

<https://doi.org/10.38190/ope.13.1-2.12>

Pregledni rad

KOMPARATIVNA ANALIZA KORIŠTENJA MODELA DIGITALNOG BLIZANCA U INŽENJERSTVU I EKONOMIJI

mr. sc. **Tomislava Majić**
Sveučilište Sjever
Koprivnica, Trg Žarka Dolinara bb
E-mail: tmajic@unin.hr

dr. **Josip Stjepandić**
PROSTEP AG
Darmstadt, Dolivostraße 11
E-mail: josip.stjepandic@prostep.com

Georg Richter
IP-center
Wien, Schönbrunner Straße 218-220
E-mail: grichter@ipcenter.at

Zvonimir Majić, univ. spec. oec.
Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost
Zagreb, Radnička cesta 80
E-mail: zmajic@fzoeu.hr

SAŽETAK

U radu je prikazan odnos ekonomije i inženjerstva, s obzirom na izgradnju digitalnog blizanca, koji imitira stvaran fizički proizvod / sustav s određenim stupnjem sličnosti karakteristika tijekom različitih faza životnog ciklusa. Odnos između ekonomije i inženjerstva opisan je preko tri paradigme. Cjeloviti komparativni prikaz digitalnih blizanaca u ekonomiji i inženjerstvu dan je kroz osam razlikovnih dimenzija i dva kriterija: karakteristike i ekskluzivnost. Komparativni prikaz upućuje na analogiju digitalnih blizanaca u ekonomiji i inženjerstvu, što objašnjava ulazak inženjera u područje tržišnog dizajna, u skladu s jednom od opisanih paradigmi. Prikazane su koristi korištenja digitalnog blizanca u optimiranju poslovnih procesa za moderne kompanije koje se suočavaju s izazovima na globalnom tržištu i rastućoj složenosti okruženja. Digitalni blizanac, koji raspolaže podacima u stvarnom vremenu, omogućava pravovremeno dijeljenje informacija o resursima, opskrbnom lancu, proizvodima, procesima, odnosu s kupcima, te preveniranje neuspjeha i minimiranje rizika zahvaljujući simulacijama koje može provesti. Objavljen je način izgradnje digitalnog blizanca.

Ključne riječi: digitalni blizanac; poslovni procesi; inženjerstvo

1. UVOD

Koncept digitalnih blizanaca podrazumijeva stvaranje virtualnog surugata (dvojnika) proizvodu ili sustavu tijekom trajanja životnog ciklusa. Stvarni proizvod ili sustav moguće je pratiti preko digitalnog blizanca, prikupljanjem i obradom podataka u stvarnom vremenu, te na taj način anticipirati potencijalne probleme, prevenirati nepoželjne ishode, ublažiti ih ili rješavati problem. Ako se radi o reguliranom sustavu (npr. industrijska proizvodnja), onda se uz pomoć digitalno blizanca on može upravljati u optimalnom području djelovanja.

Praizvedba digitalnog blizanca bila je analogna hidraulička naprava koju je 1949. godine konstruirao novozelandski ekonomist Bill Phillips, pod nazivom „Monetary National Income Analogue Computer“, skraćeno MONIAC¹, kako bi simulirao procese u nacionalnom gospodarstvu Velike Britanije. Naprava dimenzija 2m x 1,2 m x 1 m, mogla se kalibrirati na točnost od 2%, što je iznenadilo samog Phillipsa. Prialtili su je sveučilišta i velike tvrtke. (Willige, 2022).

U usporedbi s tradicionalnim metodama simulacije i analize privlačnost digitalnog blizanca za industriju počiva upravo na sposobnosti integracije velikih količina stvarnih podataka i njihovo kombiniranje s naprednim metodama obrade poput interneta stvari i umjetne inteligencije (Majić et al., 2022).

Značajnu ulogu u budućnosti poslovnih ekosustava odigrat će njihovo proširenje pomoću digitalnih blizanaca, osobito u području automobilske industrije. Proizvođači originalne opreme u automobilskoj industriji, uslijed stalnog pritiska inovacija, eksternaliziraju proizvodnju pojedinih komponenti, a dotični opskrbeni lanac karakterizira nužda stalne koordinacije i upravljanje intenzivnim protokom materijala, proizvoda i informacija. Međuovisnosti između aktera i proizvoda u ekosustavu dovode do uskih grla, koji mogu umanjiti izvedbe ekosustava (Majić et al., 2022).

Digitalni bliznac je postao osobito interesantan kao poveznica metodološki različitih sektora (npr. inženjerstva i ekonomije), jer je, u odnosu na tradicionalne simulacije, riječ o preuzimanju podataka u stvarnom vremenu te o digitalnom prikazu stvarnih specifičnih karakteristika proizvoda / sustava tijekom različitih faza životnog ciklusa. (Stark et al. 2019), (Trauer et al., 2022).

Ekonomija i inženjerstvo su iznimno povezane znanosti. S jedne strane, inženjerstvo se odvija u poslovnom kontekstu, koji podliježe ekonomskim zakonima (efekt dodane vrijednosti, ekonomija razmjera, oportunitetni troškovi, krivulja učenja), a s druge strane su inženjerski proizvodi jedan od važnijih pokretača gospodarstva, jer visoke tehnologije rezultiraju visokim dodanim vrijednostima.

Kako se tehnički proizvod može podijeliti na module, kako bi se pojednostavnilo pojedine procese u razvoju proizvoda, njegovoj proizvodnji, isporuci i obradi povratnih informacija od kupaca, u postprodajnom razdoblju (reklamacija, servisiranje), slično se može razgraditi i poslovni model, kako bi se iscrpile prednosti ekonomije razmjera, intenzivnije uporabe resursa i troškovne uštede u opskrbenom lancu kroz bolju koordinaciju, uštedu na resursima i eksternalizaciju.

¹ također poznat kao „Phillips Hydraulic Computer“ i „Finacephalograph“

Ekonomija, kako društvena znanost, svojim metodologijama dokazuje (ili opovrgava) zakonitosti koje isporučuje u obliku modela kao svoj rezultat. Inženjerstvo, koje je orijentirano rješavanju problema u praksi, ne oslanja se samo na zakonitosti prirodnih znanosti, nego i ekonomskih.

Iako je koncept digitalnog blizanca izvorno primijenjen u proizvodnji, s ciljem poboljšanja konkurentnosti poduzeća suočenog s nestabilnom potražnjom, manjim serijama i nestabilnim cijenama inputa, proširen je na različita područja, kao što su medicina i ekonomija. Stoga je cilj za ovaj rad istražiti sličnosti i razlike digitalnog blizanca u inženjerstvu i ekonomiji u obliku usporednog prikaza na temelju preciznih i jednoznačnih kriterija. U tu svrhu izabrana je kao metodološka podloga jedna od taksonomija koja se često koristi u istraživanju digitalnog blizanca u inženjerstvu na temelju visoke razine apstrakcije (Van der Walk et al., 2020).

U drugom dijelu dana je teorijska pozadina kroz pregled literature, u trećem dijelu su prikazane usporedne karakteristike digitalnih blizanaca u ekonomiji i inženjerstvu prema osam dimenzija, nakon čega slijedi rasprava i zaključak.

2. TEORIJSKA POZADINA

Mariotti (2021) pronalazi tri paradigme za opis odnosa inženjerstva i ekonomije tijekom zadnjeg stoljeća: 1. ekonomija „za“ inženjerstvo, 2. ekonomija „kao“ inženjerstvo, i, 3. ekonomija „i“ inženjerstvo.

Paradigma ekonomije „za“ inženjerstvo podrazumijeva ekonomiju kao prateću djelatnost, kojoj je svrha razvoj ekonomskih alata za troškovne uštede, budžetiranje kapitala i cost-benefit analizu. Zajednički digitalni blizanac simulacija je, dakle, ekonomskih odnosa.

Paradigma ekonomije „kao“ inženjerstvo podrazumijeva usvajanje inženjerskog pristupa od strane ekonomije, razvijajući tržišne modele, poput teorije igara. (Cherrier & Saidi, 2020), (Klein, 2020). Ovdje ekonomska znanja poprimaju izrazito praktičnu orijentaciju, pa su tako inženjeri ušli u područje ekonomskog dizajna povezanih industrija (Jenle, Pallesen, 2017). Digitalni blizanac ekonomije počiva ne inženjerskim metodologijama i principima.

Paradigme ekonomije „i“ inženjerstva podrazumijeva interakciju i suradnju ovih dvaju područja, poštujući međusobne različitosti, kao krajni cilj nalaženja dodirnih točaka, kao što je to upravljanje rizikom (Riascos et al., 2019). Prema ovakvom shvaćanju, potrebno je izgraditi dva digitalno blizanca, te ih potom više ili manje labavo spojiti.

Digitalni blizanac ekonomije je platforma koja omogućava praćenje razvoja i procjena makroekonomskih politika, a obuhvaća izgradnju ekonomskog modela koji imitira stvarni ekonomskih kontekst te potom dinamičko simuliranje različitih scenarija. Svrha ovog alata jest donošenje preporuka za političke odluke, interdisciplinarno prelijevanje znanja, te poticaj lakšoj transformaciji u ekonomski i ekološki održivije gospodarstvo, kao i socijalno pravednije društvo.

Model društvene ekonomske dinamike (SED) moguće je iskoristiti za formiranje digitalnog blizanca ekonomije, a potom ga integrirati u koncept metaverzuma za izgradnju virtualnog svijeta (fizika, ekonomija, kultura, politika) koji koegzistira sa stvarnošću (Wang et al., 2022). Izgradnja modela digitalnih blizanaca distribucijskih centara predviđa se na sličan način (Rostislavovna Schislyeva, 2021).

Osobita prednost digitalnih blizanaca, u kombinaciji s umjetnom inteligencijom i teorijom upravljanja, jest mogućnost eksperimentiranja bez rizika, dakle učenja, bez iskustva pogrešaka u stvarnom svijetu (Barat, 2022).

Digitalni bliznac koji predstavlja cijelu zemlju već je napravljen u Singapuru, a gradi se i u Luksemburgu i Novom Zelandu (Jurgens, 2022).

3. USPOREDNI PRIKAZ DIGITALNIH BLIZANACA U EKONOMIJI I INŽENJERSTVU

Cjeloviti komparativni prikaz digitalnih blizanaca u ekonomiji i inženjerstvu dan je kroz osam razlikovnih dimenzija i dva kriterija: karakteristike i ekskluzivnost (Van der Walk et al., 2020), kako prikazuje tablica 1. Ovako prikazane dimenzije prikladne su za digitalne blizance u inženjerstvu, no za digitalne blizance za ekonomiju bit će potrebna proširenja.

Tablica 1. Taksonomija digitalnih blizanaca izvedena prema van der Walku

dimenzija	karakteristike			ekskluzivnost
podatkovna veza	jednosmjerna		dvosmjerna	isključivo
namjena	obrada	prijenos	repozitorij	nema
konceptualni elementi	fizički neovisni		fizički povezani	isključivo
preciznost modela	identični		djelomična	isključivo
sučelje	M2M		HMI	nema
sinkronizacija	da		ne	isključivo
unos podataka	sirovi podaci		obrađeni podaci	nema
vrijeme kreiranja	fizički dio prvo	digitalni dio prvo	simultano	isključivo

Izvor: Van der Walk et al., 2020

Podatkovna veza odnosi se na način komunikacije između fizičkog i digitalnog blizanca: jednosmjerna ili dvosmjerna.

Namjena digitalnog blizanca očituje se u načinu rukovanja podacima: obrada podataka, prijenos podataka s jedne točke (fizički dio) na drugu (skladište podataka) ili repozitorij podataka, što nije međusobno isključivo.

Konceptualni elementi opisuju stupanj integracije digitalnog i fizičkog blizanca: digitalni bliznac može biti izravno povezan sa svojim fizičkim blizancem u omjeru jedan prema jedan ili je neovisan.

Preciznost modela pokazuje jesu li digitalni i fizički blizanci s identični ili je digitalni bliznac obuhvatio samo ključne dijelove fizičkog objekta. Ova je dimenzija osobito važna kod proračuna u ekonomiji i inženjerstvu.

Sučelje može biti čovjek-stroj, stroj-stroj ili oboje. Ova dimenzija je manje relevantna za ekonomiju.

Dimenzija sinkronizacija odražava stupanj implementacije digitalnog blizanca odnosno stupanj radne sinkronizacije između digitalnog i fizičkog blizanca ažuriranjem podataka u stvarnom vremenu tijekom njegovog životnog ciklusa.

Dimenzija unosa podataka razlikuje unos sirovih podataka prikupljenih izravno sa senzora ili opažaja i prethodno obrađenih podataka.

Vrijeme stvaranja opisuje kronološki redoslijed po kojem nastaju odgovarajući dijelovi digitalnog blizanca: prvo fizički objekt, prvo digitalni blizanc ili se oba blizanca stvaraju i razvijaju istovremeno. U inženjerstvu se digitalni blizanci uglavnom stvaraju nakon fizičkog dijela; u makroekonomiji se digitalni blizanc isključivo stvara za već postojeći sustav iz stvarnog svijeta.

Komparativni prikaz upućuje na analogiju digitalnih blizanaca u ekonomiji i inženjerstvu, što objašnjava ulazak inženjera u područje tržišnog dizajna, u skladu s ranije navedenom paradigmom 2, ekonomije „kao“ inženjerstvo.

Navedeno ne upućuje samo na mogućnost izgradnje slične arhitekture u oba područja, primjerice, digitalnog blizanca proizvoda (inženjerstvo) i digitalnog blizanca poslovne jedinice (ekonomija), nego i na njihovu kombinaciju, primjerice, izgradnju digitalnog blizanca tvornice. Na ovaj način, ekonomija dolazi do izražaja ne samo kao znanost koja interpretira ekonomske pojave kroz zakonitosti, nego kao disciplina koja stvara i gradi sustave koji praktično rade.

4. RASPRAVA

Digitalni blizanci, koji se već primjenjuju u raznim industrijama, pokazali su se kao izvrstan alat koji ažurnim dijeljenjem informacija o resursima i proizvodima tijekom cijelog životnog ciklusa ubrzava poslovne procese u analitici, donošenju odluka, predviđanjima i preporukama.

U kompleksnom sustavu u kojem se odvija poslovanje (rastuća složenost proizvoda, proširenje opskrbnog lanca i potražnje), korištenje digitalnog blizanca omogućava upravljanje rizicima i održavanje visoke razine kvalitete. Unutar ekosustava omogućava širenje vanjske mreže dobavljača i partnera. Na konkurentnom globalnom tržišta omogućava opsluživanje na lokalnoj razini prilagođavajući se specifičnim zahtjevima, a u odnosu na kupce bližu suradnju i povratnu informaciju.

Digitalni blizanc je sposoban obraditi i koristiti velike količine strukturiranih i nestrukturiranih podataka iz interneta stvari, lanaca opskrbe i različitih proizvodnih pogona. Proizvode i imovinu je moguće pratiti tijekom cijelom životnog ciklusa.

Digitalni blizanci prema okolini, uključujući i regulatorna tijela, pružaju sigurnost, pouzdanost i dostupnost i omogućavaju transfer znanja za sve interesno-utjecajne dionike: digitalni blizanc pruža javnosti mogućnost razumijevanja kako neki entitet izgleda u svom digitalnom formatu.

Osim što digitalni blizanci koriste podatke iz stvarnog vremena, i po tome vjerodostojno prikazuju stvarno stanje, digitalni blizanci mogu, za potrebe eksperimentiranja odnosno stjecanja novih znanja, integrirati stvarne podatke sa simuliranim. Tako će korisnicima omogućiti dublje razumijevanje procesa. Također, digitalni blizanci omogućavaju sažete,

intuitivne i user-friendly platforme kao što su mobilne aplikacije i front-end softver, čime će se njihova uporaba proširivati (Bevilacqua et al., 2022).

Digitalni blizanac se na početku modelira putem statičkih podataka o fizičkom proizvodu / sustavu koji reprezentira: zahtjevi, ograničenja, funkcije i podfunkcije, prijenos podataka, komunikacija, arhitektura itd., a potom nastupa interakcija s fizičkom objektom u svrhu optimizacije.

U literaturi postoje dva načelna pristupa interakciji fizičkog i digitalnog blizanca (Adamenko et al., 2020): pristup temeljen na podacima i pristup temeljen na sustavu, ovisno o tome što se želi postići s digitalnim blizancem.

Pristup temeljen na podacima strukturira podatke prema određenim kriterijima. Podaci se analiziraju uz pomoć algoritama i funkcija u kombinaciji sa strojnim učenjem, a korisnik mora raspolagati front-end aplikacijama. Pristup koji se temelji na sustavu koristi model koji treba što bolje održavati fizički objekt omogućavajući tako simulaciju. Simulacije koriste za prevenciju neuspjeha ili kvarova koji bi se mogli dogoditi u budućnosti.

5. ZAKLJUČAK

Model digitalnog blizanca unaprijedio je i ubrzao poslovne procese u mnogim industrijama, omogućivši suvremenom poslovanju pravovremeno odgovaranje na poslovne izazove u stalno rastućoj kompleksnosti globalnog okruženja. Osobite su koristi u dijelu planiranja, održavanja, korištenju resursa i komunikaciji s opskrbnim lancem, te u efikasnom djelovanju poslovnih ekosustava. Istraživanje i razvoj u ovom području su u stalnom porastu, no primjena tehnologije digitalnog blizanca još uvijek nije dovoljno zastupljena.

U ovom je radu dan usporedni prikaz karakteristika digitalnih blizanaca u ekonomiju i inženjstvu, kao i digitalnog blizanca koja predstavlja kombinaciju oba područja i koji pruža prostor napretka modernim kompanijama u suočavanju s poslovnim izazovima globalnog tržišta.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF THE DIGITAL TWIN MODEL IN ENGINEERING AND ECONOMY

Tomislava Majić

University North

Croatia, Koprivnica, Trg Žarka Dolinara bb

E-mail: tmajic@unin.hr

Josip Stjepandić

Prostep AG

Germany, Dortmund, Dolivostraße 11

E-mail: josip.stjepandic@prostep.com

Georg Richter

IP-center

Wien, Austria, Schönbrunner Straße 218-220

E-mail: grichter@ipcenter.at

Zvonimir Majić

The Environmental Protection and Energy Efficiency Fund

Croatia, Zagreb, Radnička cesta 80

E-mail: zmajic@fzoeu.hr

ABSTRACT

The paper presents the relationship between economics and engineering, with regard to the construction of a digital twin, which imitates a real physical product / system with a certain degree of similarity of characteristics during different phases of the life cycle. The relationship between economics and engineering is described through three paradigms. A complete comparative view of digital twins in economics and engineering is given through eight distinguishing dimensions and two criteria: characteristics and exclusivity. The comparative view points to the analogy of digital twins in economics and engineering, which explains the entry of engineers into the field of market design, in accordance with one of the described paradigms. The benefits of using a digital twin in the optimization of business processes for modern companies facing challenges in the global market and the growing complexity of the environment are presented. A digital twin, with real-time data, enables timely sharing of information about resources, supply chain, products, processes, customer relationships, and failure prevention and risk minimization through actionable simulations. The method of building a digital twin is explained.

Keywords: digital twin; business processes; engineering

LITERATURA

1. Adamenko, D., Kunnen, S., Pluhnau, R., Loibl, A., Nagarajah, A. (2020), "Review and comparison of the methods of designing the Digital Twin", *Procedia CIRP*, Vol. 91, pp. 27–32, DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.146.
2. Barat, S., Kulkarni, V., Clark, T. and Barn, B. (2022), Digital twin as risk-free experimentation aid for techno-socio-economic systems. In: *Proceedings of the 25th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS '22)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 66–75. <https://doi.org/10.1145/3550355.3552409>
3. Bevilacqua, M, Bottani, E., Ciarapica, F.E., Costantino, F., Di Donato, L., Ferraro, A., Mazzuto, G., Monteriù, A., Nardini, G., Ortenzi, M., Paroncini, M., Pirozzi, M., Prist, M., Quatrini, E., Tronci, M., Vignali, G. (2020), "Digital Twin Reference Model Development to Prevent Operators' Risk in Process Plants". *Sustainability*, 12, 1088. <https://doi.org/10.3390/su12031088>.
4. Cherrier, B., & Saidi, A. (2020). "A century of economics and engineering at Stanford", *History of Political Economy*, 52(S1), 85–111. <https://doi.org/10.1215/00182702-8717936>.
5. Hartman, J.C. (2011), "Research trends in engineering economy", *The Engineering Economist*, 56(3), 183–192. <https://doi.org/10.1080/0013791X.2011.598429>.
6. Jenle, R. P., & Pallesen, T. (2017), "How engineers make markets organizing electricity system decarbonization", *Revue française de sociologie*, 58(3), 375–397. <https://doi.org/10.3917/rfs.583.0375>.
7. Jurgens, D. (2022), "Creating a country-wide digital twin", WSP, <https://www.wsp.com/en-nz/insights/creating-a-country-wide-digital-twin>, accessed Nov 30, 2022.
8. Klein, J.L. (2020), "Shotgun weddings in control engineering and postwar economics", 1940–72. *History of Political Economy*, 52(S1), 115-142. <https://doi.org/10.1215/00182702-8717948>.
9. Majić, T., Richter, G., Stjepandić, J., „Proširenje digitalnog poslovnog sustava pomoću digitalnih blizanaca“, In: *Zbornik radova 5. simpozija Veleučilišta Hrvatsko zagorje Krapina*, Krapina, 22. i 23. travnja 2022. / Hercigonja-Szekeres, Mira; Sikirica, Nenad (ur.). Krapina: Veleučilište Hrvatsko zagorja Krapina, Medicinska naklada, 2022., ISBN 978-953-57602-5-2
10. Majić, T., Richter, G., Stjepandić, J., „Proširenje digitalnog poslovnog sustava pomoću digitalnih blizanaca“, In: *Zbornik radova 5. simpozija Veleučilišta Hrvatsko zagorje Krapina*, Krapina, 22. i 23. travnja 2022. / Hercigonja-Szekeres, Mira; Sikirica, Nenad (ur.). Krapina: Veleučilište Hrvatsko zagorja Krapina, Medicinska naklada, 2022. ISBN 978-953-57602-5-2
11. Mangers, J., Elahi M.A., Plapper, P. (2023), "Digital twin of end-of-life process-chains for a circular economy adapted product design – A case study on PET bottles", *Journal of Cleaner Production*, Volume 382, 2023, 135287, DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135287.
12. Mariotti, S. (2022), "Institutionalizing a Pluralistic Alliance between Economics and Engineering", *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, 33(4), 341–355, DOI: 10.5755/j01.ee.33.4.31806.
13. Riascos, R., Majić, T., Ostrosi, E., Stjepandić, J. (2019) "Modular approach to technical risk management in product lifecycle management", *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 10, pp. 380-389, DOI: 10.3233/ATDE190144.
14. Riascos, R., Majić, T., Ostrosi, E., Sagot, J.-C., Stjepandić, J. (2022) "Integrated Multilayer Architecture with Multi Interface Entity Model for Risk Management in Modular Product Design", *Procedia CIRP*, 109, pp. 647-652, DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.308.

15. Rostislavovna Schislyaeva, E., Alexandrovich Kovalenko, E. (2021), "Developing Distribution Digital Twin on The Basis of the Economic and Mathematical Modeling", *Academy of Strategic Management Journal*, Vol: 20, Issue: 6S, <https://www.abacademies.org/articles/developing-distribution-digital-twin-on-the-basis-of-the-economic-and-mathematical-modeling-11569.html>.
16. Schweigert-Recksiek, S., Trauer, J., Engel, C., Spreitzer, K. and Zimmermann, M. (2020), "Conception of a Digital Twin in Mechanical Engineering – A Case Study in Technical Product Development", *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE – DESIGN 2020*, pp. 383-392, DOI: 10.1017/dsd.2020.23.
17. Stark, R., Damerau, T. (2019), „Digital Twin“. In: The International Academy for Production Engineering. In: Chatti S, Laperrière L, Reinhart G, Tolio T (Hrsg.): *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. second edition, Springer, Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-642-35950-7_16870-1.
18. Stürmlinger, T., Jost, D., Mandel, C., Behrendt, M., Albers, A. (2020) "Impact and risk analysis in the integrated development of product and production system", *Procedia CIRP*, Vol. 91, pp. 627-633, DOI: 10.1016/j.procir.2020.02.221.
19. Trauer, J., Schweigert-Recksiek, S., Schenk, T., Baudisch, T., Mörtl, M., & Zimmermann, M. (2022). "A Digital Twin Trust Framework for Industrial Application. *Proceedings of the Design Society*", 2, 293-302. doi:10.1017/pds.2022.31.
20. van der Valk, H., Haße, H., Möller, F., Arbter, M., Henning, J.L., Otto, B. (2020), "A Taxonomy of Digital Twins", in: Anderson, B., Thatcher, J., and Meservy, R. (Hrsg.), *Proc. 26th Americas Conference on Information Systems*, pp. 1-10.
21. Willige A. (2022) "Digital twins: What are they and why do they matter? ", World Economic Forum, May, 24 2022, URL: <https://www.weforum.org/agenda/2022/05/digital-twin-technology-virtual-model-tech-for-good/>, accessed Nov, 20 2022.
22. Willumsen, P., Oehmen, J., Rossi, M. (2019), "Designing Risk Management: Applying Value Stream Mapping to Risk Management", *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*, 1(1), 2229-2238. doi:10.1017/dsi.2019.229.