеве, доприносећи развоју савремених система за контролу квалитета који су у складу са захтевима Индустрије 4.0 и Квалитета 4.0. Овај напредни систем омогућава брзу и прецизну детекцију неусаглашености, чиме се спречавају скупљи дефекти на крају производног процеса и смањује потреба за накнадним корекцијама, што повећава укупну ефикасност и смањује губитке.

Закључак:

На основу постигнутих теоријских и практичних резултата, може се закључити да је циљ развоја система за контролу квалитета у индустријском окружењу успешно испуњен. Развијени систем представља значајан корак напред у области модернизације производних процеса, остварујући уштеде и побољшање квалитета уз примену технологија Индустрије 4.0 и Квалитета 4.0.

1.7. Анализа добијених резултата истраживања и списак објављених научних радова кандидата из докторске дисертације (аутори, наслов рада, назив часописа, волумен, година објављивања, странице од-до, DOI број¹, категорија):

Резултати истраживања и практична примена развијеног система

Резултати истраживања који су представљени у овој докторској дисертацији показују напредак у области контроле квалитета у производној индустрији. Развијени систем, заснован на примени машинског вида и алгоритама, показао је адекватну прецизност у идентификацији неусаглашених производа. На основу тестирања и анализа развијеног система, може се закључити да овај модел може успешно заменити традиционалне методе идентификације, чиме се смањују трошкови и време, а истовремено повећава ефикасност производних процеса.

¹ Уколико публикација нема DOI број уписати ISSN и ISBN

Тестирање система показало је да он у потпуности даје тачне резултате идентификације неусаглашености производа. На основу анализе података који су били обезбеђени пре самог тестирања и резултата након имплементације, закључено је да развијени систем пружа високу тачност у детекцији неусаглашености, што га чини ефикасним алатом за замену традиционалних метода.

Применом компјутерског вида за идентификацију неусаглашености производа, добијени резултати су такође били позитивни. Софтверски систем који је развијен у оквиру овог истраживања успешно идентификује неусаглашености производа током производног процеса, као што је монтажа подклопова или непосредно након ливења силицијума. Примена овог система значајно је смањила време потребно за идентификацију и повећала прецизност откривања неусаглашености, што доприноси бољој контроли квалитета у реалном времену.

Имплементацијом овог система у производну индустрију омогућена је идентификација неусаглашености производа, чиме се пружа увид у целокупан квалитет производње. Ово омогућава брзо реаговање на проблеме у производном процесу и значајно побољшање квалитета производа у целини.

Додатни напредак у производним процесима

Још једна од предности примене развијеног система је анализа прикупљених резултата. Поред података који се односе на квалитет производа, ова анализа пружа могућност добијања података који се односе на укупну ефикасност опреме и машина. Овим приступом добија се преглед перформанси за сваку од производних линија, што омогућава даљу оптимизацију производног процеса и повећање ефикасности опреме.

Применом овог система у оквиру једне индустријске јединице могу се открити уска грла производње и подаци који указују где се налазе највећи губици. Ово је значајно побољшало процес идентификације и анализе неусаглашености, чиме је систем допринео већој ефикасности производње.

Предности развијеног система у контексту Индустрије 4.0

Дигитализација контроле квалитета производа и спречавање производње неусаглашених производа директно утичу на брже доношење одлука и на крајњи квалитет производа. Ово доприноси смањењу времена производње и времена потребног за анализу података. Доступност података у реалном времену значајно олакшава приступ подацима и добијање извештаја, што је велика предност у поређењу са традиционалним методама.

Технолошке предности и изазови имплементације

Практичном применом система у реалним индустријским окружењима потврђен је висок степен ефикасности предложеног решења. Систем који је развијен у оквиру ове докторске дисертације и имплементиран и тестиран у производној индустрији је значајно допринео у побољшању процеса контроле квалитета. Смањени су трошкови овог процеса, што код традиционалних метода није случај.

Осим тога, сам концепт система је развијан тако да не захтева велика почетна средства за имплементацију у производној индустрији. Примена овог система је показала да је то могуће реализовати уз минимална инвестициона улагања.

Неке од препрека имплементације су технолошка ограничења, као и неспремност запослених за примену савремених технологија. Међутим, ова ограничења су превазиђена кроз обуку запослених, чиме је обезбеђена њихова потпуна усмјереност на рад са новим системима.

Резултати ове докторске дисертације потврђују да примена савремених технологија значајно утиче на процес управљања квалитетом производа, смањење трошкова, повећање ефикасности производних машина и лакшу анализу података. Добијени резултати истраживања показују да предложени систем и методе доприносе значајном унапређењу система за идентификацију квалитета производа у производној индустрији. Правовремена идентификација

неусаглашености производа може оптимизовати производне процесе, смањити трошкове производње и време, што све доприноси успешној примени Индустрије 4.0 и Квалитета 4.0 у производној индустрији.

Списак објављених радова:

1. **Ђорђе Мијаиловић**, Aleksandar Đorđević, Miladin Stefanović, Dejan Vidojević, Albina Gazizulina, Damir Projović, (2021), A Cloud-Based with Microcontroller Platforms System Designed to Educate Students within Digitalization and the Industry 4.0 Paradigm. Sustainability, Vol. 13, No. 22:12396. ISSN 2071-1050, <https://doi.org/10.3390/su132212396> (M22)
2. Jelena Jovanović, **Ђорђе Мијаиловић**, Aleksandar Đorđević, Miladin Stefanović, (2020), Application of Prototyping Microprocessor Board and Cloud System to Teach Industry 4.0 Concepts, International Journal of Engineering Education, Vol. 36, No. 3, pp. 1–11, ISSN 0949-149X. (M23)
3. **Ђорђе Мијаиловић**, Aleksandar Đorđević, Miladin Stefanović, Milan Eric, QUALITY CONTROL IN THE MANUFACTURING INDUSTRY BASED ON THE APPLICATION OF COMPUTER VISION, 14th International Quality Conference, Quality Festival 2023, Kragujevac, 2023, 24-27 May, pp. 681-688, ISBN 978-86-6335-104-2 (M33)
4. **Ђорђе Мијаиловић**, Aleksandar Đorđević, Miladin Stefanović, Milan Eric, IDENTIFICATION OF PRODUCT NONCONFORMITIES USING COMPUTER VISION ALGORITHMS, 14th International Quality Conference, Quality Festival 2023, Kragujevac, 2023, 24-27 May, pp. 699-708, ISBN 978-86-6335-104-2 (M33)
5. **Ђорђе Мијаиловић**, Yury Klochkov, Milan Mišić, Aleksandar Đorđević, Bojan Stojčević, Aleksandar Pavlović, (2020), ICT Leadership as Enabler of Business performances: An integrative approach, International Journal for Quality Research, ISSN 1800-6450, DOI – 10.18421/IJQR16.01-12. (M51)
6. **Ђорђе Мијаиловић**, Darjan Karabašević, Dragiša Stanujkić, (2018), Razvoj sistema za pracenje ambijentalnih faktora primenom Arduino platforme, Trendovi u poslovanju, Vol. 12., pp. 37- 46. ISSN: 2334-816X (M53)

1.8. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области и анализа извештаја о провери докторске дисертације на плагијаризам (до 1000 карактера):

На основу претраге доступне литературе, која је спроведена кроз детаљно и систематско истраживање базе података "КоBSON", уз употребу одговарајућих кључних речи као што су: Контрола квалитета, Индустрија 4.0, Квалитет 4.0, Компјутерски вид, Машинско учење, Класификација дефекта, Идентификација неусаглашености, Неуронске мреже, Рачунарство у облаку, није пронађена литература која се бави сличним дизајном и методолошким приступом као у овој докторској дисертацији. Ово указује на оригиналност и иновативност приступа примењених у истраживању.

На основу анализе објављених студија, комисија је оценила докторску дисертацију кандидата Ђорђа Мијаиловића под насловом *"РАЗВОЈ СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛУ КВАЛИТЕТА У ПРОИЗВОДНОЈ ИНДУСТРИЈИ ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈЕ КОМПЈУТЕРСКЕ ВИЗИЈЕ"* као резултат оригиналног научног рада. Ова дисертација представља значајан допринос у области индустријског инжењерства, управљања квалитетом и развоја система за потребе индустрије, посебно у контексту интеграције савремених технологија као што су компјутерска визија, неуронске мреже и рачунарство у облаку у процесе контроле квалитета.

Провером докторске дисертације на плагијаризам показао је минимална преклапања од 2% (словима: 2 процента) и искључиво на местима која су била неопходна, односно предствљају последицу навођења имена институција, оптих стручних назива, фраза и података, као и библиографских података о коришћеној литератури, што потврђује оригиналност и независност истраживања. Кандидат је показао систематичност,

креативност и оригиналност у свом истраживању, доприносећи значајном напретку знања у оквиру наведених области.

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

Дисертација представља значајан допринос области контроле квалитета у производним индустријским системима, посебно у контексту примене напредних технологија као што су машински вид и неуронске мреже. С обзиром на актуелно стање у индустрији, овај рад представља значајан корак напред у преласку са традиционалних метода контроле квалитета на напредне методе које користе компјутерску визију за идентификацију неусаглашености производа.

Применом алгоритама за идентификацију аутоматски се прати квалитет производа у току производног процеса. Ова дисертација одговара на потребу за прецизнијом, ефикаснијом и бржом контролом квалитета, што је основни циљ индустрије 4.0. Применом овог система смањене су људске грешке, повећана продуктивност и смањени трошкови производње, што су кључни аспекти успешности компаније.

С обзиром на трендове који се односе на дигитализацију производне индустрије, ова докторска дисертација доприноси применом савремених технологија у самом производном процесу. Применом алгоритама и неуронских мрежа значајно се смањује време идентификације неусаглашености, чиме се постиже контрола квалитета целокупног производног процеса.

Ова дисертација такође даје важан допринос у контексту индустрије 4.0, јер је основни фокус на дигитализацији производних процеса и унапређењу постојећих, прецизном праћењу и оптимизацији производних процеса. Овај систем није оправдан само теоријски, већ и практично, имплементирањем у реалним производним окружењима, што доказује на основу његових резултата.

Основни допринос ове докторске дисертације лежи у методама контроле квалитета у производној индустрији, које су прецизније, брже и финансијски исплативије од традиционалних метода, а истовремено одговарају на потребе за дигитализацијом и аутоматизацијом процеса у складу са принципима индустрије 4.0 и квалитета 4.0. Применом развијеног система у производној индустрији и правовременом идентификацијом неусаглашености производа директно се утиче на смањење губитака и омогућава лакши приступ подацима.

1.10. Оцена испуњености услова за одбрану докторске дисертације у складу са студијским програмом, општим актом факултета и општим актом Универзитета (до 1000 карактера):

Комисија сматра да су испуњени сви услови за одбрану ове докторске дисертације у складу са студијским програмом, општим актима Факултета инжењерских наука и општим актима Универзитета у Крагујевцу. Докторска дисертација испуњава све критеријуме за оригинални научни рад у области контроле квалитета у индустријским системима, са применом компјутерске визије. Аутор је успешно развио нови модел за контролу квалитета који користи напредне технологије машинског учења и машинског вида, чиме је значајно допринео оптимизацији производних процеса и унапређењу стандарда квалитета.

Дисертација је добро структурирана, са јасно дефинисаним циљевима, методологијом и детаљно обрађеним подацима који потврђују хипотезе и циљеве истраживања. Истраживање је научно засновано, а резултати су уверљиво представљени, показујући значајну иновацију у контроли квалитета у производном индустријском окружењу. Такође, развијени систем има јасну примену у индустрији и представља важан корак у примени савремених технологија за побољшање процеса контроле квалитета.

Оцена за испитивање на плагијаризам такође је позитивна, што потврђује да је дисертација

оригиналан научни рад, без било каквих неовлашћених копирања или прекршаја етичких норми. У целини, ова докторска дисертација задовољава све потребне критеријуме за успешну одбрану, како у смислу академске изврности, тако и у контексту практичне примене истраживања у савременим индустријским окружењима.

2. ЗАКЉУЧАК

На основу анализе докторске дисертације и приложене документације Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације под насловом „РАЗВОЈ СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛУ КВАЛИТЕТА УПРОИЗВодној ИНДУСТРИЈИ ЗАСНОВАН НА ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈЕ КОМПЈУТЕРСКЕ ВИЗИЈЕ”, кандидата **Ђорђа Мијаиловића**, предлаже надлежним стручним органима да се докторска дисертација прихвати и да се одобри њена одбрана.

Чланови комисије:


Милан Ерић, редовни професор

Факултет инжењерских наука, Универзитет у
Крагујевцу

Производно машинство


Председник комисије


Миладин Стефановић, редовни професор

Факултет инжењерских наука, Универзитет у
Крагујевцу

Индустријски инжењеринг, Производно
машинство

Члан комисије


Александар Вујовић, редовни професор

Машински факултет, Универзитет Црне Гора

Индустријски инжењеринг

Члан комисије

Члан комисије