

## Praćenje i kontrola produktivnosti građevinske mehanizacije integracijom bežičnih tehnologija

**Martina Šopić<sup>1</sup>**, izv.prof.dr.sc. **Mladen Vukomanović<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, [martina.sopic@uniri.hr](mailto:martina.sopic@uniri.hr)

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, [mvukoman@grad.hr](mailto:mvukoman@grad.hr)

### Sažetak

Procjena produktivnosti građevinske mehanizacije u kompleksnom i dinamičnom okruženju koje vlada na gradilištu težak je i zahtjevan zadatak. Točnom procjenom produktivnosti može se predvidjeti potrebno vrijeme i trošak građenja. Bežične tehnologije pružaju znatan potencijal za primjenu u mjerenju, planiranju, praćenju i kontroli produktivnosti građevinske mehanizacije. Posebno se ističe tehnologija RFID kao moguće rješenje problematike gradilišne produktivnosti. Poboljšanja u primjeni tehnologije RFID treba razmatrati integracijom s drugim bežičnim tehnologijama, posebice s GPS-om i GIS-om.

*Ključne riječi: produktivnost, građevinska mehanizacija, RFID, GPS, GIS*

## Tracking and control of the productivity of construction machinery by integrating wireless technologies

### Abstract

Construction machinery productivity assessment in a complex and dynamic construction-site environment is a difficult and demanding task. The necessary time and cost of construction can be predicted through accurate assessment of productivity. Wireless technologies offer considerable potential in the sphere of measuring, planning, monitoring, and productivity control of construction machinery. RFID technology stands out as a possible solution to the construction site productivity problems. Improvements in the use of RFID technology should be considered through integration with other wireless technologies, GPS and GIS technologies in particular.

*Key words: productivity, construction machinery, RFID, GPS, GIS*

## 1 Uvod

Gradilište predstavlja jedinstveno, dinamično i kompleksno okruženje s kontinuirano prisutnom neizvjesnošću od mogućih pojava nepredvidljivih okolnosti i opasnosti koje, ako se ostvare, mogu imati nepovoljan utjecaj na izvođenje radova, što se u konačnici nepovoljno odražava i na cjelokupni uspjeh građevinskoga projekta. U takvim uvjetima nemoguće je unaprijed točno predvidjeti produktivnost građevinske mehanizacije na gradilištu, što izravno vodi netočnim procjenama potrebnoga vremena i troška građenja. Tradicionalne metode, koje podrazumijevaju procjenu produktivnosti na temelju specifikacija strojeva, informacija iz završenih, sličnih projekata te osobnoga iskustva, prema provedenim studijama na različitim gradilištima netočne su [1]. Mjerenje stvarne produktivnosti na gradilištu pri neposrednom izvođenju radova pruža mogućí izlaz iz labirinta krivih, netočnih i subjektivnih procjena. Mjerenje stvarne produktivnosti potrebno je za donošenje ispravnih odluka i pravovremenih korektivnih mjera te omogućava točnije predviđanje trajanja aktivnosti, kao i potrebnih troškova i resursa.

Bežične tehnologije pružaju obećavajuću metodu za prikaz stvarnih uvjeta na gradilištu, točno praćenje kretanja i rada građevinske mehanizacije bez remećenja njihova normalnoga rada, veću produktivnost, brzu i točnu obradu velikih količina podataka s gradilišta, znatno umanjen utjecaj ljudskoga faktora i ljudske pogreške te, u konačnici, mogućnost za uspješno i kvalitetno izvršenje građevinskih projekata. Osnovne su karakteristike bežičnih tehnologija mobilnost, zatim povezivanje, prijenos i uporaba svih vrsta informacija bez uporabe fizičkih komunikacijskih kanala u obliku kabela te kontinuiran, brz razvoj s povećanjima mogućnosti u primjeni. Iako bežične tehnologije predstavljaju područje sa znatnim potencijalom u mjerenju, planiranju, praćenju i kontroli produktivnosti građevinske mehanizacije, njihova je primjena nedovoljno istražena. Također, dosadašnja istraživanja upućuju na nedostatke i ograničenja.

Pregledom literature u primjeni bežičnih tehnologija autori Kim i dr. [2] ističu visoku učinkovitost tehnologije *Radio Frequency Identification* (RFID) sa širokom primjenom u različitim područjima te navode da ona može znatno doprinijeti praćenju i kontroli izvedbe radova na gradilištu. Također, autori Lu i dr. [3] ističu veliki potencijal tehnologije RFID i njezinu premalu primjenu u građevinarstvu. Osim toga, autori Lu i dr. [3], zatim Teizer i dr. (2010) te Karthik i dr. (2014) skreću pozornost na mogućnost primjene tehnologije RFID za praćenje položaja građevinske mehanizacije radi postizanja dobrog radnog rasporeda, sprječavanja sudara između vozila te radi zaštite života ljudi na gradilištu. Autori Andoh i dr. [4] predlažu integraciju tehnologije RFID s tehnologijama *Global Positioning System* (GPS) i *Geographic Information System* (GIS) radi kontinuiranoga praćenja gradilišne dinamike.

Na temelju pregleda literature i naglašenih značajki te primjena na gradilištu, tehnologija RFID posebno se ističe kao moguće rješenje za razvoj odgovarajuće, pouzdane, vjerodostojne, brze i ekonomične metodologije koja će mjeriti stvarnu produktivnost

građevinske mehanizacije. Razvojem vrsne metodologije omogućilo bi se točno vremensko i novčano planiranje projekta, potom identifikacija slabe produktivnosti te brzo interveniranje i pravovremeno poduzimanje odgovarajućih korektivnih mjera, kao i prilagodba projektnoga plana, a osim toga, metodologija bi služila za povećanje produktivnosti te kao kvantitativan pokazatelj dobro poduzetih korektivnih mjera, napretka izvedbe i dinamike realizacije. Razvoj spomenute metodologije olakšao bi upravljanje građevinskim projektima, a investitori bi stalno bili upoznati s trenutačnim stanjem i planom projekta.

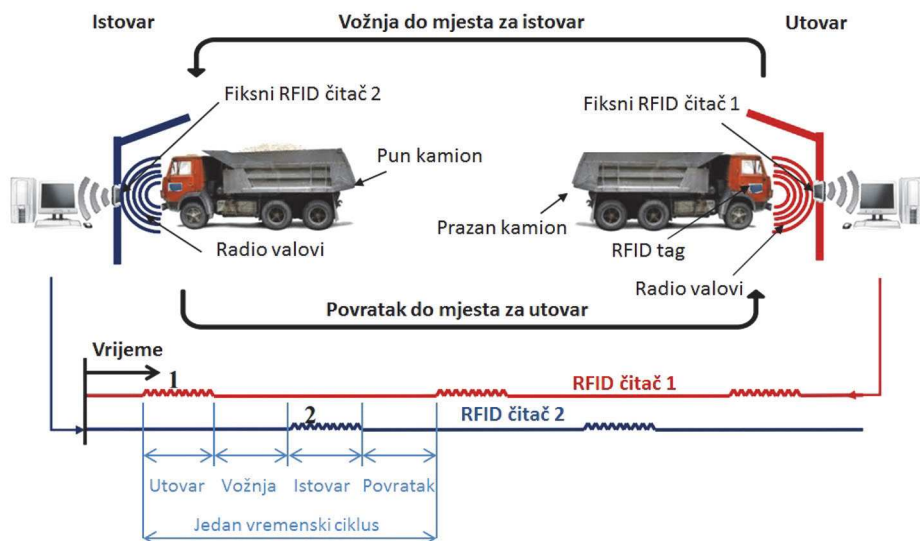
U radu su prikazani primjeri procjene stvarne produktivnosti primjenom tehnologije RFID navedeni u literaturi, koji bi mogli poslužiti kao temelj za razvoj željene metodologije. Također, u radu je naveden primjer procjene stvarne produktivnosti primjenom GPS-a i GIS-a, koji bi mogao poslužiti kao prijedlog za integraciju s tehnologijom RFID. Zbog nedostataka i ograničenja svake pojedine bežične tehnologije, integracija bežičnih tehnologija omogućila bi da se nemogućnost rješavanja određenoga problema primjenom jedne bežične tehnologije uspješno izvrši primjenom drugih bežičnih tehnologija.

## 2 Bežične tehnologije

### 2.1 *Radio Frequency Identification (RFID) technology*

*Radio Frequency Identification (RFID) technology* primjer je bežične tehnologije koja putem radio valova ostvaruje komunikaciju između uređaja. Osnovni sastavni dijelovi tehnologije RFID su RFID tag, RFID čitač i računalo. RFID tag se sastoji od silikonskoga mikročipa i antene. Osim u obliku predmeta, najmanjih dimenzija veličine zrna riže, RFID tag može biti i u obliku naljepnice. RFID tagovi prema izvoru napajanja, ugrubo, mogu biti pasivni ili aktivni. Pasivni RFID tag nema svoje vlastito napajanje, nego energiju za rad prima podražajem RFID čitača. Komunikacija pasivnog RFID taga s RFID čitačem može se odvijati unutar nekoliko metara. Ako se pasivni RFID tag nalazi izvan svog mogućeg dosega za povezivanje s RFID čitačem, nema napajanje te nije u mogućnosti odašiljati i primati radio valove. Aktivni RFID tag ima svoje vlastito napajanje, najčešće baterijom, a komunikacija s RFID čitačem može se odvijati unutar udaljenosti od nekoliko stotina metara. Aktivni RFID tag, u odnosu na pasivni RFID tag, ima i višestruko veći kapacitet memorije, bolju iskoristivost u okruženju ometajućih faktora poput elektromagnetske buke, metala, vlažnosti, no zbog boljih radnih karakteristika ima veću cijenu koštanja. Pasivni RFID tagovi laganiji su i manjih dimenzija od aktivnih RFID tagova, a budući da nemaju bateriju, vijek trajanja im je dulji. RFID čitači predstavljaju vezu između RFID tagova i računala. Osim za napajanje pasivnih RFID tagova, služe za primanje, čitanje i obradu podataka s RFID tagova te prijenos tih podataka na računalo. Također, mogu služiti za zapis podataka na RFID tag. Računalo umrežuje RFID čitače sustava te prikuplja, skladišti i obrađuje podatke.

Pregledom literature u primjeni tehnologije RFID u mjerenju, planiranju, praćenju i kontroli produktivnosti građevinske mehanizacije, posebno se ističu autori Montser i Moselhi [7, 8] koji su predložili metodologije za mjerenje stvarne produktivnosti iprilikom izvođenja radova na gradilištu. Svoja istraživanja su proveli mjereći duljinu trajanja vremenskog ciklusa kamiona kiper a i skrejpera. Izračunom duljine trajanja vremenskoga ciklusa može se deterministički ili provođenjem simulacija u računalnim programima dobiti procjena stvarne produktivnosti praćene građevinske mehanizacije [7]. Svrha je metodologija koje su predložili rano otkrivanje odstupanja između planiranog i stvarnog izvođenja radova, kako bi se na vrijeme mogle poduzeti odgovarajuće korektivne mjere [7, 8].

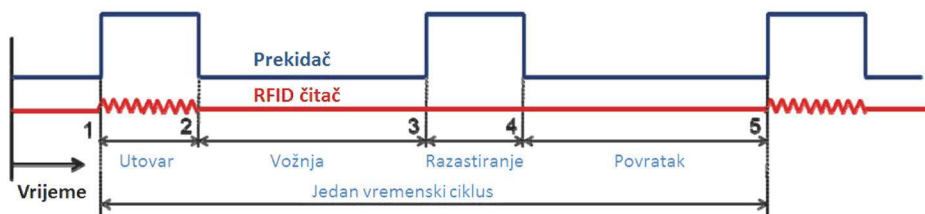


Slika 1. Pregled primijenjene tehnologije RFID (preuzeto, uređeno i prevedeno: Montaser i Moselhi, 2012)

Kamion kiper je transportno sredstvo s ojačanim kamionskim podvozjem na kojem se nalazi specijalno dizajniran sanduk s karakterističnom sposobnošću samoistovara. Kamioni kiperi su takvih konstrukcija i mjera da se, osim na gradilištu, mogu rabiti i u javnom cestovnom prometu. Vremenski ciklus kamiona kiper a sastoji se od vremena potrebnoga za punjenje praznog sanduka kamiona kiper a, zatim vremena vožnje punog kamiona kiper a do mjesta za istovar, vremena pražnjenja punoga sanduka kamiona kiper a te vremena potrebnoga za povratak praznog kamiona kiper a na mjesto za utovar. Prema metodologiji autora Montasera i Moselhija [7] trajanje vremenskoga ciklusa kamiona kiper a mjerilo se tako da je jedan RFID čitač bio postavljen na mjestu za utovar, dok je drugi RFID čitač bio postavljen na mjestu za istovar. RFID čitači su komunicirali s pasivnim RFID tagom, postavljenim na kamion kiper a. Maksimalan domet primanja i odašiljanja radio

valova pasivnoga RFID taga upotrijebljenog u istraživanju, unutar kojega je mogao komunicirati s RFID čitačem, bio je radijus od tri metra. U vremenu vožnje punog kamiona kiperu do mjesta istovara te u vremenu povratka praznog kamiona kiperu do mjesta za utovar, pasivni RFID tagovi nisu bili u mogućnosti komunicirati s RFID čitačima. Vremenskom zabilježbom aktivnosti kamiona kiperu, tehnologijom RFID, dobio se njegov vremenski ciklus.

Skrejper je standardni građevinski stroj za masovni iskop pretežno zemljanih materijala, prijevoz iskopanoga materijala te njegovu ugradnju razastiranjem. Vremenski ciklus skrejpera sastoji se od vremena iskopa i istovremenoga prihvaćanja iskopanog materijala u sanduk skrejpera, zatim vremena vožnje punog sanduka skrejpera, vremena potrebnoga za razastiranje iskopanog materijala te vremena povratka skrejpera na mjesto iskopa. Pri iskopu i istovremenom prihvaćanju iskopanoga materijala u sanduk skrejpera potrebna je najveća snaga za pogon. Pušdozer je građevinski stroj za guranje drugih strojeva, te se može upotrijebiti kao potpora skrejperu pri iskopu. Kombinacijom skrejper-pušdozer pri iskopu smanjuje se opterećenje na gume skrejpera, ubrzava se vrijeme iskopa te se, samim time, povećava produktivnost pri izvođenju radova. Prema metodologiji autora Montsera i Moselhija [8], trajanje vremenskoga ciklusa skrejpera, kojega je prilikom iskopa gurao pušdozer, mjerio se tako da je pasivni RFID tag bio postavljen na stražnjoj strani skrejpera, dok je na prednjoj strani pušdozera bio postavljen RFID čitač. Domet prijenosa radio valova pasivnoga RFID taga bio je par centimetara i mogao je komunicirati s RFID čitačem samo pri iskopu, kada je pušdozer gurao skrejper. Nadalje, na sanduk skrejpera postavio se prekidač, spojen kabelom za mikrokontroler. Prekidač je tip senzora koji se mehanički aktivira, a njegova uloga bila je zabilježba vremena kada je sanduk skrejpera otvoren, odnosno zatvoren. Prekidač podatke o stanju sanduka skrejpera, kabelom šalje mikrokontroleru, koji bežično komunicira s RFID čitačem. Vremenskom zabilježbom aktivnosti pušdozera i stanja sanduka skrejpera, tehnologijom RFID, dobio se vremenski ciklus skrejpera.



Slika 2. Skica interakcije podataka RFID čitača i prekidača (preuzeto, uređeno i prevedeno: Montaser i Moselhi, 2013)

Autori Montaser i Moselhi [7, 8] posebno su naglasili praktičnost i jednostavnost svojih predloženih metodologija za procjenu stvarne produktivnosti pri izvođenju

radova, upotrebom tehnologije RFID. Poboljšanje svoje metodologije vide u senzor težine za potvrdu je li sanduk dovoljno ili previše napunjen [8]. Sanduk treba biti napunjen do svog kapaciteta. Preopterećeni sanduk uzrokuje veću potrošnju goriva, preopterećenje guma i povećava mogućnost mehaničkoga kvara, dok nedovoljno napunjen sanduk rezultira niskom produktivnošću. Nadalje, poboljšanje metodologije vide i u digitalnoj kameri koja bi snimala otvaranje i zatvaranje sanduka skrejpera [8]. Svrha je digitalne kamere sprječavanje krivoga tumačenja podataka u slučaju da se sanduk skrejpera otvori, a da nije vrijeme iskopa ili razastiranja materijala. Također, predlažu i integriranje tehnologije RFIDs GPS-om i GIS-om [8]. Integracijom tehnologije RFIDs GPS-om i GIS-om dobila bi se mogućnost za prikaz i praćenje vožnji strojeva u stvarnom prostoru i vremenu.

Autor Ibrahim i Moselhi [9] zamjerku metodologije Montasera i Moselhi [7] pronalaze u tome da se tehnologijom RFID ne može dobiti informacija je li sanduk kamiona kiperu dovoljno napunjen. Također, ističu da je njezina primjena nepraktična za izvedbu dugačkih linijskih građevina i prometnica. Nadalje, autori Alshibani i Moselhi [10] istaknuli su da, iako je RFID tehnologija uz upotrebu pasivnih RFID tagova niske cijene koštanja, njezin je najveći nedostatak nemogućnost dobivanja informacija o radu kamiona kiperu u vremenu vožnje punoga kamiona kiperu do mjesta za istovar te u vremenu povratka praznog kamiona kiperu do mjesta za utovar.

## **2.2 *Global Positioning System (GPS) i Geographic Information System (GIS)***

*Global Positioning System (GPS)* moćan je satelitski radionavigacijski sustav za određivanje trenutnoga položaja objekata te pojedinaca. GPS se sastoji od skupine umjetnih satelita (satelitski segment GPS-a), zemaljskih kontrolnih postaja (kontrolni segment GPS-a) te GPS prijamnika (korisnički segment GPS-a). Zemaljske kontrolne postaje neprekidno prate gibanje i rad satelita. Umjetni sateliti kontinuirano odašilju radiosignale o svom trenutnom položaju i vremenu odašiljanja radiosignala. GPS prijamnik, analizirajući radiosignale koje je primio sa satelita, proračunava svoj trenutni položaj. Na putu radiosignala do GPS prijamnika ne smiju biti fizičke prepreke. Točnost mjerenja položaja GPS tehnologijom uglavnom je unutar pet metara, ali uvelike ovisi o okruženju unutar kojeg se nalazi GPS prijamnik te o specifikacijama i mogućnostima samog GPS prijamnika. Visoke građevine, konfiguracija terena te stabala mogu ometati primanje satelitskih radiosignala, zatim vremenske neprilike, satelitska održavanja, kao i mape koje mogu imati nedostajući ili zabranjen ili netočno procijenjen sadržaj te tako dodatno smanjiti točnost pozicioniranja GPS tehnologijom. Minijaturizacijom GPS prijamnika, zatim povezivanjem GPS-a s telekomunikacijskim sustavima tehnologije *Global System for Mobile communications (GSM)* te *sGeographic Information System (GIS-om)*, dobio je široku i nezaobilaznu primjenu.

*Geographic Information System* (GIS) je informacijsko računalni sustav za prikupljanje, pohranu, obradu i analizu prostornih podataka stvarnoga svijeta. Prostorni podaci, najčešće u pojedinim tematskim slojevima, prikazuju prirodne ili društvene sadržaje Zemljine površine u dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom obliku. GIS omogućuje složene prostorne analize te prikaz prostornih podataka izraženih kroz promjene u vremenu i prostoru.

Autori Alshibani i Moselhi [10] predstavili su metodologiju za praćenje i procjenu stvarne produktivnosti transportnih sredstava upotrebom GPS-a i GIS-a. Svrha metodologije, koju su predložili autori Alshibani i Moselhi [10], jednostavna je i praktična procjena stvarne produktivnosti na gradilištu te predviđanje potrebnoga vremena i troška izvođenja radova, koji su pod utjecajem transportnih sredstava. Prema njihovoj metodologiji, GPS prijamnik se postavlja na transportno sredstvo te se prati njegov radna GIS mapi. Dovoljno je postaviti jedan GPS prijamnik na jedno transportno sredstvo, koji radi i vozi istom rutom kao i ostatak transportnih sredstava koji sudjeluju u izvršavanju promatranih aktivnosti. U GIS mapi se, na temelju prikupljenih podataka s gradilišta i grafičke prezentacije ruta transportnih sredstava, definira područje utovara i istovara. Analizom prikupljenih GPS podataka, te dobivenim vremenima trajanja utovara, vožnje do mjesta za istovar, istovara i povratka do mjesta za utovar definira se trajanje vremenskoga ciklusa transportnog sredstva. Ovisno o odabranom broju praćenih ruta transportnih sredstava, dobiveni podaci se ubacuju u računalni softver Cristal Ball. Provođenjem simulacija u računalnom softveru Cristall Ball dobiva se stohastička procjena stvarne produktivnosti te procjena potrebnoga vremena i troška izvođenja radova, koji su pod utjecajem transportnih sredstava. Analizom dobivenih procjena provode se potrebne korektivne mjere. Procijenjena stvarna produktivnost praćenoga transportnog sredstva predstavlja i produktivnost ostalih transportnih sredstava uz pretpostavku da su svi strojevi u dobrom radnom stanju te da se nijednom od uključenih transportnih sredstava neće dogoditi kvar prilikom rada.

Autori Alshibani i Moselhi [10] istaknuli su da je metodologija primjenom tehnologija GPS i GIS trenutačno istražena i ograničena na radove koji uključuju upotrebu transportnih sredstava. Također, naveli su da je metodologija primjenjiva samo za otvoreno područje rada kako ne bi došlo do ometanja u primanju satelitskih radiosignala. Istraživanje autora Alshibanija i Moselhija [10] nedavno je objavljeno te trenutačno nema osvrta na njihov rad.

Tablica 1. Usporedni prikaz značajki tehnologija RFID i GPS

| RFID                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                | GPS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KARAKTERISTIKE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Aktivni RFID tag                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Pasivni RFID tag                                                                                                                                               | GPS prijamnik                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Vlastito napajanje (najčešće baterijom).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Nemaju svoje vlastito napajanje, nego energiju za rad primaju podražajem RFID čitača.                                                                          | Punjiva baterija.<br>Točnost mjerenja položaja GPS tehnologijom uglavnom je unutar pet metara, ali uvelike ovisi o okruženju unutar kojega se nalazi GPS prijamnik te o specifikacijama i mogućnostima samog GPS prijamnika.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Komunikacija s RFID čitačem unutar udaljenosti od nekoliko stotina metara.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Komunikacija s RFID čitačem unutar udaljenosti od nekoliko metara.                                                                                             | Visoke građevine, konfiguracija terena te stabala mogu ometati primanje satelitskih radiosignala, zatim vremenske neprilike, satelitska održavanja, kao i mape koje mogu imati nedostajući ili zabranjen ili netočno procijenjen sadržaj te tako dodatno smanjiti točnost pozicioniranja GPS tehnologijom.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| U odnosu na pasivne RFID tagove, imaju višestruko veći kapacitet memorije, bolju iskoristivost u okruženju ometajućih faktora (elektromagnetska buka, metal, vlažnost), no zbog boljih radnih karakteristika imaju veću cijenu koštanja.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | U odnosu na aktivne RFID tagove, laganiji su i manjih dimenzija, a budući da nemaju bateriju za rad, vijek trajanja im je dulji te imaju nižu cijenu koštanja. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| PRIMJERI MOGUĆNOSTI ZA PRAĆENJE I KONTROLU PRODUKTIVNOSTI GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sprječavanje sudara između vozila, postizanje dobrog radnog rasporeda strojeva na gradilištu. Istraženo mjerenje stvarne produktivnosti kamiona kiperi i skrejpera prilikom izvođenja radova na gradilištu. Znatno potencijal za prikaz stvarnih uvjeta na gradilištu.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                | Prikaz i praćenje vožnji strojeva u stvarnom prostoru i vremenu. Istraženo mjerenje stvarne produktivnosti transportnih sredstava pri izvođenju radova na gradilištu povezivanjem s GIS-om. Znatno potencijal za prikaz stvarnih uvjeta na gradilištu.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| EFIKASNOST PRIMJENE NA GRADILIŠTU OVISNO O VRSTI GRAĐEVINSKIH OBJEKATA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Zgrade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                | Prometnice                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| NEDOSTACI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Nedovoljno istražena.<br>Nemogućnost dobivanja informacija o radu strojeva izvan dosega moguće komunikacije s RFID čitačem. Nepraktična primjena za izvedbu dugačkih linijskih građevina i prometnica.<br>Nedostajući podaci mehaničkog stanja stroja poput napunjenosti sanduka, izmjera temperature, tlaka, nadgledanje pneumatika ciljem osiguranja niske potrošnje goriva i dr. (razni senzori ili senzori u sklopu mjernih sustava za praćenje i nadzor strojeva tvrtki <i>Caterpillar, Trimble, Leica, Bomag</i> i dr.).<br>Nepostojanje automatskoga i daljinskog navođenja strojeva (poput mjernih sustava za praćenje i nadzor strojeva tvrtki <i>Caterpillar, Trimble, Leica, Bomag</i> i dr.). |                                                                                                                                                                | Nedovoljno istražena.<br>Primjenjiva samo za otvoreno područje rada kako ne bi došlo do ometanja u primanju satelitskih radiosignala.<br>Nedostajući podaci mehaničkog stanja stroja poput napunjenosti sanduka, izmjera temperature, tlaka, nadgledanje pneumatika s ciljem osiguranja niske potrošnje goriva i dr. (razni senzori ili senzori u sklopu mjernih sustava za praćenje i nadzor strojeva tvrtki <i>Caterpillar, Trimble, Leica, Bomag</i> i dr.).<br>Nepostojanje automatskoga i daljinskog navođenja strojeva (poput mjernih sustava za praćenje i nadzor strojeva tvrtki <i>Caterpillar, Trimble, Leica, Bomag</i> i dr.). |



### 3 Zaključak

Procjena produktivnosti građevinske mehanizacije u kompleksnom i dinamičnom okruženju koje vlada na gradilištu težak je i zahtjevan zadatak. Točnom procjenom produktivnosti može se predvidjeti potrebno vrijeme i trošak građenja. Trenutačne procjene produktivnosti nemaju odgovarajuću, pouzdanu, vjerodostojnu, brzu i ekonomičnu metodologiju. Bežične tehnologije pružaju znatan potencijal za primjenu u mjerenju, planiranju, praćenju i kontroli produktivnosti građevinske mehanizacije. Njihova je primjena nedovoljno istraжена. Također, do sada provedena istraživanja upućuju na nedostatke i ograničenja. Unatoč tome, posebno se ističe tehnologija RFID kao moguće rješenje problematike gradilišne produktivnosti. Poboljšanja u primjeni tehnologije RFID treba razmatrati integracijom s drugim bežičnim tehnologijama, posebno s GPS-om i GIS-om. U tablici 1. usporedno su prikazane značajke tehnologija RFID i GPS, spomenute u ovom radu.

Prijedlog istraživanja je definiranjem ključnih spoznaja u tehnologiji RFID i mogućnostima u primjeni i procjeni stvarne produktivnosti, prilikom neposrednog izvođenja radova, razvoj osnovnog modela. Radi poboljšanja osnovnoga modela treba istražiti integraciju tehnologije RFID s drugim bežičnim tehnologijama, posebno s GPS-om i GIS-om, a bilo bi vrlo značajno uklopiti i brzorastuću tehnologiju GSM. Osim toga, bilo bi neophodno analizirati već postojeća rješenja automatskoga i daljinskog navođenja strojeva, mjernih sustava tvrtki *Caterpillar*, *Trimble*, *Leica*, *Bomag* i dr. Tako razvijenim modelom pratila bi se standardna građevinska mehanizacija s cikličnim načinom rada te bi se mjerio njihov vremenski ciklus. Računalnom obradom dobivenih podataka dobila bi se procjena stvarne produktivnosti. Nadalje, treba istražiti i mogućnosti prilagodbe razvijenoga modela za mjerenje stvarne produktivnosti posebne građevinske mehanizacije. Istraživanjem razvijenoga modela na primjerima različitih projekata stvorila bi se mogućnost za razvoj odgovarajuće, pouzdane, vjerodostojne, brze i ekonomične metodologije za podršku pri mjerenju, planiranju, praćenju i kontrole produktivnosti građevinske mehanizacije. Sljedeći bi korak bio, ovisno o dobivenim rezultatima gradilišne produktivnosti, usmjeren prema identifikaciji slabe produktivnosti, kao i mogućnostima za poboljšanje produktivnosti građevinske mehanizacije. Razvoj vrsne metodologije uvelike bi doprinio donošenju ispravnih odluka za rješavanje građevinske problematike i omogućio siguran put za uspješnu realizaciju građevinskih projekata.

### Literatura

- [1] Rashidi, A., Rashidi Nejad, H., Maghiar, M.: Productivity Estimation of Bulldozers using Generalized Linear Mixed Models, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (2014) 6, pp. 1580-1589.

- [2] Kim, S., Kim, S., Tang, L.C.M., Kim, G. H.: Efficient Management of Construction Process Using RFID+PMIS System: A Case Study, *Applied Mathematics & Information Sciences*, 7 (2013) 1, pp. 19-26.
- [3] Lu, W., Huang, G. Q., Li, H.: Scenarios for applying RFID technology in construction project management, *Automation in Construction*, 20 (2011) 2, pp. 101-106.
- [4] Teizer, J., Allread, B.S., Fullerton, C.E., Hinze, J.: Autonomous pro-active real-time construction worker and equipment operator proximity safety alert system, *Automation in Construction*, 19 (2010) 5, pp. 630-640.
- [5] Karthik, G., Jayanthu, S., Rammohan, P., Rahman, A.: Utilisation of mobile communication in opencast mines, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3 (2014) 7, pp. 373-378.
- [6] Andoh, A.R., Su, X., Cai, H.: A Framework of RFID and GPS for Tracking Construction Site Dynamics, *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, West Lafayette, Indiana, pp. 818-827, 2012.
- [7] Montaser, A., Moselhi, O.: RFID+ for Tracking Earthmoving Operations, *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, West Lafayette, Indiana, pp. 1011-1020, 2012.
- [8] Montaser, A., Moselhi, O.: Tracking Scraper-Pusher Fleet Operations Using Wireless Technologies, *4th Construction Specialty Conference*, Montreal, Quebec, 2013.
- [9] Ibrahim, M., Moselhi, O.: Automated productivity assessment of earthmoving operations, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 19 (2014) 9, pp. 169-184.
- [10] Alshibani, A., Moselhi, O.: Productivity based method for forecasting cost & time of earthmoving operations using sampling GPS data, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21 (2016) 3, pp. 39-56.