

ПРОШИРЕНА СТВАРНОСТ У ИНДУСТРИЈИ 4.0/5.0

AUGMENTED REALITY IN INDUSTRY 4.0/5.0

МЛАДЕН ВУКОВИЋ¹, МИЈОДРАГ МИЛОШЕВИЋ²
ДЕЈАН ЛУКИЋ³, ДЕЈАН БОЖИЋ⁴

Оригинални научни рад
DOI: 10.5937/VI25093V

Резиме: Како индустрија наставља да се развија, Augmented Reality (AR) ће несумњиво играти кључну улогу у обликовању будућности производње. AR прави разлику у производном сектору јер побољшава ефикасност, тачност и безбедност. Користећи уређај који подржава ову технологију, радници имају могућност да приступе информацијама и упутствима у реалном времену. У овом раду се анализира AR као једна од кључних техника виртуелизације физичког света у индустрији и производњи. Дати су и описи неки од софтверских пакета која се користе у развоју AR система у производним окружењима и који су коришћени у развоју апликације за препознавање машинских компоненти.

Кључне речи: Индустрија 4.0/5.0, Проширена стварност, Unity, Vuforia

Abstract: As the industry continues to evolve, Augmented Reality (AR) will play a key role in shaping the future of manufacturing. AR is making a difference in the manufacturing sector by improving efficiency, accuracy, and safety. Using a device that supports this technology, operators have the ability to access information and instructions in real time. This paper analyzes AR as one of the key techniques for virtualizing the physical world in industry and manufacturing. It also describes some of the software packages used in the development of AR systems in manufacturing environments and which were used in the development of an application for recognizing machine components.

Key Words: Industry 4.0/5.0, Augmented Reality, Unity, Vuforia

¹ Младен Вуковић, OCSiAl Balkan DOO, Балканска 21, Београд, plexusstudio@yahoo.com

² Мијодраг Милошевић, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, mido@uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-8950-4867

³ Дејан Лукић, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, lukicd@uns.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1566-282X

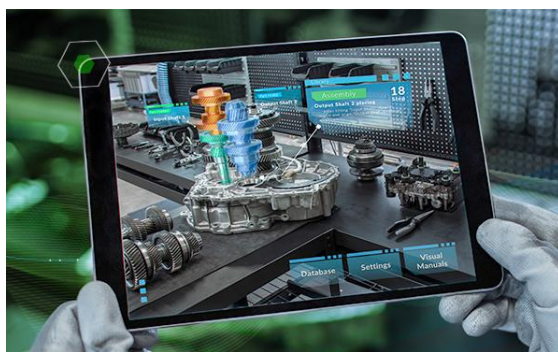
⁴ Дејан Божић, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, bozic997dejan@uns.ac.rs, ORCID: 0009-0009-1095-8101

1. Увод

Проширена стварност (Augmented Reality – AR) је технологија којом се уз примену одговарајуће опреме и апликација, видљиви (реални) свет преклапа са слојем дигиталног садржаја [1]. Ово је помоћни систем (Assisted Operator) који се користи у логистици, одржавању, монтажи итд. Проширену стварност представља непосредни или индиректни приказ физичког окружења у стварном свету који је побољшан/допуњен додавањем виртуелних рачунарских информација. AR је интерактивна технологија у 3D формату и комбинује стварне и виртуелне објекте. Проширена стварност има за циљ да помогне кориснику тако што виртуелне информације приказује, не само у непосредном корисничком окружењу, већ омогућава и било који индиректни поглед на окружење у стварном свету. AR побољшава перцепцију и интеракцију корисника са стварним светом [2].

AR се такође може користити за појачавање чула корисника сензорском супституцијом, помоћу аудио или визуелних сигнала. Виртуелни објекти интегрисани у стварно окружење приказују информације које корисник не може директно регистровати својим чулима [3]. Информације које преносе виртуелни објекти могу нпр. помоћи раднику при обављању активности у производном процесу.

Када говоримо о AR и њеној способности да интегрише дигиталне информације у реални свет, постоје одређени предуслови који омогућавају ову технологију. Наравно, у питању су хардвер и софтвер [4]. Корисник, кроз наочаре за виртуелну стварност или екран телефона или таблета, види слику стварног света снимљену камером, на коју се надограђују дигитални садржаји у облику текста, слика или 3D модела, слика 1. Ове додате информације имају различите сврхе и могу се прилагођавати у складу са потребама или специфичностима индустрије.



Слика 1. Приказ дигиталног садржаја у комбинацији са стварним светом

Већина напредних AR уређаја базирана је на SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) технологији. Ова технологија омогућава уређају да стекне динамичко разумевање корисничког непосредног окружења, тако да дигитални елементи могу бити постављени у окружење или чак генерисани од стране окружења на начине који имају смисла за посматрача, слика 2.



Слика 2. Преклапање дигиталног модела са физичким моделом

Праћење омогућава апликацији да разуме позицију и оријентацију објекта у простору. Ово може омогућити захтевнијим апликацијама да раде у динамичким окружењима, али је то такође основа за неке нове корисничке интерфејсе. Док препознавање објеката и слика омогућава апликацији да представи информације засноване на окружењу, просторни AR омогућава корисницима да поставе дигиталне елементе у AR приказ окружења. Они могу укључивати моделе, белешке или друге врсте напомена које остају „усидрене“ за ту позицију у простору за њихову будућу референцу, а често и за друге кориснике [5].

2. Намена AR у производњи и индустрији

У производњи и индустрији, AR се може користити за различите намене. У наставку су дате области примене AR у оквиру производних, односно индустријских окружења.

2.1. Побољшање обуке и вештина радника

Проширена стварност нуди јединствену прилику за револуцију у обуци радника и развоју вештина у Индустрији 4.0. Пружајући интерактивна упутства и упутства у реалном времену, AR може значајно смањити криву учења за нове запослене.

Радници могу преклопити дигиталне инструкције, дијаграме и симулације са машинама на свом радном месту, што им омогућава да ефикасније науче сложене задатке, слика 3.

2.2. Израда инструкција за монтажу

AR помаже процес склапања у производњи преклапањем дигиталних инструкција директно на делове из стварног света, водећи раднике корак по корак. Ово минимизира грешке, јер запослени могу визуелно да прате сваку фазу склапања са упутствима и анимацијама у реалном времену. AR алати такође могу да истакну критичне компоненте или области у којима је прецизност кључна, осигуравајући тачност и квалитет. Поред тога, AR може да прикаже 3D моделе, чинећи сложене делове лакшим за разумевање и смањујући време обуке за нове раднике. Дакле, AR повећава ефикасност, побољшава квалитет и омогућава брже криве учења у процесу склапања производа, слика 4.



Слика 3. Учење на радном месту помоћу AR апликације



Слика 4. Интерактивна упутства за монтажу са препознавањем делова

2.3. Идентификација делова и опреме

AR побољшава препознавање делова у производњи идентификацијом компоненти у реалном времену и приказивањем релевантних информација на екрану, слика 5. Радници могу брзо да скенирају делове помоћу AR уређаја, који их аутоматски препознају и приказују кључне детаље као што су спецификације, број делова и компатибилност. Овај поједностављени процес идентификације смањује могућност коришћења нетачних делова и убрзава мон-

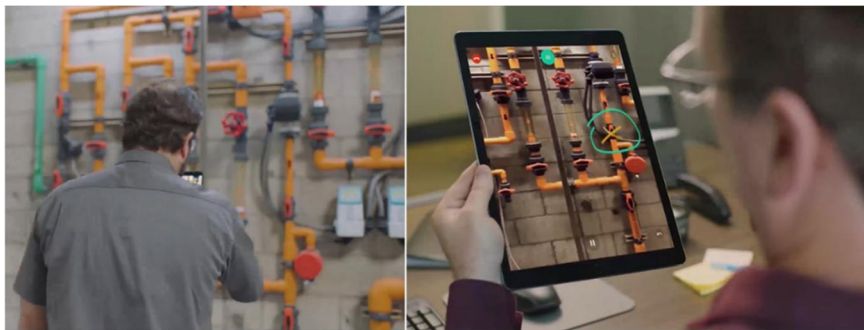
тажу и одржавање. Поред тога, AR пружа тренутни приступ листама резервних делова, омогућавајући радницима да виде расположиви инвентар, наруче замене или пронађу одговарајуће алтернативе без напуштања свог радног места. На овај начин се побољшава ефикасност и смањује време застоја осигуравајући да су прави делови лако доступни.



Слика 5. AR апликација за идентификацију компоненти

2.4. Омогућавање сарадњу на даљину – Виртуелни асистент

AR омогућава даљинску сарадњу међу тимовима, без обзира на географску локацију. Преко уређаја који подржавају AR, радници могу да деле своје погледе у реалном времену, бележе објекте и комуницирају са колегама, стручњацима или супервизорима, слика 6.



Слика 6. Даљинска колаборација и стручна помоћ

Преко уређаја који подржавају AR, техничари могу да добију упутства у реалном времену од стручњака који се налазе на некој другој локацији. Стручњаци могу даљински да дијагностикују проблеме, дају упутства корак по корак, па чак и да пребаце виртуелне алате у видно поље техничара. Ова могућност смањује потребу за посетама на лицу места, убрзава процесе одржавања и обезбеђује ефикасно решавање проблема.

2.5. Побољшање контроле квалитета и инспекције

У Индустрији 4.0, одржавање стандарда високог квалитета је кључно. AR може побољшати контролу квалитета и процес инспекције комбиновањем дигиталних информација са физичким објектима, слика 7.



Слика 7. AR процедура за контролу квалитета

AR може да истакне недостатке и неправилности на готовом производу који су могли промаћи голом оку или да пружи упутства за инспекцију корак по корак и упореди податке у реалном времену са унапред дефинисаним стандардима. Ова технологија обезбеђује доследност, тачност и смањује људске грешке, што резултује побољшаним квалитетом производа и задовољством купаца.

2.6. Побољшање дизајна производа и израде прототипа

Проширена стварност револуционарно мења фазу пројектовања производа и фазу израде прототипа у Индустрији 4.0/5.0. Пројектанти могу да визуелизују производ и манипулишу виртуелним 3D моделима у реалним окружењима, што им даје могућност да процене изводљивост, ергономију и естетику дела који пројектују, слика 8.



Слика 8. Визуелизација пројектованог дела у стварним димензијама

AR такође омогућава брзу израду прототипа, где виртуелни прототипови могу да се тестирају и модификују у реалном времену, смањујући време до пуштања производа на тржиште и трошкове развоја.

2.7. Повећање безбедности радника

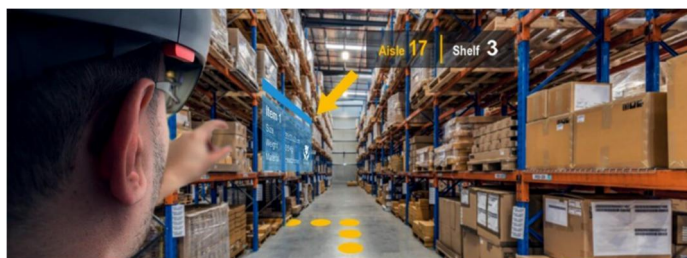
AR може допринети побољшању безбедности радника у производним окружењима. Преклапањем безбедносних упутстава, упозорења о опасностима и података о потенцијалним ризицима у реалном времену, AR може помоћи радницима да се безбедније крећу у свом окружењу. AR може да истакне опасне области или да пружи смернице за правилно руковање опасним материјалима, слика 9. Ова технологија промовише безбедније радно окружење, смањује несреће и ризик од повреда.



Слика 9. Упозорење на лицу места у индустријском окружењу

2.8. Подршка ЈИТ производњи

Just In Time (ЈИТ) производња је кључни принцип у Индустрији 4.0/5.0, са циљем да се минимизују залихе и оптимизује ефикасност производње. Проширена стварност може допринети ЈИТ производњи пружањем информација у реалном времену о нивоима залиха, распореду производње и подацима о ланцу снабдевања. Радници могу приступити овим информацијама преко AR уређаја, што им обезбеђује праве информације у право време, смањујући шкарт и побољшавајући укупну ефикасност производње, слика 10.



Слика 10. Стање залиха у реалном времену

3. Примена софтверских пакета *Unity* и *Vuforia* у AR

У домену AR за индустријску примену, наметнула се компанија PTC са својим софтвером Vuforia. Ова компанија је позната по софтверима Creo

(CAD/CAM) и OnShape (Cloud CAD). Vuforia има неколико својих подваријanti, од самосталне верзије под именом Vuforia Studio која је комерцијално решење намењено velikim бизнисima, до бесплатне верзије. Ово је, заправо, надоградња на Unity окружење које је намењено за креирање компјутерских игара и виртуелних светова.

3.1. Unity окружење

Unity Engine је корисно и свестрано мулти-платформско окружење које се често користи за развој интерактивних 2D, 3D, VR i AR апликација [8]. Unity пружа интуитивно развојно окружење са широким скупом алата, укључујући визуелни едитор, робустно окружење за физичке и кинематске симулације, као и подршку C# програмски језик. Када је интегрисан са Vuforia Engine, Unity проширује своје AR могућности, омогућавајући програмерима да креирају апликације које препознају и комуницирају са објектима из стварног света, слика 11.



Слика 11. Развој Unity AR апликативног решења за препознавање вентила

Unity окружење омогућава развој AR апликативног програмског решења које се може користити у препознавању машинских компоненти. Овакво решење се може прилагођавати различитим уређајима и оперативним системима. Једна од главних карактеристика Unity окружења је развој пројеката за различите платформе. Пројекти креирани у овом окружењу могу се извршавати на 27 различитих платформи [8].

3.2. Софтверски пакет Vuforia

PTC Vuforia је напредна AR платформа која користи камеру да идентификује и прати слике, објекте и просторне карактеристике [9]. Програмери могу да искористе Unity алате за рендеровање и управљање сценом заједно са Vuforia могућностима препознавања и праћења, омогућавајући прецизно преклапање виртуелних елемената на физичке предмете у апликацијама као што су индустријско препознавање модела и навођење корисника. Vuforia је

софтверска платформа која омогућава програмерима да креирају AR апликације за мобилне уређаје и AR наочаре. На слици 12 је приказана примена AR технологије у препознавање машинских компоненти вентила. Крајњи циљ је лакша идентификација делова, склопова и производа у великим фабричким и производним погонима. На овај начин се обезбеђује лакше одржавање машина, уређаја и опреме, као и ефикаснија замена делова.



Слика 12. Vuforia AR апликација за препознавање машинских компоненти

Vuforia подржава алате за креирање и управљање различитим типовима AR садржаја на различитим платформама (Android, iOS i Microsoft). Приликом виртуелизације се користи неколико различитих технологија за препознавање простора и позиционирање виртуелног садржаја у реално окружење. Те технологије укључују позиционирање помоћу: 2D графике – Image Targets, бар кодова и QR кодова – Barcode Scanner, специјално дизајнираних графичких мета – VuMarks, графичких мета у облик цилиндра – Cylinder Targets, графичких мета у облик кутије – Multi-Targets, детекције 3D модела – Model Targets, детекције равни у простору коришћењем сензора удаљености на телефону – Ground Plane и детекције простора – Area Targets.

4. Закључак

Проширена стварност је спремна да револуционарно промени производни сектор у Индустрији 4.0. Она надограђује производне процесе и праксе. Њене примене у обуци радника, производним процесима, контроли квалитета, даљинској сарадњи и пројектовању производа трансформишу традиционалне производне прилазе. Користећи AR, компаније могу побољшати продуктивност, смањити трошкове, побољшати квалитет производа и подстаћи иновације. Већ сада је реално очекивати да ће се наћи решење за повезивања ERP, MES, SCADA, PLC и AR апликације како би се директно у фабричком погону добиле све информације у реалном времену на преносивом уређају попут

таблета или телефона. Такво решење ће допринети бржем реаговању у промени технолошких параметара, превентивном и хаваријском одржавању, повезивању са магацином резервних делова, као и релевантним информацијама о добављачима и роковима испоруке.

Увођење у индустријске процесе нових инжењера и радника помоћу AR апликација ће довести до бржег оспособљавања за рад као и боље разумевање производног процеса и опреме са којом се рукује и која се одржава. Дигитални близанац фабрике у уређају који стане у цеп са комплетним информацијама о сваком делу опреме је ултимативни циљ оваквих решења.

5. Литература

- [1] Милошевић М, *Индустрија 4.0 – Дигиталне технологије у производном процесу*, Поглавље у књизи *ИНДУСТРИЈА 4.0 – Дигитална трансформација обликује будућност*, стр. 1–20, Друштво за роботiku у БиХ – Бихаћ, Академија наука и умјетности, Сарајево, 2024.
- [2] Carmigniani J, Furht B, Anisetti M, Ceravolo P, Damiani E, Ivkovic M, Augmented reality technologies, systems and applications, *Multimedia Tools and Applications*, 51, pp. 341–377, Springer, doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6, 2011.
- [3] Lukić D, Milošević M, *Интегрисани САРР системи и PDM*, Едиција Техничке науке – уџбеници, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2022.
- [4] Fang W, Chen L, Zhang T, Chen C, Teng Z, Wang L, Head-mounted display augmented reality in manufacturing: A systematic review, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 83, doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102567, 2023.
- [5] Marino E, Barbieri L, Bruno F, Muzzupappa M, Assessing user performance in augmented reality assembly guidance for industry 4.0 operators, *Computers in Industry*, 157–158, 104085, doi.org/10.1016/j.compind.2024.104085, 2024.
- [6] Amouzgar K, Willebrand J, A novel XR-based real-time machine interaction system for Industry 4.0: Usability evaluation in a learning factory, *Journal of Manufacturing Systems*, 82, pp. 254–283, 2025, doi.org/10.1016/j.jmsy.2025.-05.019.
- [7] Treinen T, Keshav Kolla S. S. V, Augmented Reality for Quality Inspection, Assembly and Remote Assistance in Manufacturing, *Procedia Computer Science*, 232, pp. 533–543, 2024, doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.053.
- [8] unity.com/products/unity-engine – Приступ: Новембар, 2025.
- [9] www.ptc.com/en/products/vuforia – Приступ: Новембар, 2025.