

Дигитална трансформација у грађевинарству: улога вештачке интелигенције и савремених технологија у унапређењу продуктивности кроз пројектовање, извођење и одржавање објеката

Digital Transformation in Construction: the Role of Artificial Intelligence and Modern Technologies in Improving Productivity Through Design, Construction, and Maintenance Phases

Драган Икановић, Владимир Мученски, Факултет техничких наука, Нови Сад

Студијски програм - ГРАЂЕВИНАРСТВО

Кратак садржај - Дигитална трансформација представља један од најзначајнијих процеса у савременој грађевинској индустрији, са циљем повећања продуктивности, ефикасности и одрживости током целокупног животног циклуса објекта. Овај рад анализира примену савремених технологија као што су Building Information Modeling (BIM), вештачка интелигенција (AI), Internet of Things (IoT) и дигитални близанци у фазама пројектовања, извођења и одржавања. Посебна пажња посвећена је начину на који ове технологије доприносе бољој сарадњи учесника, оптимизацији ресурса и смањењу трошкова.

Кључне речи: дигитална трансформација, грађевинарство, вештачка интелигенција, BIM, IoT, дигитални близанци.

Abstract – Digital transformation represents one of the most significant processes in the modern construction industry, aiming to increase productivity, efficiency, and sustainability throughout the entire life cycle of a building. This paper analyzes the application of modern technologies such as Building Information Modeling (BIM), Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and Digital Twins in the design, construction, and maintenance phases. Special attention is given to how these technologies enhance collaboration, resource optimization, and cost reduction.

Keywords: digital transformation, construction, artificial intelligence, BIM, IoT, digital twins

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Мученски, редовни професор.

1. УВОД

Савремена грађевинска индустрија пролази кроз дубоку дигиталну трансформацију која мења традиционалне приступе пројектовању, извођењу и

одржавању објеката. Увођење савремених технологија као што су Building Information Modeling (BIM), вештачка интелигенција (AI), Internet of Things (IoT), роботика и дигитални близанци (Digital Twins) доприноси повећању ефикасности, смањењу трошкова и унапређењу безбедности на градилиштима.

Дигитализација омогућава бољу интеграцију свих учесника у пројекту и успоставља континуиран ток информација током читавог животног циклуса објекта. Захваљујући томе, грађевинске компаније постижу већу контролу над процесима, бољу предвидљивост ризика и виши степен одрживости. Посебан значај има примена AI система у анализи великих количина података, предвиђању ризика и оптимизацији управљања ресурсима, што представља основу за развој концепта „паметног грађевинарства“.

Циљ овог рада је да прикаже кључне области у којима дигитална трансформација доприноси унапређењу грађевинске индустрије, са посебним освртом на примену BIM технологије, AI алата и паметних система у свим фазама животног циклуса објекта – од пројектовања, преко извођења, до одржавања.

2. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Дигитална трансформација у грађевинарству представља процес у коме се савремене информационе и комуникационе технологије интегришу у све фазе развоја, изградње и експлоатације објеката. Традиционални приступи засновани на папирној документацији, мануелном планирању и ограниченој комуникацији између учесника постепено се замењују дигиталним моделима, аутоматизацијом и разменом података у реалном времену.

Кључни елементи дигиталне трансформације укључују BIM (Building Information Modeling), вештачку интелигенцију (AI), Internet of Things (IoT), 3D штампу, дроне, као и технологије

проширене (AR) и виртуелне стварности (VR). Ови системи омогућавају креирање интегрисаних модела објеката, прецизно планирање ресурса, праћење напретка радова и оптимизацију трошкова.

Примена дигиталних технологија доприноси и одрживом развоју грађевинарства, кроз смањење потрошње материјала и енергије, ефикасније коришћење ресурса и смањење негативног утицаја на животну средину. Дигитални алати такође омогућавају прецизно праћење перформанси објекта током експлоатације, што доприноси продужењу његовог века трајања и повећању енергетске ефикасности.

У основи, дигитална трансформација не подразумева само имплементацију нових технологија, већ и промену пословних модела, начина размишљања и организације рада. Тиме се грађевинска индустрија постепено приближава стандардима „Индустрије 4.0“, где је свака фаза процеса заснована на подацима, аутоматизацији и међусобној повезаности система.



Слика 1. Четири главне области дигиталне трансформације у грађевинарству

3. BIM ТЕХНОЛОГИЈА

Building Information Modeling (BIM) представља једну од кључних технологија дигиталне трансформације у грађевинарству. Суштина BIM приступа огледа се у стварању дигиталног тродимензионалног модела објекта који интегрише све релевантне информације о његовом пројектовању, изградњи и одржавању.

BIM омогућава сарадњу свих учесника пројекта – архитеката, грађевинских и машинских инжењера, извођача и инвеститора – у јединственом дигиталном окружењу. На тај начин се смањују грешке у комуникацији, повећава тачност документације и омогућава боља координација активности током целог животног циклуса објекта.

Примена BIM-а доприноси смањењу ризика од грешака и кашњења, јер омогућава рано препознавање колизија између различитих система (конструкције, инсталација, вентилације и др.).

Осим класичног 3Д моделовања, BIM обухвата и 4Д моделовање (време), 5Д моделовање (трошкове), па чак и 6Д (енергетску ефикасност) и 7Д (управљање одржавањем).

BIM технологија представља основу за развој дигиталних близанаца (Digital Twins), који омогућавају праћење и симулацију стварног понашања објекта у реалном времену. На овај начин, инвеститори и управљачи објектима добијају прецизне податке о перформансама зграде, што омогућава доношење информисаних одлука о одржавању, унапређењу и енергетској оптимизацији.

Увођење BIM технологије у грађевинску праксу доноси бројне предности:

- унапређење комуникације и сарадње,
- бољу контролу трошкова и рокова,
- повећање ефикасности и продуктивности,
- олакшано одржавање објеката,
- стварање базе података за будуће пројекте.

Захваљујући наведеним предностима, BIM је данас постао стандард у савременом грађевинарству, а његова имплементација се све више захтева и кроз законске регулативе и међународне стандарде.



Слика 2. Building Information Modeling (BIM)

4. ПАМЕТНЕ ЗГРАДЕ И ИНФРАСТРУКТУРА

Развој паметних зграда и инфраструктуре представља важан корак у процесу дигиталне трансформације грађевинарства. Паметне зграде се заснивају на интеграцији информационих технологија, IoT уређаја (Internet of Things), сензора и аутоматизованих система који омогућавају ефикасније управљање енергијом, безбедношћу и комфором корисника.

Примена паметних система управљања (BMS – Building Management System) омогућава централизовано праћење и контролу свих техничких система у објекту – расвете, грејања, вентилације, климатизације, водоснабдевања и безбедности. На тај начин се постиже оптимизација потрошње енергије, смањење трошкова одржавања и продужавање животног века објекта.

Интеграција сензора и IoT уређаја омогућава прикупљање и анализу података у реалном времену, чиме се доносе прецизније одлуке о функционисању објекта. На пример, сензори покрета и температуре аутоматски регулишу рад расвете и грејања у складу са присуством људи, док системи за надзор потрошње енергије омогућавају правовремено откривање одступања и губитака.



Слика 3. IoT архитектура за паметне зграде

Паметна инфраструктура, попут паметних путева, мостова и тунела, користи сличне принципе дигитализације. Уграђени сензори мере оптерећења, вибрације, температуру и влажност, чиме се обезбеђује предиктивно одржавање и спречавање потенцијалних кварова или хаварија. Комбинацијом BIM технологије и паметних система управљања ствара се основа за дигиталне близанце, који омогућавају симулацију стварних услова рада и ефикасније планирање одржавања. Паметне зграде и инфраструктура тако постају кључни елементи одрживог урбаног развоја, јер доприносе енергетској ефикасности, смањењу емисије угљен-диоксида и већем квалитету живота корисника.

5. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ФАЗИ ПРОЈЕКТОВАЊА

Фаза пројектовања представља кључни корак у дигиталној трансформацији грађевинарства, јер управо у овом сегменту започиње интеграција савремених технологија које обликују цео животни циклус објекта.

Примена BIM (Building Information Modeling) технологије омогућава обједињавање архитектонских, грађевинских и машинско-електротехничких дисциплина у јединствен дигитални модел. На тај начин обезбеђује се боља координација међу учесницима, смањује могућност грешака и оптимизује процес планирања.



Слика 4. The Edge - Амстердам



Слика 5. Научно-технолошки парк, Нови Сад

Дигитални алати омогућавају напредну визуелизацију и симулацију пројектованих решења, што доприноси квалитетнијем доношењу одлука и јаснијем разумевању пројекта пре почетка изградње.

Коришћење вештачке интелигенције и алгоритама машинског учења у фази пројектовања све чешће се користи за оптимизацију простора, материјала и енергетске ефикасности, чиме се постижу значајне уштеде и унапређује одрживост пројекта.

Увођење колаборативних платформи и cloud решења доприноси ефикаснијој комуникацији и сарадњи свих учесника, чиме се смањује број ревизија и убрзава процес доношења одлука. Дигитална трансформација у овој фази ствара чврсту основу за дање фазе изградње и одржавања објекта.

6. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА У ФАЗИ ИЗВОЂЕЊА РАДОВА

Током фазе извођења, дигитална трансформација се огледа у употреби технологија које омогућавају праћење, контролу и оптимизацију грађевинских радова у реалном времену.



Слика 6. Интеграција BIM-а у пројектовању

Примена дрона, 3Д штампе и роботизованих система значајно доприноси прецизности, брзини и сигурности на градилишту. Дрони се користе за праћење напретка радова, контролу квалитета и израду ажурираних мапа терена, док роботизовани системи и 3Д штампа омогућавају брже и прецизније извођење одређених радова.



Слика 7. Снимак дрона и дрон на градилишту

Коришћење AR (Augmented Reality) и VR (Virtual Reality) технологија омогућава инжењерима и извођачима да визуализују пројектована решења на терену и на тај начин избегну потенцијалне грешке у извођењу.

Паметне кациге, сензори и дигиталне платформе омогућавају пренос података директно са градилишта, што доприноси бољој контроли безбедности, квалитета и трошкова.

Примена дигиталних алата за управљање ресурсима и планирање активности повећава ефикасност и омогућава правовремено реаговање на одступања у динамици радова. На тај начин, фаза извођења постаје транспарентнија, економичнија и усклађена са савременим захтевима тржишта.



Слика 8. Робот зидар „Hadrien X“

7. ДИГИТАЛНА ТРАНСФОРМАЦИЈА НА ОДРЖАВАЊУ ОБЈЕКТА

Фаза одржаванаа објекта постаје све значајнија захваљујући развоју дигиталних технологија које омогућавају континуирано праћење и оптимизацију рада објекта током целог животног циклуса.

BIM модели се користе као основа за управљање објектом, јер садрже све релевантне информације о инсталацијама, материјалима и опреми. Интеграцијом са IoT сензорима омогућено је прикупљање података о потрошњи енергије, воде, перформанса система и условима у објекту.

Ови подаци се анализирају у реалном времену уз помоћ предиктивне аналитике и вештачке интелигенције, чиме се омогућава правовремено планирање превентивног одржавања и избегавање непланираних кварова.

Паметни системи управљања зградама (BMS) аутоматски регулишу грејање, вентилацију и климатизацију у складу са спољним условима и потребама корисника, чиме се повећава енергетска ефикасност и смањују трошкови експлоатације.

8. СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА

У наставку су представљени европски примери који се тичу концепта паметних зграда.



Слика 9. Crossrail (Лондон, Велика Британија)

9. ЗАКЉУЧАК

Дигитална трансформација представља кључни корак у модернизацији грађевинске индустрије и прелазак са традиционалних метода рада на савремене, технолошки подржане процесе.

Кроз примену BIM технологије, вештачке интелигенције, IoT система и паметних решења, грађевинарство добија нове могућности за повећање продуктивности, ефикасности и одрживости у свим фазама животног циклуса објекта – од пројектовања, преко извођења, до одржавања.



Слика 10. The Edge (Амстердам, Холандија)



Слика 11. Beograd Tower (Србија)

Интеграција дигиталних алата омогућава прецизније планирање, бољу координацију учесника, смањење грешака и трошкова, као и брже доношење одлука. Посебно значајну улогу има примена вештачке интелигенције у анализи података, предиктивном одржавању и оптимизацији процеса, док паметне зграде и инфраструктура доприносе већем комфору корисника и енергетској ефикасности.

Резултати истраживања и примене дигиталних технологија у грађевинарству указују на потребу за даљим развојем дигиталних компетенција, стандардизацијом процеса и већим улагањима у технолошке иновације.

Будућност грађевинарства несумњиво лежи у потпуној интеграцији савремених технологија, које ће омогућити стварање одрживих, паметних и високоефикасних грађевинских система.

10. ЛИТЕРАТУРА

[1] McKinsey & Company – “The Next Normal in Construction: How Disruption is Reshaping the World’s Largest Ecosystem”. Доступно као PDF: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The-next-normal-in-construction/The-next-normal-in-construction.pdf>

[2] Digital Transformation of the Construction Industry: Sustainability, Resilience, and Data-Centric Engineering — Elsevier.

[3] World Economic Forum – “Shaping the Future of Construction” (2016). Доступно као PDF: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf

[4] Поповић, Д. (2020). Примена BIM технологије у грађевинској индустрији Србије. Грађевинар, 72(9), 815–827.

[5] BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers — John Wiley & Sons

Кратка биографија:



Драган Икановић рођен је у Лозници 1.9.1999. године. Основне као и мастер студије завршио је на Факултету техничких наука у Новом Саду, смер грађевинарство, одсек организација и технологија грађења.



Владимир Мученски рођен је 27.4.1980. године у Врбасу. Звање доктора наука стекао је 2013. године. Редовни је професор на Факултету техничких наука у Новом Саду.