

Digitalni blizanac

Seminarski rad u okviru kursa
Računarstvo i društvo
Matematički fakultet

Marko Bura
mi18141@alas.matf.bg.ac.rs

10. maj 2022.

Sažetak

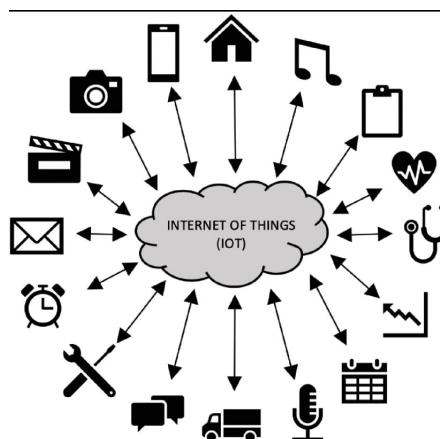
Ovaj rad se bavi tehnologijom Digitalni blizanac. Obraduje osnovne koncepte tehnologije, uvodi čitaoca u tehnologiju kroz terminologiju i izazove sa kojima se susretao i sa kojima se susreće Digitalni blizanac. Takođe govori o širokim primenama ove tehnologije, fokus je i na socijalno-ekonomskom uticaju Digitalnog blizanca i kako ga čovečanstvo doživljava.

Sadržaj

1	Uvod, poreklo i razvoj sajber-fizičkih softvera	2
2	Terminologija	4
3	Koncepti tehnologije Digitalni blizanac	5
4	Izazovi	6
5	Tehnologija u upotrebi i primena	8
6	Socijalno-ekonomski uticaj	8
7	Primeri iz prakse	10
7.1	Razvoj proizvoda	10
7.2	Prilagođavanje dizajna	10
7.3	Automobilska i vazduhoplovna industrija	10
7.4	Razvoj automobilske industrije	10
7.5	Zdravstvo	10
7.6	Poboljšanje personalne nege	10
7.7	Lanac distribucije	10
7.8	Primena u Srbiji	11
8	Zaključak	12
	Literatura	13

1 Uvod, poreklo i razvoj sajber-fizičkih softvera

Sa razvojem veštačke inteligencije, pametne tehnologije poput Internet stvari (eng. *Internet of Things - IoT*), Računarstva u oblaku (eng. *Cloud Computing - CC*), Analitike velikih podataka (eng. *Big Data Analytics - BDA*), Sajber-fizičkih sistema (eng. *Cyber-Physical Systems - CPS*), Digitalnih blizanaca (eng. *Digital Twin - DTs*) zauzimaju centralnu poziciju u novoj generaciji inteligentnih načina proizvodnje (eng. *intelligent manufacturing*). [1]



Slika 1: IoT dijagram [5]

Proizvodnja sada prelazi sa one bazirane isključivo na znanju na onu čija je osnova u suštini pametno kreiranje i upotreba podataka u cilju proširivanja znanja. Napredne informacije, tehnologije za komunikaciju kao i različite analize podataka upravo tome i doprinose.[1]

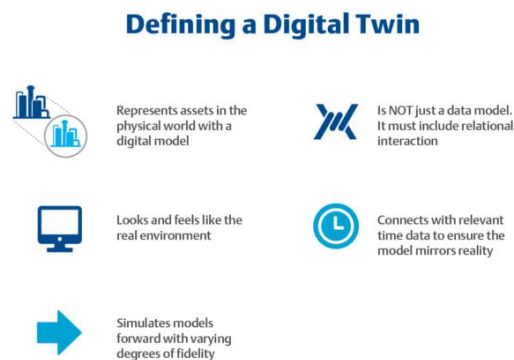
Integracija sajber i fizičkog je zapravo preteča ovakve vrste proizvodnje i predstavlja njenu suštinu. Upravo je to proslavilo CPS i DT što je dovelo do povećanja popularnosti od strane akademije, industrije, vlade.[1]

CPS su multidimenzionalni i kompleksni sistemi koji vrše integraciju sajber i dinamičkog fizičkog sveta. Kroz kolaboraciju i spajanje računarstva (eng. *computing*), kontrole (eng. *control*) i komunikacije (eng. *communication*) poznatije i kao 3C, ovi sistemi obezbeđuju povratne informacije, dinamičku kontrolu kao i druge usluge u trenutnom vremenu. To uslovljava veliku međuzavisnost i povezanost ova dva sveta.[1]

CPS predstavlja širok rang aplikacija u različitim sektorima, uključujući proizvodnju, energetiku, zdravstvo, nadgledanje ključnih infrastruktura kao i potrošačke usluge. Oni predstavljaju kompleksne, fleksibilne i adaptivne sisteme čiji su elementi okarakterisani povećanom autonomijom i inteligencijom.[4]

Samo neke od definicija digitalnog blizanca su:

- CHEN (2017): Digitalni blizanc je kompjuterizovan model fizičkih uređaja ili sistema koji reprezentuje sve funkcionalnosti i veze sa radnim elementima.[5]
- LIU (2018): Digitalni blizanc je živi model fizičkog sredstva i sistema koji se stalno prilagođava operativnim promenama na osnovu prikupljenih online podataka i informacija i može predvideti budućnost odgovarajućeg fizičkog predstavnika.[5]
- ZHENG (2018): Digitalni blizanc predstavlja set virtuelnih informacija koji u potpunosti opisuje potencijalnu ili stvarnu fizičku proizvodnju sa mikro-atomskog nivoa na makro-geometrijski nivo.[5]

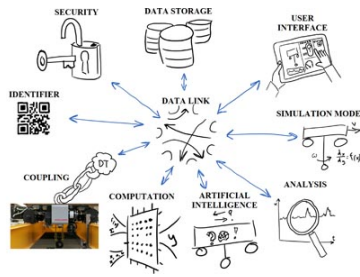


Slika 2: Definisane Digitalnog blizanca [10]

DT kreiraju visoko pouzdane virtuelne modele fizičkih objekata u virtuelnom prostoru u cilju da simuliraju njihova ponašanja u stvarnom svetu i obezbede povratnu informaciju. Zbog potpune digitalizacije proizvoda, kompanije su u mogućnosti da na vreme pouzdano predvide i lociraju bilo kakve probleme u proizvodnji, da optimizuju sam proces proizvodnje i da kao rezultat dobiju što bolje proizvode.[5]

Glavna namena DT je da se ponaša kao jedini izvor informacija za svog predstavnika iz realnog sveta. Povezuje različite sisteme na nivou proizvoda i koristi se da struktura, nadgleda i upotrebljava podatke. Ono što daje na značaju ovoj tehnologiji je upravo povezivanje informacija mnogih funkcionalnosti i sistema da unapređuju jedna drugu u realnom vremenu i na taj način pruže informacije korisniku sa jedne pristupne tačke.[1]

Integrisanje fizičkih procesa i kompjuterskih sistema je glavni izazov. Kompjuterski (sajber) deo konstantno mora da nadgleda stanje fizičkog sistema i u skladu sa tim da primenjuje odluke i akcije kako bi sproveo kontrolu.[4]



Slika 3: Konceptualni ideal okvira digitalnog blizanca zasnovanog na karakteristikama [3]

2 Terminologija

Digitalni blizanač (eng. *Digital Twin - DT*) je virtualni entitet koji je povezan sa entitetom realnog sveta. On opisuje planirani ili realni objekat sa najboljom mogućom preciznošću. Informacije mogu biti distribuirane putem različitih sistema, dok se delovi informacija mogu povezati jedna sa drugom stvarajući jedan koherentan entitet. [3]

Instanca digitalnog blizanca (eng. *Digital Twin Instance - DTI*) definiše se kao jedan virtualni predstavnik jednog određenog objekta iz realnog sveta. Taj objekat može biti fizički proizvod, čovek, grad, proces ili čak i događaj, bilo šta što može imati koristi od predstavljanja u virtualnom svetu. Kako je DTI jedan interfejs za podatke realnog objekta on mora biti sve vreme prisutan na Internetu kako bi obezbedio konstantan protok podataka. Svaki DTI ima jedinstven identifikator koji se koristi za konektovanje iz bilo kog dela sveta.[3]

Blok Digitalnog blizanca (eng. *Digital Twin Block - DTB*) je pod-sistem DTI. Predstavlja nezavisan softverski entitet koji može biti konektovan na drugi DTB kako bi oformio DTI.[3]

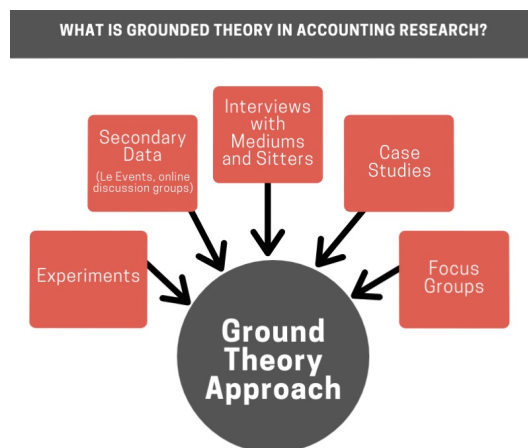
Klasa Digitalni blizanač (eng. *Digital Twin Class - DTC*) je alat za kreiranje DTI, na sličan način kao što objektno-orijentisani programski jezici koriste klase kao alate da bi kreirali instance objekata. Akcenat se stavlja na kreiranje DTI.[3]

Funkcionalnost Digitalnog blizanca (eng. *Digital Twin Feature - DTF*) je zajednički termin za različite vrste tehničkih funkcionalnosti DT. To je dodatni sloj apstrakcije koji obezbeđuje tranziciju od funkcionalnih zahteva do tehničke implementacije.[3]

Izdvajaju se sledeće analize bazirane na ovim funkcionalnostima:

- **Utemeljena teorija** (eng. *Grounded theory*): Osnovna ideja metodologije je da proizvede teorije koje su zasnovane na podacima. Osnovni elementi uključuju kategorizaciju podataka, pronalaženje relacija između kategorija i konačno integrisanje kategorija s ciljem razvijanja teorije. Ova teorija zahteva simultano prikupljanje podataka, analizu i razvijanje teorije od trenutka započinjanja procesa istraživanja. Razvijanje teorije je inicirano kategorizacijom podataka.

ka, što je dovelo do prepoznavanja DTF. [3]



Slika 4: Pristup na kome se zasniva utemeljena teorija[11]

- **Korelaciona analiza:** Korelacija predstavlja normalizovanu linearnu sličnost između dva faktora. Normalizacija povezuje maksimalnu vrednost sa 1 a minimalnu sa -1. Vrednost 1 predstavlja strogu pozitivnu vezu, ukoliko je jedan faktor ima visoku vrednost imaće i drugi. Ako je korelacija strogo negativna onda je veza inverzna. Međutim iako su dva faktora u korelaciji to ne mora značiti da će veza biti kauzalna. Da bi se dokazala kauzalnost veze potrebno je sprovesti izolovane testove, dokazati zavisnosti pomoću zakona fizike itd. Ova analiza se koristi kao alat za razumevanje relacija i hijerarhije između DTF. [3]

3 Koncepti tehnologije Digitalni blizanc

Neke od bitnih karakteristika Digitalnog blizanca su: konektivnost, homogenizacija, mogućnost ponovnog programiranja, digitalni tragovi i modularnost.

1. Konektivnost: Tehnologija omogućava povezivanje fizičke komponente i njenog digitalnog predstavnika. Upravo je osnova DT zasnovana na ovoj vezi, jer bez nje ne bi ni postojala. Na taj način omogućava povezanost između organizacija, proizvoda i kupaca. [9]

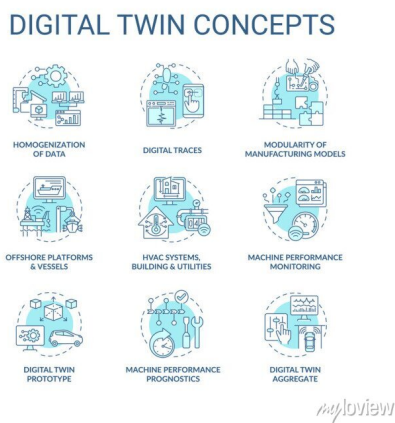
2. Homogenizacija: Predstavlja razdvajanje fizičkog od digitalnog aspekta DT, iako se u poslednje vreme sve više informacija o fizičkim proizvodima čuva digitalno i odvaja od samog proizvoda. Homogenizacija takođe za posledicu razdvajanja informacija ima i konvergiranje korisničkog iskustva. Kako se informacije sa fizičkih objekata digitalizuju, jedan objekat može imati višestruke nove mogućnosti. [16]

3. Mogućnost ponovnog programiranja i pametni aspekt: Postoji mogućnost ponovnog programiranja odnosno izmene trenutne verzije koda pomoću senzora, na automatski način. Kroz senzore na fizičkom

proizvodu i AI tehnologije, javlja se posledica reprogramabilne prirode. Npr. kada je u pitanju motor, DT se može koristiti da se prikupe podaci o performansama motora ili o prilagođavanju i eventualnom ažuriranju motora.[17]

4. Digitalni tragovi: U pitanju je neka vrsta tragova koje koriste inženjeri npr. prilikom kvara mašine kako bi uočili problem i sanirali posledice. Takođe, ove tragove mogu koristiti i u budućnosti kako bi se javljalo što manje grešaka i kako bi svaka naredna verzija DT bila što bolja. [18]

5. Modularnost: U proizvodnoj industriji se podrazumeva pod dizajn i prilagođavanje proizvoda i proizvodnih modula. Time se dobija mogućnost podešavanja modela i mašina. Tehnologija Digitalni blizanac omogućava proizvođačima da prate mašine koje se koriste i uoče moguća područja poboljšanja u mašinama.[19]



Slika 5: Koncepti na kojima se zasniva DT[12]

4 Izazovi

Postaje očiglednije da DT radi paralelno sa tehnologijama veštačke inteligencije (AI) i informacionim tehnologijama (IT) što rezultira zajedničkim izazovima.

Prvi korak u suočavanju sa izazovima je njihovo identifikovanje. Neki od zajedničkih izazova se mogu pronaći u analizi podataka i IoT, a krajnji cilj je identifikovati zajedničke izazove za DT. [5]

Izazovi pri analizi podataka:

- **IT infrastruktura:** Izazov u ovoj oblasti je sveden na visoku cenu instalacije i pokretanje sistema softvera i hardvera. Na primer, troškovi grafičke procesorske jedinice (GPU) visokih performansi mogu koštati i do nekoliko hiljada dolara. Prevazilaženje ovog izazova možemo ostvariti pomoću upotrebe GPU-a kao servisa usluge obezbeđivanja procesorske jedinice na zahtev pomoću tehnologije računarstvo u oblaku. Npr. Amazon, Google i Microsoft pružaju ove usluge. [5]

- **Podaci:** bitno je obezbediti da podaci nisu lošeg kvaliteta, moraju biti sortirani i pouzdani.[5]
- **Privatnost i bezbednost:** Propis je jedan korak koji se može preduzeti da bi se osiguralo da su privatni podaci zaštićeni, dok je drugi metod udruženo učenje. Ono omogućava korisnicima podataka da ostanu lokalizovani bez ikakvog deljenja podataka, otkrivanja privatnosti i problema sa bezbednošću pri analizi podataka korišćenjem DT tehnologije.[5]
- **Poverenje:** S obzirom na to da je veštačka inteligencija poprilično nova tehnologija i da je i dalje u razvoju, postoji opravdana sumnja u njeno funkcionisanje kao i strah da će postati dominantna u današnjem društvu i na taj način zameniti ljudski uticaj. U medijima su uglavnom bili prikazani samo negativni uticaji primene ove tehnologije što je dovelo do smanjenog poverenja kod ljudi. [5]
- **Očekivanja:** Problem je preveliko oslanjanje na veštačku inteligenciju i njenu primenu u svakodnevnim problemima. Tehnologija je i dalje u razvoju i ne može se očekivati da trenutno uštedi novac i vreme njenim korisnicima i to treba imati u vidu prilikom njene primene.[5]

Izazovi u oblasti IoT i u IoT industriji:

- **Podaci, privatnost, bezbednost i poverenje:** Kako je došlo do velikog rasta u upotrebi IoT uređaja bilo u kućnoj ili industrijskoj upotrebi, pojavili su se izazovi prilikom prikupljanja velike količine podataka. Problem nastaje u kontrolisanju protoka podataka i potrebno je obezbediti da oni budu organizovani i efikasno iskorišćeni. U IoT-u potrebno je upravljati velikom količinom podataka, voditi računa da oni budu sortirani i organizovani, što će rezultirati time da veća količina podataka bude iskoristiva i da ima neku vrednost.[5]
- **Infrastruktura:** Unapređivanje stare infrastrukture i integracija sa novim tehnologijama pomaže u rastu IoT-a. Tako unapređena infrastruktura obezbeđuje mogućnost da se iskoriste pogodnosti poslednjih tehnologija i snaga aplikacija i servisa dostupnih na oblaku bez potrebe za obnavljanjem postojećih sistema. Još jedan od izazova u pogledu infrastrukture je povezivanje starih uređaja sa novim IoT okruženjem, što se može rešiti njihovim prilagođavanjem novijim tehnologijama.[5]
- **Povezanost:** Ovaj izazov najčešće nastaje pri nadgledanju sistema u realnom vremenu. Izazovi obično imaju veze sa pokušajem da se konektuje više korisnika istovremeno. Jedan senzor koji nije u potpunosti povezan može drastično da utiče na to da krajnji cilj procesa ne bude ostvaren. Prilagođavanje starijih tehnologija novim je način da se obezbedi da će svi podaci biti prikupljeni. [5]
- **Očekivanja:** Ovaj izazov odnosi se na to da krajnji korisnici ne razumeju u potpunosti šta da očekuju od IoT rešenja i kako da ih koriste na najbolji mogući način. Upotreba ove tehnologije nije moguća bez osnovnog poznavanja tehnologije. Treba obezbediti da se IoT tehnologija koristi na najbolji način, kako bi se iskoristio njen pun potencijal. [5]

Izazovi kod tehnologije Digitalni bliznac:

Neki od izazova se ponavljaju u prethodno navedenim slučajevima kao što su: IT infrastruktura, privatnost i bezbednost, poverenje i očekivanja.

Postoje i novi izazovi svojstveni samo ovoj tehnologiji, a to su:

- **Upotrebljivost podataka:** Konstantan protok podataka bez prekida je neophodan jer u suprotnom može doći do rizika da podaci budu oštećeni ili da neki od podataka nedostaje. [5]
- **Standardizovano modelovanje:** Od samog početka dizajniranja pa sve do simulacije DT mora postojati standardizovan pristup modelovanju. Ovakav pristup obezbeđuje protok informacija između svake od faza razvoja i implementacije DT. [5]

5 Tehnologija u upotrebi i primena

D9 aplikacioni domen (eng. *D9 Application Domain*) se sastoji od tri bitna sloja, prvi sloj je za kreiranje visoko pouzdanih modela fizičkog entiteta. Vizuelizacija i modelovanje su omogućeni pomoću alata poput Simulinka-a i Twin Builder-a. Drugi sloj se specifično koristi kao podrška trećem sloju. Poslednji sloj ovog domena se koristi da bi obezbedio pravilno prikupljanje podataka, a to rade sledeće aplikacije: Predix, Mindsphere i Storm. [5]

D10 domen srednjeg sloja (eng. *D10 Middleware Domain*) se sastoji od dva sloja. Prvi sloj omogućava skladištenje podataka pomoću MongoDB i MySQL servisa i baza podataka koje su neophodne za korišćenje DT. Drugi sloj je u vezi sa procesuiranjem podataka i ključan je za transfer uskladištenih podataka između D10 i D11 domena. [5]

D11 Internet domen (eng. *D11 Networking Domain*) ima dva sloja, prvi je neophodan za obezbeđivanje da prikupljeni podaci komuniciraju između domena. Drugi sloj predstavlja bežični komunikacioni sloj koji je potreban za obezbeđivanje bežičnog protoka podataka sa odgovarajućim protokolom kao i da prenese podatke do sledećeg domena. [5]

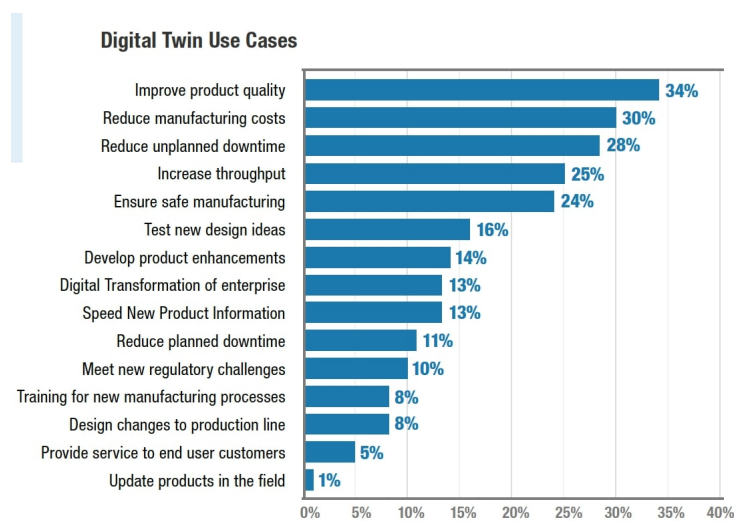
D12 objektni domen (eng. *D12 Object Domain*) takođe ima dva sloja koja su neophodna da obezbede pravi hardver koji će sprovesti analizu Digitalnog blizanca. [5]

6 Socijalno-ekonomski uticaj

DT će doneti automatizaciju bez izuzetka u upravljanju bilo kojom fizičkom imovinom. Jedan od prvih izazova koji može predstavljati prepreku u adaptaciji DT kao i svih drugih tehnologija automatizacije jeste njegovo prihvatanje od strane zaposlenih. Strah od gubitka posla izgledao je vrlo logično nekoliko decenija ranije, međutim čak i u to vreme postojala su i suprotna mišljenja zasnovana na istraživanjima. [6]

Takve studije se fokusiraju na osetljivost radne snage sa nižim kvalifikacijama koja je uključena u rutinske poslove. Postoje i pozitivni aspekti vezani za automatizaciju koji se mogu istaći pažljivom raspodelom zadataka između ljudi i mašina. Tako se može omogućiti veća sigurnost i kreativnost na radnom mestu oslobađanjem dosadnog i sirovog posla koji će preuzeti mašine i veštačka inteligencija. [6]

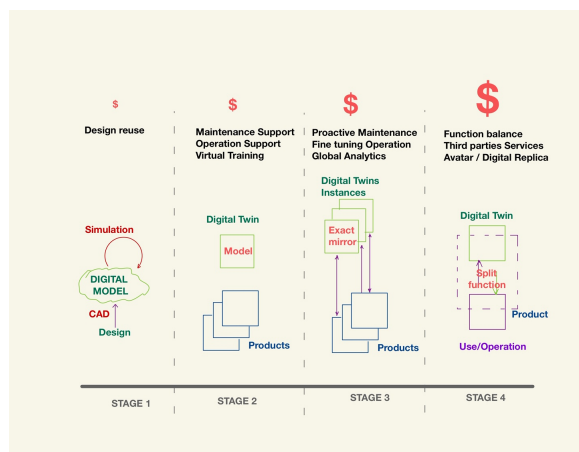
Ljudi bi trebalo da, osim koordinisanja razvoja veštačke inteligencije, vode računa i o proverbi rezultata koji se na nju odnose. Pored nekoliko negativnih uticaja Digitalnog blizanca na socijalno-ekonomski aspekt društva, javljaju se i mnogobrojni pozitivni uticaji koji se mogu videti na sledećoj slici: [6]



Slika 6: Pozitivni uticaji DT tehnologije[13]

Najveći pozitivan uticaj DT je doneo u poboljšanju kvaliteta proizvoda (+34%), smanjenju troškova proizvodnje (+30%), smanjenju uskog grla u proizvodnji (+28%), povećanje propusnosti (+25%) i obezbeđivanje “sigurne” proizvodnje (+24%). [6]

Na sledećoj slici mogu se videti četiri faze u razvijanju Digitalnog blizanca:



Slika 7: Faze razvoja DT[14]

7 Primeri iz prakse

7.1 Razvoj proizvoda

Digitalni blizanci mogu pomoći inženjerima da testiraju izvodljivost nadolazećih proizvoda pre lansiranja. Prema rezultatima ispitivanja, inženjeri počinju proizvoditi ili preusmeravaju fokus na stvaranje krajnjeg proizvoda. [8]

7.2 Prilagođavanje dizajna

Uz pomoć digitalnih blizanaca kompanije mogu dizajnirati razne permutacije proizvoda tako da svojim kupcima u velikoj meri mogu ponuditi personalizovane proizvode i usluge. [8]

7.3 Automobilska i vazduhoplovna industrija

Novi automobili uglavnom se razvijaju u virtuelnom okruženju. Blizanci se koriste u stvaranju virtuelnog modela povezanog vozila. Simuliraju i analiziraju fazu proizvodnje i probleme koji bi se mogli pojaviti kad vozilo izađe na put.[8]

7.4 Razvoj automobilske industrije

Iako se postupci digitalnih blizanaca mogu upotrebiti u tradicionalnoj automobilskoj industriji, digitalni blizanci su zgodni i za autonomne kompanije koje se bave vozilima. Automobili koji samostalno upravljaju sadrže mnogo senzora koji prikupljaju podatke o vozilu i okruženju automobila. Zbog pitanja odgovornosti koja okružuju autonomna vozila, stvaranje digitalnog blizanca automobila i testiranje svih aspekata vozila pomaže kompanijama da se osiguraju od neočekivane štete.[8]

7.5 Zdravstvo

Digitalni blizanci mogu pomoći pružaocima zdravstvenih usluga da virtualizuju zdravstveno iskustvo radi optimizacije, distribucije i troškova. Za zdravstvenu zaštitu slučajevi upotrebe mogu se podeliti u dve grupe:

- poboljšanje učinkovitosti zdravstvenih operacija
- stvaranje digitalnog blizanca bolnice, operativnih strategija, kapaciteta, osoblja i modela distribucije.[8]

7.6 Poboljšanje personalne nege

Pružaoци zdravstvenih usluga i farmaceutske struke takođe se mogu koristiti digitalnim blizancima – za modeliranje koda genoma ili fizioloških karakteristika, tako da zdravstvene ustanove mogu pružiti personalnu negu, poput jedinstvenih lekova za svakog pacijenta. [8]

7.7 Lanac distribucije

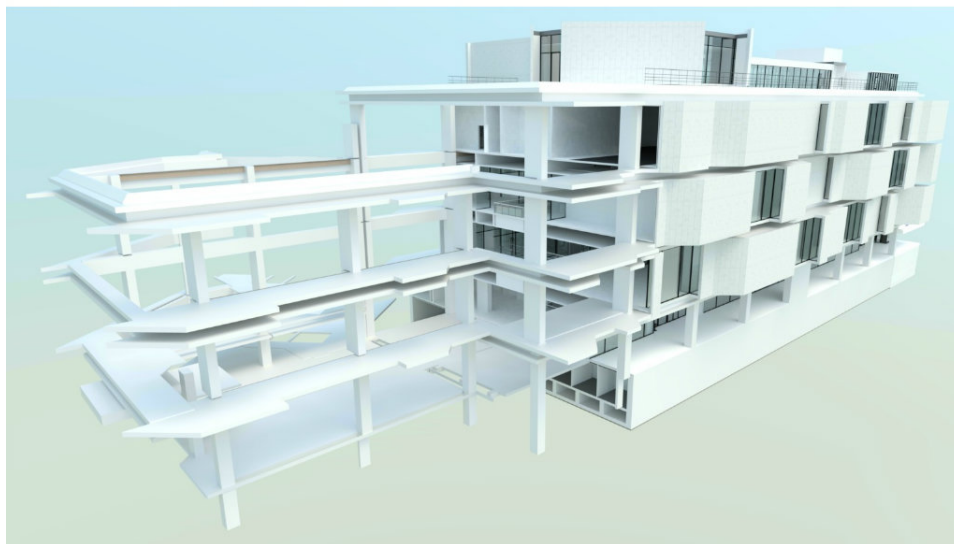
Digitalni blizanci takođe se široko upotrebljavaju u lancu distribucije i logističkoj industriji.[8]

7.8 Primena u Srbiji

Do pojave ove tehnologije u Srbiji je prvi put došlo na leto 2020. godine. Kompanija TeamCAD napravila je prvog digitalnog blizanca u Srbiji - istovetnu kopiju postojećeg ili projektovanog objekta u digitalnom formatu, koja se u građevinskoj industriji koristi za izračunavanje cene održavanja različitih komponenti, sistema, sklopova i objekata, tako što se na njihovim replikama u digitalnom formatu rade različite simulacije pojava i procesa koje bi se dešavale i na postojećim objektima.[9]

Digitalni blizancu napravljen je za tržišni centar SAD NOVI BAZAAR u centru Novog Sada, kojim upravlja Mat-Real Estate. Hronološki gledano, BIM model se može posmatrati kao sam početak generisanja digitalnog blizanca, tj. kao njegova polazna tačka. Međutim, BIM model ne može u potpunosti zadovoljiti zahteve koji se stavljaju pred model digitalnog blizanca, koji mogu biti simulacija životnog ciklusa zgrade, različite vrste simulacije proizvodnog procesa u industriji, simulacija ponašanja zgrade tokom požara, evakuacija ljudi tokom požara, simulacija testova sudaranja u automobilske industriji, kretanje čestica i njihovo ponašanje tokom kretanja itd. [9]

BIM 3D model je preveden iz Autodesk Revit-a sa svim informacijama, dok je ostatak aplikacije programiran u JavaScript programskom jeziku, oslanjajući se na jQuery, Bootstrap, Node, Node Express itd. Uz pomoć ponuđene web-aplikacije, moguće je pristupiti digitalnom blizancu iz bilo kog modernijeg internet pretraživača, a preporuka je da to bude Google Chrome. [9]



Slika 8: Prvi Digitalni blizancu u Srbiji (projekcija) [7]

8 Zaključak

Porast u upotrebi DT tehnologije se primećuje u poslednjih par godina, praćen rastom u broju objavljenih istraživanja i pojačanog investiranja industrijskih lidera u razvoj ove tehnologije. Ono što je zapravo omogućilo ovaj razvoj jeste porast u razvoju veštačke inteligencije. [5]

Najšira oblast primene DT se zapaža u industriji proizvodnje. Upravo ova industrija je najzaslužnija za razvijanje tehnologije putem učešća u istraživanjima i podelom praktičnog znanja. Da bi se ova tehnologija iskoristila u punom potencijalu bitno je savladati prepreke poput manjka standardizacije i netačnog definisanja DT. [5]

Ti standardi mogu varirati od toga kog je formata fajl za čuvanje podataka, do detalja o tome kako se podaci mogu skladištiti, sve do zahteva o zaštiti podataka i razlika u zakonima na tu temu širom sveta. Na kraju i samo društvo igra određenu ulogu u prihvatanju novih tehnologija. Potrebno je da ljudi prepoznaju kada će one doneti značajne promene u našim privatnim i profesionalnim životima. [6]

Literatura

- [1] Fei Tao, Quinglin Qi, Lihui Wang, A.Y.C. Nee. *SDigital Twins and Cyber-Physical System toward Smart Manufacturing and Industry 4.0 : Correlation and Comparison*, 2019
- [2] Arquimedes Canedeo. *Industrial IoT Lifecycle via Digital Twins*, 2016
- [3] Juuso Autiosalo, Jari Vepsalainen, Raine Viitala, Kari Tammi. *A Feature – Based Framework for Structuring Industrial Digital Twins*, 2017
- [4] Christos Koulamas, Athanasios Kalogeras. *Cyber – Physical Systems and Digital Twins in the Industrial Internet of Things*, 2019
- [5] Aidan Fuller, Zhong Fan, Charles Day, Chris Barlow. *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research*, 2020
- [6] Adil Rasheed, Omer San, Trond Kvamsdal. *Digital Twin: Values, Challenges and Enablers from a Modeling Perspective*, 2020
- [7] [Prvi Digitalni blizanac u Srbiji](#)
- [8] [Digitalni blizanci još ne idu po špeceraj, ali olakšavaju poslovanje](#)
- [9] Porter Michael, Heppelman James. *How smart, connected products are transforming companies*, 2015
- [10] [Understanding The Digital Twin](#)
- [11] [What Is Grounded Theory In Accounting Research?](#)
- [12] [Sticker: Digital twin concept icons set](#)
- [13] [Digital Twin Use Cases in Manufacturing](#)
- [14] [The economics of the Digital Transformation](#)
- [15] [Digital Twins an Example](#)
- [16] Tilson David, Lyytinen Kalle, Sørensen Carsten. *Digital Infrastructures: The Missing IS Research Agenda*, 2010
- [17] Hamilton, Dean. *Seeing double: why IoT digital twins will change the face of manufacturing*, 2018
- [18] Cai, Yi. *Sensor Data and Information Fusion to Construct Digital-twins Virtual Machine Tools for Cyber- physical Manufacturing*, 2017
- [19] Rosen, Roland; von Wichert, Georg; Lo, George; Bettenhausen, Kurt D. *About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing*, 2015