



Имплементација ВИМ-а у фази извођења радова применом АР технологија

Implementation of BIM in the Construction Phase Using AR Technologies

Стефан Мандић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм - ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај - У раду је разматрана интеграција ВИМ технологије са технологијама проширене реалности (*Augmented Reality – AR*) у фази извођења грађевинских радова. Анализирани су технички аспекти ВИМ–АР интеграције, као и практичне примене АР технологија на градилишту, укључујући приказ скривених елемената, детекцију колизија, подршку монтажи и унапређење контроле квалитета (*QA/QC*). Такође је извршена анализа платформи које омогућавају имплементацију ВИМ-а путем АР технологија. Резултати указују да ВИМ–АР интеграција може значајно допринети унапређењу координације и ефикасности извођења грађевинских радова.

Кључне речи: ВИМ, проширена реалност, АР технологије, фаза извођења радова,

Abstract – *The paper examines the integration of Building Information Modeling (BIM) technology with Augmented Reality (AR) technologies during the construction phase. Technical aspects of BIM–AR integration are analyzed, as well as practical applications of AR technologies on construction sites, including the visualization of concealed elements, collision detection, assembly support, and the enhancement of quality assurance and quality control (QA/QC). In addition, an analysis of platforms enabling BIM implementation through AR technologies is conducted. The results indicate that BIM–AR integration can significantly contribute to improving coordination and efficiency in construction execution.*

Keywords: *BIM, augmented reality, AR technologies, construction phase*

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Милан Тривунић, ред. проф.

1. УВОД

Савремено грађевинарство пролази кроз интензивну дигиталну трансформацију. Иако је ВИМ широко примењен у фазама пројектовања и координације, његов потенцијал у фази извођења радова још увек није у потпуности искоришћен. Ова фаза је најкритичнија, јер подразумева трансформацију

дигиталног модела у физичку реалност, уз висок ризик од грешака, кашњења и неусклађености између струка. Као одговор на ове изазове, све већу примену има интеграција ВИМ технологије са технологијама проширене реалности (*Augmented Reality – AR*), које омогућавају преклапање дигиталног модела са реалним окружењем градилишта. На тај начин обезбеђује се директна просторна и информациона контрола у реалном времену. Предмет овог рада је анализа примене ВИМ технологије у фази извођења радова кроз интеграцију са АР технологијама, са посебним освртом на техничке аспекте ВИМ–АР интеграције и практичне сценарије примене на градилишту. Циљ рада је сагледавање ефеката оваквог приступа на унапређење контроле квалитета, координације и ефикасности извођења радова.

2. АР ТЕХНОЛОГИЈА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Проширена реалност (*Augmented Reality – AR*) представља технологију која омогућава суперпонирање дигиталних информација и виртуелних објеката на реално окружење у реалном времену. За разлику од класичних дигиталних приказа који су ограничени на екране рачунара или мобилних уређаја, АР омогућава кориснику да истовремено посматра физички простор и дигитални садржај који је просторно и контекстуално повезан са реалним окружењем. Дигитални садржај се не приказује изоловано, већ се прецизно позиционира у простору у односу на корисника, чиме се ствара осећај да виртуелни елементи постоје у стварном окружењу. У грађевинарству, ова способност омогућава директно визуелно поређење пројектованог и изведеног стања на градилишту.

Принцип функционисања АР система заснива се на комбинацији сензора, камере и софтверских алгоритама. Камера уређаја региструје реално окружење, док сензори (акцелерометри, жirosкопи, GNSS, LiDAR) омогућавају одређивање положаја и оријентације корисника у простору. На основу тих података, софтвер врши просторну трансформацију ВИМ модела и приказује га у одговарајућем положају и размери. Тачност АР приказа директно зависи од квалитета сензора, калибрације система и прецизности улазних података.

У грађевинарству се АР технологија најчешће користи путем мобилних уређаја, таблета и специјализованих АР наочара. Мобилни уређаји

омогућавају брзу и приступачну примену AR-а, али су ограничени величином екрана и ергономијом.

Примена AR технологије у грађевинарству омогућава унапређење разумевања пројектне документације, смањење ризика од грешака и побољшање координације између учесника у процесу извођења. Када се AR технологија интегрише са BIM моделима, дигитални подаци престају да буду апстрактни прикази на екрану и постају директан алат за контролу, проверу и доношење одлука на градилишту [1].

3. ИНТЕГРАЦИЈА BIM-А И AR ТЕХНОЛОГИЈА У ФАЗИ ИЗВОЂЕЊА

Интеграција BIM-а и AR технологија у фази извођења представља прелазак са традиционалног, документационо-оријентисаног управљања градилиштем на приступ у којем се информације из дигиталног модела активно користе у реалном простору, током самог извођења. BIM обезбеђује структуриран и стандардизован скуп података о објекту (геометрија, позиционирање, својства елемената, фазе уградње), док AR омогућава да се ти подаци прикажу контекстуално — у реалним димензијама, на стварној локацији и у тренутку када су потребни. Тиме се значајно смањује јаз између пројектне намере и физичке реализације, посебно у сложеним деловима објекта као што су инсталационе зоне, техничке етаже и простори са високим степеном колизијских ризика [2].

У пракси, интеграција BIM-а и AR-а није један корак, већ процес који обухвата:

- пренос и припрему BIM модела за AR окружење
- правилно позиционирање (геолокацију) модела на градилишту,
- калибрацију, скалирање и поравнање у односу на реално стање,

Недовољно припремљен модел или погрешна регистрација на терену могу умањити вредност AR примене, без обзира на квалитет хардвера.

3.1. Технички процес преноса BIM модела у AR окружење

Квалитет AR приказа на градилишту директно зависи од начина на који је BIM модел припремљен, оптимизован и повезан са реалним простором. За разлику од BIM модела намењених пројектовању или анализи, модели за AR примену морају бити прилагођени визуализацији у реалном времену и ограничењима AR хардвера. У фази припреме BIM модела врши се селекција елемената релевантних за конкретну фазу извођења. Непотребни детаљи, декоративни елементи и сложени параметарски описи који немају директну оперативну вредност уклањају се или искључују. Посебан значај има прилагођавање нивоа детаљности (LOD), где се тежи оптималном

односу између визуелне прецизности и техничке изводљивости AR приказа [2].

3.2. Геолокација BIM модела у AR окружењу градилишта

Без тачног просторног позиционирања дигиталног модела у односу на реално окружење, AR приказ губи своју основну функцију – прецизно преклапање пројектованих и стварних елемената. За разлику од класичне BIM визуализације, где се модел посматра у апстрактном дигиталном простору, AR захтева јасно дефинисан однос између координатног система BIM модела и координатног система градилишта. Овај однос мора бити усклађен са геодетском основном објекта и задовољити захтеве грађевинских толеранција. У пракси, BIM модели се најчешће развијају у локалном координатном систему, док се градилиште ослања на глобални или званични геодетски координатни систем. Због тога је неопходно спровести трансформацију модела која обухвата транслацију, ротацију и, по потреби, скалирање. Процес геолокације мора узети у обзир и реална одступања на терену, као и фазност извођења објекта. Издвајају се три доминантна приступа позиционирању BIM модела у AR окружењу градилишта:

Позиционирање помоћу геодетских референтних тачака - Овај приступ обезбеђује највиши ниво тачности и најчешће се користи код конструктивних и инсталационих радова. Геодетске референтне тачке дефинисане тоталном станицом служе као основа за AR калибрацију, чиме се постиже позиционирање у оквиру грађевинских толеранција.

Позиционирање помоћу визуелних (фидуцијалних) маркера - Визуелни маркери, као што су QR кодови или AR маркери, постављају се на познате локације на објекту. AR систем их препознаје и на основу њих аутоматски позиционира BIM модел.

Позиционирање засновано на SLAM технологији - SLAM приступ користи камере и сензоре AR уређаја за истовремено мапирање простора и одређивање позиције. Овај метод је флексибилан и не захтева додатну опрему, али обезбеђује нижи ниво тачности [2].

3.3. AR приказ скривених инсталација

Предности примене проширене реалности (AR) у фази извођења грађевинских објеката огледају се у могућности визуализације скривених елемената и инсталација, који након бетонирања или затварања конструкције постају трајно недоступни директном визуелном надзору. Интеграцијом BIM модела са AR технологијом омогућава се извођачима, надзору и пројектантима да у реалном простору сагледају положај инсталација пре њихове уградње, али и током каснијих фаза извођења, чиме се значајно унапређује контрола квалитета и смањује ризик од грешака.

Примена AR технологије у овом контексту представља прелаз са класичне 2D и 3D документације ка просторно оријентисаном дигиталном приказу, где се BIM модел преклапа са реалним стањем на градилишту у реалном времену. У фазама извођења армирано-бетонских конструкција, нарочито код међуспратних плоча, зидова и вертикалних језгара, инсталације се уграђују пре бетонирања или затварања завршним слојевима. Грешке настале у овом тренутку често имају високе последичне трошкове. AR технологија, повезана са валидираним BIM моделом, омогућава прецизну контролу положаја инсталација ВиК, Електро и телекомуникационе инсталације, HVAC системи [2,3].

3.4. Детекција и анализа колизија у фази извођења помоћу AR-а

Традиционално, процес откривања колизија одвија се у пројектној фази применом софтверских алата за тзв. „clash detection“, међутим пракса показује да значајан број конфликта настаје или постаје уочљив тек у фази извођења. Разлози за то укључују одступања у изведеним димензијама, толеранције грађења, промене на градилишту, као и несклад између пројектованог и стварног стања.

Примена технологија проширене стварности (AR) омогућава проширење концепта детекције колизија из дигиталног окружења у реални простор градилишта. На тај начин се BIM модел, са свим припадајућим елементима, може просторно ускладити са физички изведеном конструкцијом и инсталацијама, чиме се омогућава идентификација потенцијалних и постојећих конфликта директно на лицу места [2,3].

3.5. Подршка монтажи и постављању елемената уз помоћ AR-а

На основу геореференцираног BIM модела, AR систем омогућава приказ тачног положаја стубова, зидова, греда, плоча, челичних елемената или резервација у реалном простору, у односу на постојеће референтне тачке објекта.

Процес започиње правилном калибрацијом AR система, при чему се BIM модел поравнава са физичким координатним системом градилишта.

Као референтне тачке могу се користити:

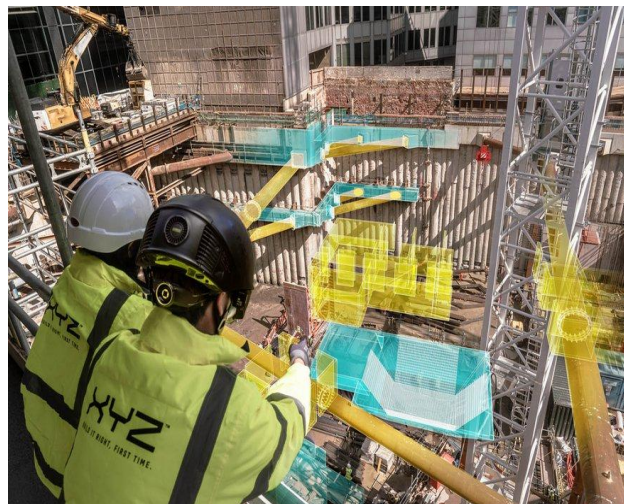
- постојећи конструктивни елементи,
- ласерски маркери,
- GNSS тачке

Након поравнања, корисник путем AR уређаја види дигитални приказ елемента „усидрен“ у простору, на тачно предвиђеној позицији. Овакав приступ омогућава проверу положаја пре саме монтаже, као и контролу током извођења, чиме се значајно смањује ризик од одступања у хоризонталном и вертикалном смислу [2,3].

3.6. Безбедност и заштита на раду уз помоћ AR

Примена проширене стварности (AR) у комбинацији са BIM моделима отвара нове могућности за унапређење система безбедности и заштите на раду, омогућавајући визуелну, контекстуалну и интерактивну идентификацију ризика директно у реалном простору градилишта. AR технологије омогућавају да се информације о безбедности не приказују више искључиво кроз статичне знакове, планове и писане процедуре, већ кроз динамичке и интуитивне приказе који су прилагођени стварној ситуацији на терену.

AR технологија представља изузетно ефикасан алат за обуку радника у области безбедности и заштите на раду, посебно у фази увођења нових запослених или при промени технологије извођења. Коришћењем AR симулација, радници могу бити изложени реалистичним, али контролисаним сценаријима опасности, без стварног ризика по њихово здравље [2].



Слика 1. Приказ конструкције уз коришћење AR [5]

4. АНАЛИЗА ПЛАТФОРМИ ЗА AR ИНТЕГРАЦИЈУ

Развој BIM-AR интеграције условио је појаву специјализованих софтверско-хардверских платформи које омогућавају примену проширене реалности у фази извођења грађевинских радова. Ове платформе се разликују по начину рада, нивоу просторне прецизности, врсти подржаних уређаја и степену интеграције са BIM екосистемом. Њихова анализа је од кључног значаја за разумевање реалних могућности и ограничења примене AR технологија на градилишту.

У пракси се AR-BIM платформе могу поделити на мобилно оријентисана решења, системе засноване на уређајима мешовите реалности и специјализоване системе са геодетском прецизношћу. Свака од ових група има своје предности и специфичне области примене.

Trimble – индустријски BIM-AR екосистем (XR10 + SiteVision)

Trimble је једна од ретких компанија која не посматра AR као изоловану технологију, већ као продужетак геодетског, BIM и градилишног процеса. Њихов приступ се заснива на интеграцији:

- BIM података,
- прецизног просторног позиционирања,
- индустријског хардвера прилагођеног градилишту,
- cloud платформи за сарадњу и размену података

За разлику од решења која користе комерцијалне AR наочаре без додатне заштите, Trimble је развио XR10 са HoloLens технологијом, који представља пунокрвни индустријски MR уређај, сертификован за употребу на градилишту.

Trimble XR10 није само AR наочаре, већ комплетан систем личне заштитне опреме (PPE). XR10 се састоји од индустријске заштитне кациге, интегрисаних MR наочара (базираних на Microsoft HoloLens 2 технологији), система за балансирање и ергономију, индустријске заштите од прашине, удараца и нечистоћа.

У пракси то значи да инжењер или надзор може шетати градилиштем, гледати BIM модел „преко“ стварног објекта и истовремено обављати инспекцију или монтажу [2].



Слика 2. Примена Trimble Connect платформе [2]

Trimble AR решења су директно повезана са Trimble Connect платформом, која служи као CDE окружење. Ток података је следећи:

- BIM модел се припрема и координира (Revit, Tekla, IFC),
- модел се поставља на Trimble Connect,
- XR10 или SiteVision преузимају модел,
- AR приказ се користи на терену за контролу, монтажу и верификацију.

За разлику од Trimble-, који полази од хардверске прецизности и специјализованих уређаја, Dalux TwinBIM је развијен са идејом да AR постане оперативни алат широке употребе на градилишту, а не искључиво инструмент за високо специјализоване задатке. Dalux полази од претпоставке да је највећа препрека примени AR-а у грађевинарству приступачност технологије, а не њене теоријске могућности. Dalux TwinBIM се стога не појављује као

засебан производ, већ као функционални модул унутар Dalux CDE екосистема, који већ обухвата:

- преглед и навигацију BIM модела,
- управљање документацијом,
- контролу квалитета (defects, issues),
- комуникацију између учесника пројекта [4].

Dalux TwinBIM се ослања искључиво на:

- паметне телефоне,
- таблете

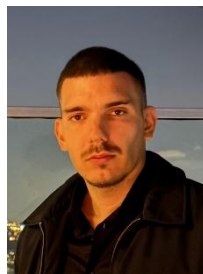
5. ЗАКЉУЧАК

Интеграција BIM и AR технологија у фази извођења грађевинских радова представља значајан корак ка унапређењу квалитета, ефикасности и безбедности процеса грађења. AR омогућава директно просторно повезивање BIM модела са реалним окружењем градилишта, чиме се побољшава разумевање пројектних решења, смањује ризик од грешака и унапређује координација учесника у процесу изградње. Иако су присутна одређена техничка и организациона ограничења, резултати рада показују да BIM–AR интеграција има значајан потенцијал за широку примену у савременој грађевинској пракси.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Aukstakalnis, „Practical Augmented Reality“, RR Donnelley, Indiana, 2016
- [2] <https://www.trimble.com/blog/construction/en-US/article/what-is-bim-building-information-modeling> (приступљено у фебруару 2026.)
- [3] <https://www.hsbcad.com/news/how-augmented-reality-is-taking-bim-to-the-next-level> (приступљено у фебруару 2026.)
- [4] <https://www.dalux.com> (приступљено у фебруару 2026.)
- [5] <https://www.datacenterdynamics.com/> (приступљено у фебруару 2026.)

Кратка биографија:



Стефан Мандић рођен је у Ужицу 1998. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Грађевинарство – одбранио је 2026. год.

Контакт: smandiicc@gmail.com