

Primljen / Received: 11.6.2019.

Ispravljen / Corrected: 24.7.2019.

Prihvaćen / Accepted: 10.8.2019.

Dostupno online / Available online: 10.10.2019.

Implementacija BIM-a u održavanju građevina

Autori:



¹Prof.dr.sc. **Anita Cerić**
anita@grad.hr



¹Prof.dr.sc. **Ivica Završki**
zavrski@grad.hr



¹Izv.prof.dr.sc. **Mladen Vukomanović**
mvukoman@grad.hr



¹**Ivona Ivić**, mag. ing. aedif.
iivic@grad.hr



²Doc.dr.sc. **Maja-Marija Nahod**
majan@grad.hr

¹Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za organizaciju i ekonomiku građenja

²Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja

Pregledni rad

Anita Cerić, Ivica Završki, Mladen Vukomanović, Ivona Ivić, Maja-Marija Nahod

Implementacija BIM-a u održavanju građevina

Building Information Modelling (BIM) podrazumijeva izradu višedimenzionalnog informacijskog modela građevine, koji se temelji na osnovnom 3D modelu i omogućava dijeljenje informacija među sudionicima u projektu tijekom cijelog životnog vijeka građevine. Za učinkovitije upravljanje održavanjem građevina predlaže se integracija održavanja građevina i BIM-a. U radu se analiziraju prednosti i ograničenja implementacije BIM-a u održavanju građevina te se daje prijedlog integracije BIM-a i automatizacije za unaprjeđenje dosadašnjih tradicionalnih metoda. Na kraju je definirana sveobuhvatna strategija implementacije BIM-a u fazi održavanja građevina.

Ključne riječi:

BIM, održavanje građevina, strategija implementacije, građevinska industrija

Subject review

Anita Cerić, Ivica Završki, Mladen Vukomanović, Ivona Ivić, Maja-Marija Nahod

BIM implementation in building maintenance management

Building Information Modelling (BIM) implies a multi dimensional information model of building, based on fundamental 3D model, which enables information sharing among project participants during the whole life cycle of a building. Integration of building maintenance and BIM is proposed for the purpose of a more efficient management of building maintenance activities. This paper analyses the benefits of BIM implementation in building maintenance, as well as its limitations. The integration of BIM and automation is proposed to enhance traditional building maintenance methods. Finally, a comprehensive BIM implementation strategy for the building maintenance phase is defined.

Key words:

BIM, building maintenance, implementation strategy, construction industry

Übersichtsarbeit

Anita Cerić, Ivica Završki, Mladen Vukomanović, Ivona Ivić, Maja-Marija Nahod

Implementierung von BIM in der Gebäudeinstandhaltung

Das Building Information Modeling (BIM) umfasst die Erstellung eines mehrdimensionalen Gebäudeinformationsmodells, das auf einem grundlegenden 3D-Modell basiert und den Austausch von Informationen zwischen den Projektteilnehmern über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes hinweg ermöglicht. Für ein effizienteres Management der Gebäudeinstandhaltung wird die Integration von Gebäudeinstandhaltung und BIM vorgeschlagen. In dieser Arbeit werden die Vorteile und Einschränkungen der Implementierung von BIM bei der Instandhaltung von Gebäuden analysiert und die Integration von BIM und der Automatisierung vorgeschlagen, um die bisherigen traditionellen Methoden zu verbessern. Schließlich wird eine umfassende BIM-Implementierungsstrategie für die Gebäudeinstandhaltungsphase definiert.

Schlüsselwörter:

BIM, Gebäudeinstandhaltung, Implementierungsstrategie, Bauindustrie

1. Uvod

Građevinski sektor jedan je od najvećih u svjetskoj ekonomiji, s oko 10 bilijuna USD utrošenih na građevinske usluge i proizvode [1]. Međutim, tijekom zadnja dva desetljeća industrijskog razvoja, građevinski sektor porastao je za 1 %, što je znatno niže u usporedbi s 2,8 % rasta čitave globalne ekonomije ili 3,6 % rasta u proizvodnoj industriji [1]. Tako trenutno postoji razlika od 1,6 bilijuna USD, kojom građevinska industrija zaostaje za globalnom ekonomijom. Kao neke od preporuka za zatvaranje spomenutog jaza spominju se strategije digitalizacije, automatizacije, primjene modularne proizvodnje i uvođenje robotizacije tijekom projektiranja, gradnje i održavanja građevina [1, 2]. Navedeni trendovi dobivaju punu afirmaciju u okviru razvoja industrije 4.0 koja podrazumijeva korištenje kibernetičko-fizikalnih sustava, interneta stvari, kompjuterskih oblaka, umjetne inteligencije i sličnih povezanih tehnologija [3, 4], što se odražava na svako područje građevinskih tehnoloških i poslovnih procesa pa tako i na fazu korištenja i održavanja građevina.

Troškovi održavanja građevine najčešće su veći od troškova njezinih ostalih životnih faza, a ovisno o vrsti građevine prosječno iznose 60 % cjelokupnih troškova njezina trajanja [5-7]. Također, jedna od posljedica razvoja suvremenih tehnologija je integracija različitih faza procesa gradnje te traženje optimalnih rješenja u ukupnom trajanju građevine [8].

Za uspješno upravljanje održavanjem građevina nužna je suradnja svih sudionika projekta, od stručnjaka za održavanje građevine do onih koji su uključeni u projektiranje, a potom i izvedbu samog objekta. Lakšu interoperabilnost i suradnju svih sudionika omogućava novi trend u građevinskoj industriji – BIM (eng. *Building Information Modeling*). BIM podrazumijeva izradu višedimenzionalnog informacijskog modela građevine koji uz 3D geometriju sadrži i bitne informacije o elementima građevine, te obuhvaća sve sudionike u procesu građenja. Spajanje 3D modela građevina s pripadajućim relevantnim informacijama potrebnim za kvalitetno održavanje građevina omogućava smanjenje troškova i vremena utrošenog na održavanje, te njihove administracije i iznalaženja optimalnih rješenja u održavanju [9]. BIM i automatizaciju također je moguće zajednički koristiti za unaprjeđenje tradicionalnih metoda u građevinarstvu [10], pa tako i u korištenju i održavanju građevina.

U ovom se radu pregledom literature istražuje mogućnost implementacije BIM-a u održavanju građevina te njegove prednosti i ograničenja na ovom polju. Zbog svojih specifičnosti, primjenu BIM tehnologije u održavanju građevina (koje je dio gospodarenja građevinama - eng. *Facility Management*) potrebno je istražiti i za postojeće građevine (izgrađene uglavnom bez uporabe BIM rješenja) i za one koje će tek biti izgrađene. Uz to, u održavanju postojećih građevina ističu se povijesni objekti i kulturno nasljeđe, sa svojim posebnostima te zakonskom regulativom koja predviđa njihovu zaštitu i očuvanje.

Opisano je i eksplorativno istraživanje praktične uporabe BIM-a u kojem je sudjelovalo 18 odabranih predstavnika poduzeća za koje se smatralo da bi mogli imati iskustva u korištenju

BIM-a. Istraživanje je otkrilo stupanj korištenja BIM-a u promatranim poduzećima te stajalište ispitanika o korištenju BIM-a u održavanju građevina. Na temelju pregleda literature i eksplorativnog istraživanja, na kraju je predložena strategija implementacije BIM-a u sve faze trajanja građevine, pa tako i fazu korištenja i održavanja, kroz tri faze implementacije. I na kraju, prikazano je trenutno stanje u Republici Hrvatskoj o implementaciji BIM-a u održavanju te su doneseni zaključci o budućim koracima.

2. Pregled literature

Azhar i sur. [11] navode dvije glavne koristi od uporabe BIM-a u održavanju građevina:

- sve bitne informacije prikazane su u samo jednoj elektroničkoj datoteci
- osobe zadužene za održavanje više ne moraju pregledavati velike količine dokumentacije da bi došle do potrebnih podataka.

Međutim, iako upotreba BIM-a u održavanju djeluje vrlo korisno, implementacija zaostaje za korištenjem BIM-a u fazama projektiranja i izgradnje [7]. Jedan od otežavajućih faktora je neizbježno potreban velik stupanj razvijenosti BIM modela koji zahtijeva održavanje građevina [12, 13], a detaljnije je objašnjen u nastavku.

2.1. Razine razvijenosti BIM modela

The American Institute of Architects (AIA) razvio je 2008. godine [14] okvir za razine razvijenosti (eng. *Level of Development - LOD*). LOD se sastoji od razine detaljnosti (eng. *Level of Detail*), to jest razine koja se primjenjuje da se osigura zajedničko razumijevanje informacijskih zahtjeva u različitim fazama projekta, i razine informacija (eng. *Level of Information*), to jest zahtijevanih negrafičkih informacija kroz projekt. Važno je reći da nova norma objavljena krajem 2018., ISO 19650 dio 1 [15] i dio 2 [16], donosi novu nomenklaturu za BIM, pa umjesto razine informacija i razine detaljnosti postoji razina potrebnih informacija (eng. *Level of Information Need*). Međutim, ISO 19650 dio 3 [17], koji će definirati implementaciju BIM-a kod korištenja i održavanja građevina, očekuje se tek tijekom 2020. godine.

Postoji ukupno pet glavnih razina, to jest faza LOD-a: 100, 200, 300, 400, 500, s velikim opsegom definicija (slika 1.). Nadalje, LOD Specifications [18] pokriva cjelokupni opseg građevinskih sklopova, sustava i komponenti i postao je preporuka koja omogućava pojedinim strukama u građevinskoj industriji specificirati i jasno izraziti sadržaj i pouzdanost korištenja BIM-a u raznim fazama trajanja neke građevine.

Koncept LOD-a polazi od činjenice da se elementi u građevinskim modelima razvijaju postupno od manjih detaljnosti informacija u počecima definiranja projekta do većih detaljnosti u podmaklim fazama trajanja građevina [13]. Natspec [13] u svom dokumentu o BIM-u definira aspekte klasifikacije BIM elemenata za pojedini

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400	LOD 500
Nema informacija (nije uopće poznato je li greda potrebna).	Postoji greda, vjerojatno će biti armirano-betonska, procijenjenih dimenzija.	Armirano-betonska greda, točno određenih svojstava betona i armature definiranog presjeka, predgotovljena, sve su dimenzije precizno određene.	Kompromis: koristi se LOD međukorak, plan oplate i armature te PKOK grede u tvornici.	Izvedbeni projekt, uz plan oplate i armature te PKOK, razrađeni su svi detalji građenja, oprema za podizanje, mjesta prihvata i drugo.	Snimak izvedenog stanja.

Slika 1. Temeljne razine razvijenosti BIM modela [19]

LOD. Prema tome, kao LOD 100 (tzv. konceptualni) klasificiraju se elementi u BIM modelu koji su samo konceptualno naznačeni na svojoj lokaciji (kao simbol ili druga generička reprezentacija). Nadalje, element koji je prikazan kao generički sustav ili objekt s pridruženim približnim informacijama o količini, veličini, obliku, lokaciji i orijentaciji te nekim negrafičkim informacijama, klasificira se kao LOD 200 (tzv. približna geometrija). Ako je element specificiran kao točan generički sustav ili objekt s točnim informacijama o količini, veličini, obliku, lokaciji i orijentaciji, on je klasificiran kao LOD 300 (tzv. precizna geometrija). Kad se elementu opisanom kao LOD 300 dodaju informacije o njegovim detaljima, proizvodnji, sastavljanju i ugradnji, on se klasificira kao LOD 400 (tzv. proizvodni). Najveća razina razvoja modela, LOD 500, pak predstavlja stvarno izvedeno stanje elementa sa svim informacijama koje su o njemu dostupne. Uz dostizanje LOD 500, sljedeća poteškoća u implementaciji BIM-a u održavanje jest nepoznavanje informacija koje treba sadržavati BIM model da bi učinkovito održavanje građevine bilo

moguće. U nacionalnom BIM izvještaju iz 2015. [20] prikazan je primjer tipičnog građevinskog zidanog zida, s navedenim nekim od potrebnih informacija (tablica 1.). Zasad je za fazu održavanja još na snazi norma PAS 1192-3:2014 [21], kao specifikacija za upravljanje informacijama u operativnoj fazi građevina korištenjem BIM-a. Prema toj normi, potrebno je osigurati da LOD 500 sadrži sve informacije iz proteklih faza koje će biti predane naručitelju nakon faze isporuke projekta. Preporučeni format za razmjenu informacija je COBie (eng. *Construction Operations Building Information Exchange*) [22]. COBie predstavlja standardizirani format u obliku proračunskih tablica (.xls) u kojima su sadržane sve informacije o objektu. One su kroz informacijski model

predane naručitelju na upravljanje, kao i sam fizički objekt [23]. Način dolaska do bitnih informacija kod integracije BIM-a i održavanja razlikuje se ovisno o tome radi li se o projektima gradnje koji su tek u začetku ili već postojećim građevinama [9]. Međutim, prednosti korištenja BIM-a neupitne su u oba slučaja. U nastavku slijedi opis integracije BIM-a i održavanja u početnim fazama projekta, te zatim primjena BIM-a na postojećim objektima.

2.2. Integracija BIM-a i održavanja građevina u početnim fazama projekta

Glavna karakteristika uvođenja BIM-a u projektima gradnje koji su tek u začetku jest integracija održavanja i početnih investicijskih faza projekta, tj. suradnja stručnjaka za upravljanje održavanjem i projektanata koji bi trebali zajedno raditi u fazi projektiranja građevine. Naime, stručnjaci za održavanje se tijekom svog rada susreću s velikom količinom informacija

Tablica 1. Tipični zidarski građevinski detalj - neke od grafičkih i negrafičkih informacija, prilagođeno od [20]

Grafičke informacije	Negrafičke informacije	
	<p><i>Svojstva:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dopuštene tolerancije • Zahtjevi projektanta (gdje postoje) • Radni vijek • Vatrootpornost • Svojstva konstrukcije • Gubitak topline 	<p><i>Izvršenje:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Izrada u vrijeme vremenskih neprilika • Čistoća • Reference i uzorci zahtjeva za panel (nadzor zidara, kvalitete materijala) • Specifikacija zahtjeva za ugradbu proizvoda (instalacije, nadvoji, povezivanje postojećih zidova s novima, polaganje cigle u mort...)
	<p><i>Svojstva proizvoda:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Toplinska provodljivost • Otpornost na smrzavanje • Reciklirani sadržaj • Dopuštene tolerancije dimenzija za zidarske jedinice • Tlačna čvrstoća 	

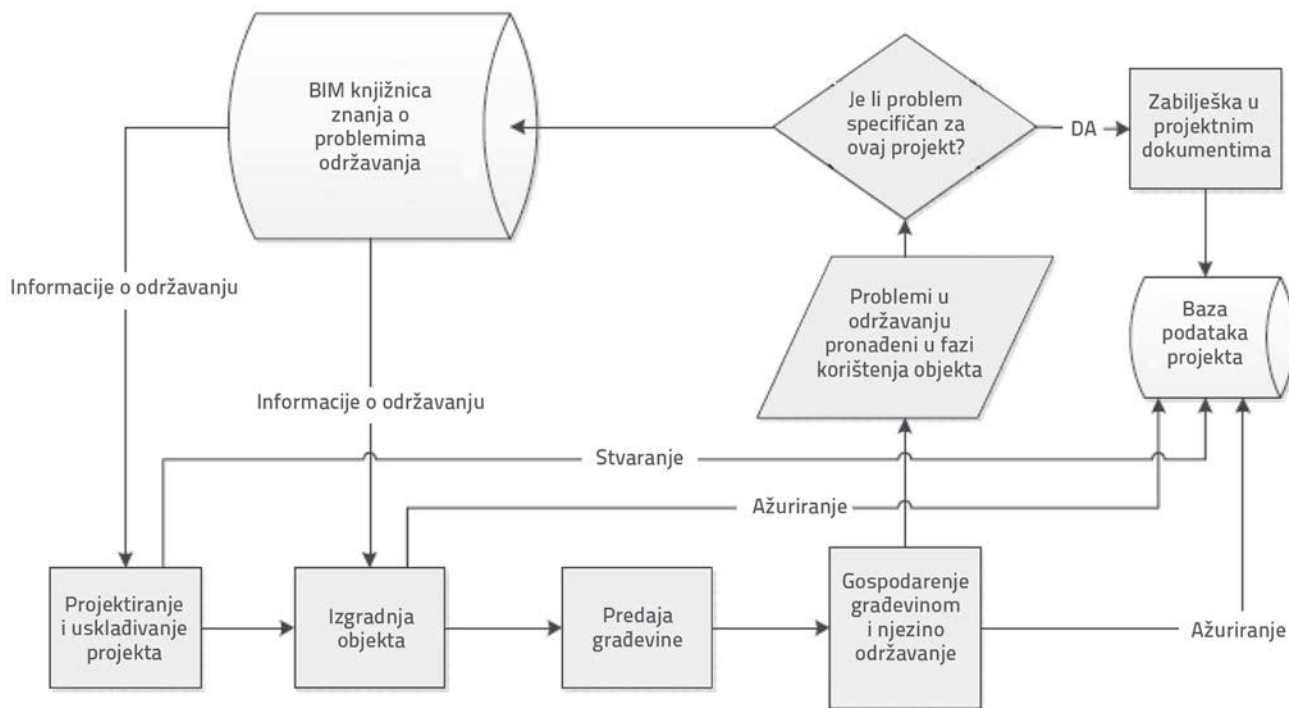
koje moraju pronalaziti, analizirati i ažurirati sa svakom provedenom aktivnošću, a BIM pruža jednostavnu pohranu svih tih informacija u samo jednoj elektroničkoj datoteci [24]. Također, prema znanstvenim istraživanjima 50 % problema vezanih uz održavanje može se izbjeći ako se njihovi glavni uzroci otklone već u fazi projektiranja [25, 26]. Nadalje, u više se znanstvenih radova [6, 24, 27-29] ističe da je promišljanje o održavanju građevina u fazi projektiranja nužno kako bi se sve relevantne informacije o održavanju uzele u obzir prilikom odlučivanja o konstrukciji i materijalima ugrađenim u građevinu. U velikom broju zemalja u svijetu plan održavanja građevine već je sastavni dio projektne dokumentacije. Međutim, projektanti i izvođači uključeni u početnim fazama projekta rijetko znaju koje su sve informacije bitne za učinkovito funkcioniranje sustava upravljanja održavanjem građevina, a iskustvene informacije prikupljene tijekom održavanja ne dolaze do njih [29]. Tu se kao problem navodi nemogućnost angažiranja tima stručnjaka za održavanje tijekom projektiranja jer u većini slučajeva taj tim u vrijeme projektiranja još nije niti formiran [30]. Problemi u komunikaciji tako onemogućavaju optimizaciju svih sustava vezanih uz trajanje građevine. BIM bi mogao biti rješenje za navedene probleme, jer se veliki broj informacija i znanja stručnjaka za održavanje građevina može naći u digitalnim bazama (arhivama/knjižnicama znanja), te se smanjuje potreba za stalnom prisutnošću stručnjaka u fazi projektiranja građevine. Model upravljanja informacijama o održavanju građevina u BIM okruženju prikazan na slici 2. omogućava prisutnost održavanja u svim prethodnim fazama trajanja građevine [30]. U središtu modela nalazi se BIM baza podataka (arhiva/knjižnica znanja) u kojoj su dostupne sve informacije o problemima i iskustvima u

održavanju sličnih objekata i ti podaci dostupni su projektantima tijekom projektiranja te izvođačima tijekom izgradnje objekta. Nakon primopredaje građevine investitoru i korisniku/cima, u fazi korištenja, sve aktivnosti bilježe se u baze podataka o projektu i dostupne su svim sudionicima tog projekta i kao iskustvena arhiva za sve buduće projekte.

2.3. Integracija BIM-a i održavanja postojećih građevina

Tijekom održavanja postojećih građevina implementacija BIM-a zahtijeva dodatne aktivnosti. Radi oblikovanja BIM modela za već postojeću građevinu, potrebno je doći do podataka o geometriji i topologiji građevine koji nisu dostupni u projektnoj dokumentaciji. To se radi posebnim tehnikama bilježenja podataka i istražnim radovima, a najpoznatije su fotogrametrija i lasersko skeniranje. Fotogrametrija je postupak snimanja fotokamerom i linijsko kartiranje kontura građevina iz stereomodela, a lasersko skeniranje uključuje snimanje terestričkim laserskim skenerom i obradu snimljenog oblaka točaka [31]. Obje su metode brze i moguće je njihove dobivene podatke prebaciti u BIM model [32]. Na slici 3. prikazana je usporedba oblaka točaka nastalog laserskim skeniranjem i BIM modela izvedenog iz tog oblaka točaka.

Među postojećim građevinama posebno zahtjevni za održavanje su povijesni objekti i kulturno nasljeđe. Njihove specifičnosti su često u tehničkom pogledu nepravilni oblici građevnih elemenata, ornamenti, kiparski i umjetnički detalji. Svi ovi elementi za BIM predstavljaju izazov u digitaliziranju i odabiru načina snimanja oblaka točaka te njihovo točno prebacivanje u BIM model. Ovaj



Slika 2. Funkcioniranje BIM baze podataka o održavanju [30]



Slika 3. Usporedba oblaka točaka skeniranog objekta i BIM modela [32]

problem se može riješiti automatskim ili poluautomatskim prepoznavanjem elemenata u BIM programskim rješenjima prilikom prebacivanja oblaka točaka iz laserskih snimaka [33].



Slika 4. BIM modeliranje nepravilnog zida u dvorcu Valentino [33]

Zbog svojih specifičnosti u implementaciji BIM-a, za povijesne objekte javlja se pojam HBIM (eng. Historic Building Information Modelling) koji je sinonim za BIM modeliranje povijesnih objekata i kulturnog nasljeđa [33-36]. HBIM su razvili znanstvenici [37, 38] kao spoj suvremene tehnologije i BIM pristupa u polju povijesnih građevina. HBIM funkcionira kao dodatak BIM-u i on je prototip baze parametarskih elemenata načinjenih od informacija o povijesnim objektima

[34]. Mogućnosti koje BIM pruža za povijesne građevine brže su i jednostavnije prepoznavanje stanja u kojem se objekt nalazi, prepoznavanje starenja i propadanja elemenata te planiranje popravaka, rekonstrukcije i općenito korištenja. Također, BIM pruža mogućnosti prikaza povijesnog objekta u tri dimenzije te stvaranje virtualne realnosti za građevine, što može poslužiti u edukativne i turističke svrhe [33]. Uspješno korištenje HBIM-a na primjeru dvorca Valentino u Italiji može se vidjeti na slici 4.

2.4. Sinteza prednosti i ograničenja implementacije BIM-a u održavanju građevina

Pregledom trenutno dostupne literature i analizom niza studija slučaja [24, 39-45], izvedene su glavne prednosti i ograničenja implementacije BIM-a u održavanje građevina te prikazane u tablici 2.

Za ostvarenje svih prednosti BIM-a prije svega je nužno premostiti osnovna ograničenja, a najveće prepreke za implementaciju BIM-a u tvrtke moguće je identificirati

Tablica 2. Prednosti i ograničenja implementacije BIM-a u održavanje građevina

Prednosti	Ograničenja
<ul style="list-style-type: none"> Poboljšanje u načinu dijeljenja i točnosti informacija potrebnih za održavanje građevina 	<ul style="list-style-type: none"> Nejasno definirane i validirane koristi od uvođenja BIM-a u održavanje
<ul style="list-style-type: none"> Brže i efektivnije dijeljenje informacija između sudionika u različitim fazama objekta 	<ul style="list-style-type: none"> Mala potražnja za BIM-om od strane klijenata
<ul style="list-style-type: none"> Smanjenje troškova održavanja i popravaka za 3 do 6% pružanjem točnih podataka o inventaru već kod ugovaranja poslova održavanja 	<ul style="list-style-type: none"> Veći opseg posla (potreba za vrlo detaljnim specifikacijama) za kvalitetno definiranje BIM modela za održavanje
<ul style="list-style-type: none"> Poboljšana efikasnost narudžbi za izvođenje popravaka i održavanja 	<ul style="list-style-type: none"> Nedefinirane točne informacije potrebne za gospodarenje građevinom i njezino održavanje koje moraju biti implementirane u BIM model
<ul style="list-style-type: none"> Mogućnost uvođenja pravnih i ostalih dokumenata potrebnih kod održavanja u model i povezivanja s mjestom gdje pripadaju 	<ul style="list-style-type: none"> Nedovoljno znanja i iskustva od strane osoblja u održavanju građevina o korištenju BIM-a
<ul style="list-style-type: none"> Lakše pronalaženje mjesta i automatsko uočavanje nedostataka kroz pregledavanja 3D modela 	<ul style="list-style-type: none"> Nedostatak jasno definiranih uloga, odgovornosti, ugovornih odnosa i garancija u postupcima
<ul style="list-style-type: none"> Mogućnost simulacije scenarija renovacija u 3D okruženju 	<ul style="list-style-type: none"> Veliki broj različitih računalnih aplikacija za održavanje građevina i gospodarenje njima koji nemaju standardizirane elemente
<ul style="list-style-type: none"> Smanjenje troškova postupaka renovacija i istraživanja na objektu korištenjem već poznatih podataka iz BIM modela 	<ul style="list-style-type: none"> Nedovoljna interoperabilnost između računalnih programa za modeliranje i za održavanje građevina i gospodarenje njima
<ul style="list-style-type: none"> Bolja predvidljivost djelovanja objekta na okoliš i troškova uporabljivosti objekta (energetske simulacije) 	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristika građevinske industrije da sporo prihvaća nove promjene u procesima i tehnologiji

istraživanjima među korisnicima BIM-a. Jedno od takvih istraživanja provedeno je među interesnom skupinom u Maleziji [46]. Rezultati su pokazali kako glavna prepreka uvođenju BIM-a nisu financijski razlozi, već nedovoljna stručnost/tehnička podrška, nedostatan osposobljavanje, subjektivna i kulturološka pitanja te mišljenje kako BIM nije bolji od trenutnih postupaka (CAD-a) [31]. Kao strategije koje bi pomogle učinkovitijoj implementaciji BIM-a autori spominju potrebu za osiguranjem adekvatnog obrazovanja, povećavanjem svijesti o potrebi uvođenja BIM-a, izradom uputa za primjenu BIM-a te uvođenjem poboljšanja u visokoškolsko obrazovanje [46].

Također, slično eksplorativno istraživanje proveli su u Hrvatskoj autori ovog rada. Cilj je istraživanja bio saznati stupanj korištenja BIM-a u promatranim poduzećima, te istražiti njihovo stajalište o korištenju BIM-a u održavanju građevina. U istraživanju je sudjelovalo 18 odabranih predstavnika poduzeća za koje se smatralo da bi mogli imati iskustva u korištenju BIM-a. Ispitanici su bili direktori (5), projektanti (4), BIM menadžeri (2), suradnici projekatana (2), inženjer planiranja (1), arhitekt (1), voditelj odjela (1), voditelj odjela prodaje (1), a jedan od ispitanika se izjasnio samo kao zaposlenik. Većina ispitanika (39 %) ima između 6 i 10 godina iskustva u struci. Njihova poduzeća uglavnom se bave projektiranjem (94 %), a iskustva s BIM-om imalo je 78 % ispitanika. Veliki postotak (79 %) tvrtki koristilo je BIM na više od 6 projekata među kojima su najčešći projekti stambenih zgrada (29 %), industrijskih postrojenja (21 %) i infrastrukturni projekti (18 %).

Na pitanje o potrebi primjene BIM-a u fazi korištenja i održavanja građevine, 56 % ispitanika odgovorilo je pozitivno, nitko nije odgovorio negativno, a značajno je da 39 % nije uopće odgovorilo na pitanje. Velik postotak izostanka odgovora na to pitanje može se objasniti nepoznavanjem mogućnosti BIM-a u održavanju.

Najveći rizici koje ispitanici prepoznaju kod implementacije BIM-a u poduzeće i njegove projekte su: neadekvatna edukacija osoblja, cijena računalnih programa za BIM, nedovoljna traženost korištenja BIM-a od strane investitora, nezadovoljavajuća interoperabilnost računalnih program, velike investicije u računalnu opremu, te produženje vremena potrebnog za obavljanje poslova zbog složenosti računalnih programa. Analizom odgovora može se zaključiti da su glavni rizici na koje je potrebno djelovati prije implementacije BIM-a poboljšanje edukacije iz ovog područja, ali i povećanje opće svijesti o važnostima i koristima BIM-a koje mogu biti znatno veće od početnih investicija u edukaciju zaposlenika i računalnu infrastrukturu.

Na temelju svih spoznaja iz pregleda literature te kratkog provedenog istraživanja o stanju u praksi, predlaže se kako bi za uspješnu implementaciju BIM-a u održavanje građevina i smanjenje svih spomenutih rizika trebalo definirati jasnu strategiju implementacije BIM-a.

3. Strategija implementacije BIM-a u održavanje građevina

Strategija implementacije BIM-a u sve faze građevine, uključujući i najdužu, fazu korištenja i održavanja, predložena je na temelju primjera zemalja koje su otišle najdalje u implementaciji BIM-a u svoje građevinarstvo. U SAD-u postoji organizacija US GSA (eng. *US General Services Administration*) koja je pokrenula uvođenje BIM-a u javne projekte kada je 2003. formirala nacionalni 3D-4D-BIM program. Također je donijela BIM smjernice i norme koji su internacionalno priznate [47].

Velika Britanija je 2011. godine počela provoditi petogodišnju strategiju vlade (eng. *UK Government Construction Strategy*) za implementaciju BIM-a u sve javne projekte do 2016. godine [46]. Također, osnovana je organizacija BIM Task Group koja pomaže i javnom i privatnom sektoru u reinženjeringu njihovih poslovnih procesa kako bi odgovarali BIM procesima [48].

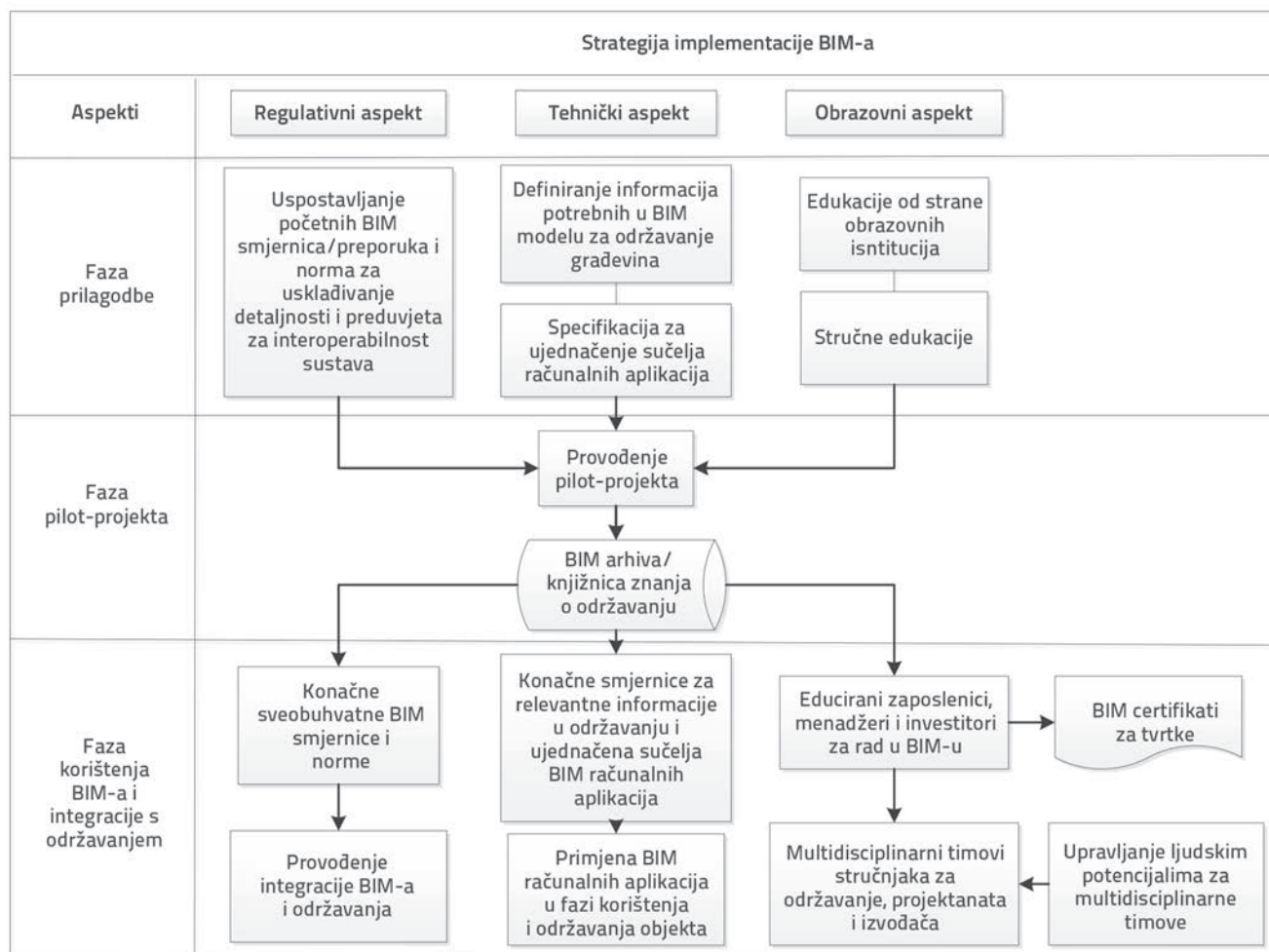
U skandinavskim zemljama, Finskoj i Danskoj, vlade novčano podržavaju istraživanja i razvoj u području BIM-a. Finska vlada donijela je općenite BIM smjernice koje su snažno podržane u građevinskoj industriji te je javni sektor u toj zemlji glavni pokretač BIM projekata [47]. Danska pak predvodi razvoj nove BIM norme o klasifikaciji koja bi mogla vrijediti i za cijelu Europsku uniju [47].

Njemačka je razvila svoje BIM smjernice u kojima je BIM opisan kao proces i kao tehnologija, istaknute su koristi BIM-a i dane su opće smjernice za njegovu implementaciju [49]. Njemačka također ima i strateški plan uvođenja BIM-a u javne projekte koji je primjenjiv i za ostale načine financiranja građevinskih projekata. Predloženi strateški plan uključuje postupnu implementaciju BIM-a kroz tri faze: fazu prilagodbe, fazu pilot projekata i fazu implementacije u ukupnom trajanju od pet godina [49, 50].

Češka ima svoju organizaciju Češko BIM vijeće (czBIM) s nekoliko radnih grupa koje se bave normizacijom, metodologijom, edukacijom, terminologijom, koristima i rizicima implementacije BIM-a. Promociju BIM-a provode, uz podršku vlade, kroz stručne konferencije te uvođenje BIM-a u srednje i visoke škole [49].

Primjeri spomenutih zemalja pokazuju kako u implementaciji BIM-a veliku ulogu imaju javna tijela koja donose regulativne smjernice za implementaciju BIM-a. Neke od glavnih odrednica implementacije BIM-a koje se još navode u literaturi [47] su:

- a) smjernice vlada pojedinih zemalja i industrije
- b) stvaranje kompetitivne prednosti u struci
- c) nacionalni i globalni standardi
- d) nacionalne i globalne BIM baze podataka (knjižnice/arhive)
- e) pravna regulacija BIM procesa
- f) integrirani sustavi nabave (eng. *Integrated Procurement Delivery* – IPD)
- g) reguliranje potrebnih informacija, tj. kvalitete modela
- h) rangiranje BIM kompetencija (eng. *Maturity Models*)
- i) edukacije i istraživanja za područje BIM-a; te j) promjene u poslovnim procesima.



Slika 5. Strategija implementacije BIM-a u održavanje građevina

Na osnovi pregleda stanja područja i prakse u zemljama svijeta, na slici 5. je prikazan opći model, odnosno strategija implementacije BIM-a koja uključuje i fazu održavanja građevina. Predložena strategija uključuje tri glavna aspekta: regulativni, tehnički i obrazovni. Ta tri aspekta moraju proći kroz različite razine razvoja i djelovati simultano da bi se na kraju došlo do uspješne implementacije BIM-a u građevinarstvo koje je orijentirano na cijeli životni vijek građevine. Opisana strategija uključuje tri faze procesa: fazu prilagodbe, fazu pilot-projekata i fazu implementacije od kojih svaka redom dovodi do uspješne implementacije BIM-a i u održavanje građevina. Specifičnosti svake od faza opisane su u daljnjem tekstu.

3.1. Faza prilagodbe

Faza prilagodbe uključuje, s regulativnog aspekta, proučavanje primjera implementacije BIM-a u drugim zemljama te formiranje početnih BIM smjernica i norma na temelju stanja razvoja digitalizacije i mogućnosti apsorpcije inovacija u konkretnoj zemlji. BIM projekti mogu se odnositi na nove građevine, rekonstrukcije ili radove održavanja na postojećim građevinama. Za svaki projekt trebao bi se definirati kriterij odabira optimalne

varijante koja će donijeti najmanje troškove i/ili najmanji utjecaj na okolinu tijekom cijelog trajanja, a za to je nužno uključiti analize i predviđanja budućih održavanja, kako redovnog, tako i investicijskog. Implementacija BIM-a je svakako moguća i prije faze donošenja zakonodavnog okvira specifičnog za BIM. Praksa pokazuje da zbog prednosti koje BIM donosi, privatni sektor prednjači u potražnji za BIM-om. Za implementaciju BIM-a u javne projekte ključnu ulogu, kako pokazuju istraživanja, imaju javna tijela, tj. nadležna ministarstva i razne strukovne udruge. Kao prvi korak u smislu tehničkih aspekata implementacije nameće se normizacija terminologije, procesa i sučelja računalnih aplikacija korištenih za BIM. Ovdje se općenito radi o standardizaciji BIM-a na razini države. Također, trenutno se za fazu održavanja najčešće koriste računalna programska rješenja koja ne podržavaju BIM, pa je svakako nužan korak i razvijanje računalnih rješenja za održavanje koje podržava rad u BIM platformi. Ključno je inzistiranje na normizaciji BIM sučelja i na kompatibilnosti između različitih proizvođača informatičkih rješenja kako bi se omogućila nesmetana razmjena relevantnih informacija između različitih faza projekta. Zasad je u implementaciji BIM-a još uvijek veliki izazov potpuna interoperabilnost u korištenju različitih sustava [51]. Također, strukovne udruge koje se bave održavanjem

građevina trebale bi specificirati skupove relevantnih informacija koje svaki model izgrađene građevine mora sadržavati za njegovu uporabu u fazi korištenja.

Nadalje, važan aspekt u fazi prilagodbe čini i obrazovanje, tj. provođenje sveobuhvatnih edukacija od strane obrazovnih ustanova te formiranje okruženja poznavanja BIM-a i njegove integracije s održavanjem. Potrebno je organizirati edukacije o BIM-u, njegovim koristima i specifičnostima. Obrazovne ustanove trebaju uvesti u svoje redovne programe učenje o BIM-u, ali potrebne su i stručne edukacije za poslovne korisnike. Samo edukacijom može se povećati svijest struke o koristima BIM-a i smanjiti ograničenja (gubitke vremena i otpor ljudi) koja se javljaju zbog nepoznavanja BIM procesa i tehnologije među zaposlenicima. U svrhu povezivanja svih BIM procesa u jednoj tvrtki, savjetuje se zapošljavanje BIM menadžera čija je odgovornost koordinacija svih zaposlenika koji rade u BIM okruženju te praćenje i kontrola BIM procesa.

3.2. Faza pilot-projekata

Nakon definiranja početnih nacionalnih BIM smjernica i norma, u fazi pilot-projekata angažiraju se sposobne tvrtke i testiraju početni okviri. Pilot-projekti će pružiti bazu informacija koje je potrebno implementirati u BIM modele za uspješniju predaju na daljnje faze, a na kraju i fazu korištenja građevine.

Za dodatno povećanje produktivnosti i unaprjeđenje održavanja građevina, preporučuje se automatizacija u integraciji s BIM-om. Naime, minimalni troškovi unutar trajanja građevine postaju sve važnija kategorija, a pomanjkanje radnika na tržištu rada još je više ističe. Navedeno upućuje na to da je u fazi oblikovanja odnosno izrade projektne tehničke dokumentacije, nužno predvidjeti tehnička rješenja koja smanjuju potrebe za održavanjem te povrh toga u fazi korištenja i održavanja omogućavaju zamjenu rada radnika strojnim radom, odnosno primjenu suvremenih tehnologija industrije 4.0. Neke od njih su i QR kodovi (eng. *Quick Response Code*), virtualna i proširena realnost te roboti u održavanju građevina.

QR kod podrazumijeva dvodimenzionalni slikovni prikaz čijim očitavanjem je korisnik upućen na određenu stranicu weba koja sadrži neograničenu količinu alfanumeričkih i slikovnih podataka. U procesu kreacije i korištenja QR kodova bitne su faze kodiranja unutar kojeg kod nastaje te očitavanje s povezivanjem na web adresu. Kao čitač QR koda te ujedno sredstvo spajanja na internet najčešće služi pametni telefon. Ova tehnologija nastala u Japanu krajem prošlog stoljeća, danas ima primjenu u proizvodnji, prodaji te najširem okruženju. U procesu održavanja građevina tehnologija QR kodova se primjenjuje u funkciji vizualizacije dijelova, sklopova i uređaja te pripadajućih tehničkih detalja građevine kao i prezentacije i tumačenja postupka njihovog održavanja i servisiranja. Ova tehnologija značajno pojednostavljuje pristup održavanju, povećava sigurnost radnika, smanjuje mogućnost pogreške te podiže produktivnost rada. Uz BIM i QR kodove, za bolju vizualizaciju građevina može se koristiti i virtualna i proširena stvarnost.

Virtualna stvarnost (eng. *Virtual Reality* - VR) tehnologija je čije se naznake prepoznaju u drugoj polovini i krajem prošlog stoljeća u vidu simulatora korištenih u medicini, automobilskoj industriji te zrakoplovstvu i vojnoj industriji. Na današnjem stupnju razvoja virtualne stvarnosti predstavlja vrlo vjeran 3D model postojećeg prostora ili prostora koji se nalazi u fazi oblikovanja unutar kojeg korisnik ima dojam kretanja. S obzirom na to, virtualna je stvarnost u primjeni kao sredstvo za uvjerljivo predočavanje projektnih rješenja projektantima samim tijekom izrade tehničke dokumentacije, zatim naručiteljima te potom kupcima nekretnina u fazi prodaje.

Tehničke karakteristike sustava virtualne stvarnosti omogućavaju njegovu primjenu u fazi korištenja i održavanja građevina. Vjeran prikaz kretanja kroz prostor definiran BIM modelom dostupan je uključivanjem na daljinu različitim timovima stručnjaka koji iz svojeg poslovnog okruženja interaktivno s kolegama koji se nalaze na sasvim drugoj lokaciji mogu steći uvid u prostor koji je predmet neke od aktivnosti korištenja i održavanja građevina. Pri tome sudionici mogu uzajamno postavljati pitanja, raspravljati o viđenom te donositi brze odluke [52]. Navedeni pristup štedi vrijeme stručnjaka i troškove putovanja, ubrzava aktivnosti te omogućava suradnju timovima izabраниh po osnovi njihove ekspertize na daljinu.

Proširena stvarnost (eng. *Augmented Reality* - AR) tehnologija je uz pomoć koje korisnik vidi objekte u realnom okruženju nadopunjene računalno generiranim slikovnim ili zvučnim sadržajima. Navedena tehnologija danas se primjenjuje u mnogim i različitim područjima djelatnosti.

Dosada već postoje mnogi primjeri u primjeni proširene stvarnosti u održavanju građevina. Jedan od njih je inteligentna kaciga uz pomoć koje korisnik vidi trodimenzionalni model objekta te povrh toga upute za njegovu upotrebu, servis ili popravak. Osim toga, poznata je primjena infracrvene termografije koja omogućava tehničarima da vide stanje električnih i drugih sustava ovisno o stupnju njihovog zagrijavanja. Posebna kategorija primjene AR-a omogućava da se radnicima u realnom vremenu dostave upute za rad, kontrolne liste, te ostale tehnološke i organizacijske podloge potrebne za rad [53].

Očekuje se da će proširena stvarnost (AR) poprimiti za ukupnu praksu u održavanju građevina velika vrijednost te ju u potpunosti odrediti. Kroz to će omogućiti veću kvalitetu i produktivnost rada, sigurnost radnika te mnoge daljnje potpuno nove dosege.

Još jedna tehnologija koja se može primijeniti u integraciji s BIM-om jesu roboti u održavanju građevina. Termin robota postoji od 1920. godine, a njegov pojam u današnjem smislu predstavlja kompjutorski upravljiv stroj koji automatski obavlja niz kompleksnih aktivnosti [54]. Uobičajeni učinci koji se očekuju od primjene robotizacije jesu niži troškovi u primjeni robota u odnosu na ostala tehnička rješenja, bolja efikasnost u operativnim procesima, razvoj sve bliži potrebama korisnika, izostanak ozljeda na radu te veća produktivnost resursa [55]. Primjena robota u građevinarstvu povezanih s kompleksnim sustavom upravljanja proizvodnjom već se desetljećima sve više aktualizira i u praksi i u teoriji, te veže uz izgradnju novih ali također i uz održavanje

postojećih građevina [56]. U današnjoj praksi raširena je upotreba robota u održavanju podnih površina, pranju prozorskih stakala, održavanju hortikulture, održavanju cesta i autocesta, željeznica, u pristupu i održavanju dijelova građevina u nuklearnim zonama, za hitne intervencije i mnoge druge potrebe. Razvojem 5G bežične mreže uslijedit će daljnji razvoj svih navedenih i mnogih daljnjih vidova primjene automatizacije i robotike u građevinarstvu te osobito u održavanju građevina.

Bitno je za održavanje građevina da se u toj fazi, na temelju pilot-projekata, definira i zajednička BIM arhiva/knjižnica znanja u kojoj su dostupne sve informacije o problemima i iskustvima u održavanju objekata. To znači i definiranje informacija važnih za održavanje koje BIM model mora sadržavati.

3.3. Faza korištenja BIM-a i njegove integracije s održavanjem

Nakon faze pilot-projekata mogu se definirati konačne BIM smjernice i standardi te eventualno zakonski okvir potreban za uvođenje BIM-a u javne projekte kao što je to napravljeno u velikom broju zemalja. BIM smjernice definiraju se općenito za sve građevinske projekte, te trebaju biti razrađene po svim fazama investicijskog građevinskog ciklusa, dakle i za fazu održavanja i gospodarenja građevinama.

Prilikom rada na BIM projektima podrazumijeva se rad u multidisciplinarnim timovima gdje bi stručnjaci za održavanje bili uključeni već u fazu projektiranja kod novih projekata, a projektanti u fazu održavanja u slučaju postojećih objekata. Za uspješnu provedbu BIM projekta nužna je integracija svih faza životnog vijeka. Na samom početku projekta bitno je definirati informacije koje je potrebno implementirati u BIM model. U definiranju ovih stavki može se koristiti BIM knjižnica/arhiva znanja ili se ona može proširiti ovisno o posebnostima projekta. U fazama projektiranja i izgradnje potrebna je suradnja stručnjaka iz održavanja, projektiranja i gradnje u obliku multidisciplinarnih timova. Da bi se ona osigurala, potrebno je organizirati plan upravljanja ljudskim potencijalima na razini spomenutih timova. Savjetuje se da tvrtke posebnu pozornost usmjere na ovaj dio kako bi se spriječio gubitak informacija zbog pogreški u komunikaciji ili razumijevanju.

Nakon izgradnje, nužno je ažurirati BIM model podacima o izvedenom stanju i dodatnim podacima potrebnim za uspješno korištenje i održavanje građevine. Tako pripremljen model zatim preuzimaju stručnjaci za održavanje i prenose ga u računalni program za održavanje koji je unaprijed određen i kompatibilan s prethodno korištenim računalnim platformama. Također, nužno je osigurati kontinuiranu edukaciju osoblja u održavanju i unaprjeđivanje tehničkih uvjeta kako bi se osigurala kontinuirane koristi od implementacije BIM-a u održavanje građevina. Standardizirani certifikati bi omogućili vrlo jednostavnu klasifikaciju tvrtki koje su osposobljene za rad na nekom BIM projektu. Na taj način čuvali bi se interesi investitora, ali i naglašavale prednosti nekih tvrtki na tržištu. Važno je naglasiti da se certifikacija u ovom području predlaže kao komparativna prednost, a ne kao obaveza.

3.4. Implementacija BIM-a u održavanje građevina u Republici Hrvatskoj

U Hrvatskoj, kao i u svijetu, djelatnosti gospodarenja građevinama i njihova održavanja posljednjih godina se sve više razvijaju. Općenito je postojeći fond građevina značajan u odnosu na novoizgrađene građevine, te postoji potreba za njegovim adekvatnim održavanjem. Uz visoke potrebne troškove za investicijsko održavanje, pitanje je koliko su tvrtke koje se bave gospodarenjem i održavanjem građevina spremne ulagati u obrazovanje i razvoj kompetencija. Slijedeći primjer zemalja koje su razvijenije u implementaciji BIM-a [47], može se očekivati da se u Hrvatskoj s vremenom uvede obveza korištenja BIM-a za sve javne projekte. S tim u vezi nameće se pitanje tko će održavati te objekte i kako najbolje iskoristiti podatke iz BIM modela da njegova implementacija ne stane u fazi izgradnje objekta. Naime, karakteristično je za građevinarstvo kao industrijsku granu da sporo prihvaća promjene u procesima i tehnologiji. Međutim, i tvrtke će se s vremenom trebati prilagoditi novim uvjetima i zahtjevima investitora na način da investiraju u nove programske pakete i edukacije osoblja. Ako se već u početnoj fazi implementacije BIM-a na razini države jasno postave zahtjevi za održavanje građevina, tada bi se i tvrtke stigle prilagoditi novim uvjetima na tržištu.

Visok stupanj razvijenosti tehnologije i investicije potrebne za uvođenje BIM-a do sada su bile prepreka za hrvatske tvrtke. Uz to, problemi su i nedovoljna educiranost zaposlenika o korištenju BIM-a te nedovoljno mogućnosti za dodatno obrazovanje. U Hrvatskoj se organiziraju stručni tečajevi o BIM-u te su oni većinom orijentirani na komercijalne programe i organizirane od strane tvrtki njihovih distributera [49]. Međutim, za kvalitetnu edukaciju ljudskih potencijala i osposobljavanje za odabir alata i procesa odgovarajućih za svaki projekt ili tvrtku zasebno, nužna je šira i nepristrana edukacija. Pozitivan primjer promjena vidi se u novim projektima u hrvatskoj edukaciji, poput organizacije BIM ljetnih škola na građevinskim fakultetima u Zagrebu i Splitu te korištenja QR kodova u obrazovnim projektima. Na slici 6. prikazan je primjer QR koda koji povezuje korisnika s karakteristikama stupa kao konstrukcijskog elementa građevine, a koji je korišten u sklopu Erasmus + projekta EIBigMac s ciljem promicanja građevinske struke u populaciji srednjoškolaca.



Slika 6. Primjer QR koda. Izvor: EIBigMac e book [57]

Hrvatska se sada nalazi u fazi pripreme za uvođenje BIM-a u građevinarstvo. Hrvatski institut za standardizaciju, Hrvatska komora inženjera građevinarstva i Hrvatska komora arhitekata aktivno rade na formalizaciji hrvatskih BIM smjernica [49]. Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu napravljene su od strane Hrvatske komore inženjera građevinarstva [19], a BIM otvoreni vodič za arhitekate od strane Hrvatske komore arhitekata [58]. Međutim, neki njihovi dijelovi nisu potpuno ujednačeni te potreba za sveobuhvatnim BIM smjernicama na razini države ostaje i dalje. Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja (MGIPU) pokrenulo je rad radne skupine o BIM-u, čiji članovi su predstavnici strukovnih inženjerskih komora, sa svrhom poticanja umrežavanja komora i intenzivnijeg promišljanja o BIM-u. Također, radna skupina redovito prati aktivnosti EU BIM Task grupe na EU razini (rad EU BIM Task grupe financira i podržava EU komisija), kako bi se tržište što prije pripremilo i razvilo za sljedeću fazu promišljanja o uvođenju BIM-a u građevinske projekte. Kako je e-razvoj rada MGIPU-a na visokoj razvojnoj razini, te uključuje Informacijski sustav prostornog uređenja i, između ostalog, modul e-dozvole, radi se na uvođenju standardiziranog formata BIM modela kao dijela ulaznih podataka za ishođenje građevinske dozvole. Naravno, cijeli će proces proći pokusnu fazu, fakultativni stadij neobveznosti. U konačnici, za nekoliko godina očekuje se znatno pojednostavljenje dokumentacije za planiranje, praćenje i kontrolu građevinskih investicija, te kontrolu održavanja, upravo kroz BIM model građevina.

4. Zaključak

Analizom literature i studija slučaja primjene BIM-a u održavanju građevina istaknute su njegove glavne prednosti i ograničenja. Njih je potrebno poznavati za uspješnu implementaciju BIM-a u fazu održavanja građevina. U radu je napravljena analiza postojeće literature, te je na temelju toga i kratkog eksplorativnog istraživanja među odabranim predstavnicima poduzeća predložena strategija implementacije BIM-a u održavanje građevina. Pokazalo se da su glavni rizici na koje je potrebno djelovati prije konačne implementacije BIM-a nedostatna edukacija iz ovog područja, ali i nedovoljna svijest o važnostima i koristima BIM-a koje mogu biti znatno

veće od početnih investicija u edukaciju zaposlenika i računalnu infrastrukturu.

Naime, učinkovito održavanje podrazumijeva integraciju upravljanja informacijama kroz dugoročno upravljanje građevinama i kratkoročnu aktivnost izgradnje. Koristi se mogu vidjeti u stvarnim uštedama kroz: smanjenje troškova automatskog prijenosa točnih, potpunih i nedvosmislenih informacija prilikom primopredaje; bolju spoznaju operacijskih potreba i potreba za održavanjem građevina; bolje odluke o troškovima funkcioniranja i održavanja građevina; dinamičko mjerenje i očitavanje stanja energetske učinkovitosti, nedostataka i kvarova; bolje organizacijsko i strateško planiranje za što potpunije i točnije informacije o građevini i, konačno, bolju kvalitetu informacija.

Za unaprjeđenje tradicionalnih metoda u održavanju građevina i ponajprije povećanje produktivnosti rada i lakšu vizualizaciju, predlaže se integracija BIM-a i automatizacije, to jest, suvremenih tehnologija industrije 4.0, poput QR kodova, virtualne i proširene realnosti te robota. Naime, minimalni troškovi unutar trajanja građevine postaju sve važnija kategorija, a pomanjkanje radnika na tržištu rada još je više ističe, pa je nužno predvidjeti suvremenija tehnička rješenja.

Na temelju primjera u zemaljama koje su otišle najdalje u implementaciji BIM-a u svoje građevinarstvo, vidi se kako glavnu ulogu u implementaciji imaju država i strukovne udruge koje promiču svijest i edukacije o BIM-u. Osim što sudjeluju u izradama nacionalnih smjernica i standarda za implementaciju BIM-a, one financijski podržavaju i istraživanja i razvoj na ovom području. Uz sve sadašnje spoznaje o korištenju BIM-a za cjelokupno trajanje projekta moguće je zaključiti da korištenje BIM-a mijenja način na koji gledamo na građevinsku industriju u cjelini. Međutim, za potpuno iskorištenje svih njegovih prednosti nužno je BIM implementirati i u fazi korištenja i održavanja objekata. Edukacije i upravljanje ljudskim resursima značajno pridonose kvaliteti implementacije BIM-a u sve procese građevinskih projekata, pa tako i fazu održavanja. Kad je riječ o Hrvatskoj, ti su procesi zasad u početnoj fazi implementacije BIM-a u građevinarstvo, ali pravilnom pripremom i strateškim djelovanjem može biti primjer zemljama regije u unaprjeđenju svojega građevinarstva.

LITERATURA

- [1] McKinsey&Company: Reinventing construction: a route to higher productivity – executive summary, McKinsey Global Institute, Research Insight. Impact., 2017.
- [2] HM Government: Industrial Strategy – Building a Britain fit for the future, White paper, Crown, 2017.
- [3] Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E.F.R., Ramos, L.F.P.: Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal, International Journal of Production Research, 55 (2017) 1, pp. 3609-3629, doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576.
- [4] Marr, B.: Why Everyone Must Get Ready for the 4th Industrial Revolution, Forbes, 2019, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2017.1308576>, 20.7.2019.
- [5] Liu, R., Issa, R.R.A.: Automatically updating maintenance information from a BIM database, International Conference on Computing in Civil Engineering, Clearwater Beach, pp. 373-380, 2012.
- [6] Liu, R., Issa, R.R.A.: Issues in BIM for facility management from industry practitioners' perspectives, ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, Los Angeles, pp. 411-418, 2013.

- [7] Akcamete, A., Akinci, B., Garrett, J.H.: Potential utilization of building information models for planning maintenance activities, International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham, pp. 151-157, 2010.
- [8] Ferry, D., Brandon, P., Ferry, J.: Cost planning of buildings (Vols. 1-7), Oxford: Blackwell Publishing, 1996.
- [9] Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F.: Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs, Automation in Construction, 38 (2014), pp. 109-127, doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [10] Ding, L., Wei, R., Che, H.: Development of a BIM-based automated construction system, Procedia Engineering, 85 (2014), pp. 123-131, doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.536.
- [11] Azhar, S., Khalfan, M., Maqsood, T.: Building information modelling (BIM): now and beyond, Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12 (2012) 4, pp. 15-28, doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032.
- [12] Jurčević, M.: 20 BIM pojmova koje morate znati, Intelika, <https://intelika.hr/blog/item/48-20-bim-pojmova-koje-morate-znati>, 10.5.2018.
- [13] Natspec: NATSPEC BIM paper NBP001: BIM and LOD, Construction Information Systems, 2013.
- [14] The American Institute of Architects (AIA): Document E202™ – 2008 – Building Information Modeling Protocol Exhibit, AIA, 2008.
- [15] ISO: ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 1: Concepts and principles, ISO, 2018.
- [16] ISO: ISO 19650-2:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) -- Information management using building information modelling -- Part 2: Delivery phase of the assets, ISO, 2018.
- [17] ISO: ISO/TC 59/SC 13 N570, ISO/NP 19650-3 - Organization of information about construction works -- Information management using building information modelling -- Part 3: Operational phase of assets, Proposal, 2017, <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/projects/9017-01042>, 23.7.2019.
- [18] BIM Forum: Level of Development Specification 2017 Guide, BIM Forum, buildingSMART UK Chater, 2017.
- [19] Jurčević, M., Pavlović, M., Šolman, H.: Opće smjernice za BIM pristup u graditeljstvu, Hrvatska komora inženjera građevinarstva, Zagreb, 2017.
- [20] NBS: NBS National BIM Report 2015, <https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-national-bim-report-2015>, 22.7.2019.
- [21] BSI: PAS 1192-3:2014 Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling, 2014, <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030281435>, 15.7.2019.
- [22] East, E.W.: Construction-Operations Building information exchange (COBie), buildingSMART alliance, National Institute of Building Sciences, Washington, DC., 2012, http://www.nibs.org/?page=bsa_cobie, 22.7.2019.
- [23] BSI: PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, 2013, <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030281435>, 20.4.2016.
- [24] Wang, Y., Wang, X., Wang, J., Yung, P., Jun, G.: Engagement of facilities management in design stage through BIM: framework and a case study, Advances in Civil Engineering, (2013), pp. 1-8, doi.org/10.1155/2013/189105.
- [25] Arditi, D., Nawakorawit, M.: Designing buildings for maintenance: designers' perspective, Journal of Architectural Engineering, 5 (1999) 4, pp. 107-116, doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(1999)5:4(107).
- [26] Arditi, D., Nawakorawit, M.: Issues in building maintenance: property managers' perspective, Journal of Architectural Engineering, 5 (1999) 4, pp. 117-132, doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(1999)5:4(117).
- [27] Cerić, A., Katavić, M.: Upravljanje održavanjem zgrada, GRAĐEVINAR, 53 (2000) 2, pp. 83-89
- [28] Vanlande, R., Nicolle, C., Cruz, C.: IFC and buildings lifecycle management, Automation in Construction, 18 (2008), pp. 70-78, doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.001.
- [29] Jensen, P.: Integration of considerations for facilities management in design, Design Management in the Architectural Engineering and Construction Sector: CIB W096 Architectural Management & TG49 Architectural Engineering, Rotterdam, pp. 191-199, 2008.
- [30] Liu, R., Issa, R.R.A.: BIM for facility management design for maintainability with BIM tools, The 30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining, Montreal, pp. 321-328, 2013.
- [31] ZZf - Zavod za fotogrametriju, <http://zzf.hr>, 10.5.2018.
- [32] Bečirević, D., Babić, L., Cigrovski, I.: Od podataka laserskog skeniranja do BIM modela postojećeg stanja, Ekscentar, 17 (2014), pp. 87-92, doi.org/n/a.
- [33] Chiabrando, F., Sammartano, G., Spano, A.: Historical buildings models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B5 (2016), pp. 633-640, doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-633-2016.
- [34] Logothetis, S., Delinasiou, A., Stylianidis, E.: Building information modelling for cultural heritage: a review, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-5/W3 (2015), pp. 177-183, doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W3-177-2015.
- [35] Garcia-Valdecabres, J., Pellicer, E., Jordan-Palomar, I.: BIM scientific literature review for existing buildings and a theoretical method: proposal for heritage data management using HBIM, Construction Research Congress, San Juan, Puerto Rico, 2016.
- [36] Selim, O., Ahmed, S.: BIM and architectural heritage, Creative Construction Conference, Ljubljana, pp. 994-1001, 2018.
- [37] Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S.: Historic building information modelling (HBIM), Structural Survey, 27 (2009) 4, pp. 311-327, doi.org/10.1108/02630800910985108.
- [38] Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S.: Historic building information modeling - adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 76 (2013), pp. 89-102, doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.
- [39] Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Li, N., Calis, G.: Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management, Journal of Construction Engineering and Management, 138 (2012) 3, pp. 431-442, doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433.

- [40] Arayici, Y., Onyenobi, T.C., Egbu, C.O.: Building information modelling (BIM) for facilities management (FM): The MediaCity case study approach, *International Journal of 3-D Information Modelling*, 1 (2012) 1, pp. 55-73, doi.org/10.4018/ij3dim.2012010104.
- [41] Kassem, M., Kelly, G., Dawood, N., Serginson, M., Lockley, S.: BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex, *Built Environment Project and Asset Management*, 5 (2015) 3, pp. 261-277, doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011.
- [42] Korpela, J., Miettinen, R.: BIM in facility management and maintenance: the case of Kaisa library of Helsinki University (Chapter), 29th Annual ARCOM Conference. Association of Researchers in Construction Management: Reading, eds. Smith, S. D., Ahiaga-Dagbui, D. D., Reading, pp. 47-56, 2013.
- [43] Lavy, S., Jawadekar, S.: A case study of using BIM and COBie for facility management, <https://thebimhub.com/2014/12/21/a-case-study-of-using-bim-and-cobie-for-facility-m/#.Wu3NezisblU>, 5.5.2018.
- [44] Parsanezhad, P., Dimyadi, J.: Effective facility management and operations via a BIM-based integrated information system (Chapter), CIB Facilities Management Conference: Using Facilities in an open World creating Value for all Stakeholders, ed. Jensen, P. A., Polyteknisk Boghandel og Forlag, pp. 442-453, 2014.
- [45] Su, Y.C., Lee, Y.C., Lin, Y.C.: Enhancing maintenance management using building Information modeling in facilities management, 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Seoul, Korea, pp. 752-757, 2011.
- [46] Salleh, H., Wong, P.F.: Building information modelling application: focus-group discussion, *GRAĐEVINAR*, 66 (2014) 8, pp. 705-714, doi.org/10.14256/JCE.1007.2014.
- [47] Smith, P.: BIM implementation – global strategies, *Procedia Engineering*, 85 (2014), pp. 482-492, doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575
- [48] McGraw Hill: The business value of BIM for construction in global markets, McGraw Hill Construction, Bedford MA, US, 2014.
- [49] Galić, M., Venkrbec, V., Chmelik, F., Feine, I., Pučko, Z., Klanšek, U.: Survey of accomplishments in BIM implementation in Croatia, the Czech Republic, Germany, and Slovenia, *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek, e-GFOS*, 15 (2017), pp. 23-35, doi.org/10.13167/2017.15.3.
- [50] Bramann, H., May, I.: *Stufenplan Digitales Planen und Bauen: Einführung moderner, IT gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken*, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin, 2015.
- [51] Sabol, L.: *Challenges in cost estimating with building information modeling*, Design + Construction Strategies, Washington, 2008.
- [52] Sharifi, S.: 3 Ways Virtual Reality in Construction is Shaping the Industry, Connect and Construct, B autodesk bim 360, 2018, <https://connect.bim360.autodesk.com/virtual-reality-in-construction>, 20.7.2019.
- [53] Potter, K.: *Augmented Reality Becoming a Focus in Maintenance Technology*, Transdendent, 2018, <https://transcendent.ai/blog/asset-management/augmented-reality-becoming-a-focus-in-maintenance-technology/>, 20.7.2019.
- [54] Oxford dictionary, <https://www.lexico.com/en/definition/robot>, 20.7.2019.
- [55] Matthews, K.: 5 Ways Robotics Will Disrupt the Construction Industry in 2019, rbr, <https://www.roboticsbusinessreview.com/news/5-ways-robotics-will-disrupt-construction-industry-in-2019/>, 20.7.2019.
- [56] Skibniewski, M.J., Hendricson, C.: Automation and robotics for road construction and maintenance, *Journal of Transportation Engineering*, 116 (1990) 3, pp. 261-271, doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1990)116:3(261).
- [57] Sidani, A., Guimaraes, A.S., Rangel, B., Dinis, F.M., Završki, I., Martins, J.P., Mihić, M., Theodossiou, N., Sigmund, Z.: *Civil Engineering Handbook*, <https://paginas.fe.up.pt/~elbigmac/project/>, 20.7.2019.
- [58] Hrvatska komora arhitekata: BIM otvoreni vodič za arhitekate, <https://arhitekti-hka.hr/hr/bim/uvod/>, 14.11.2018.