

BIBLIOMETRIČNA ANALIZA IN RAZVOJ MODELA UPORABNOSTI DIGITALNEGA DVOJČKA V VSEH FAZAH ŽIVLJENJSKEGA CIKLA PREMOŽENJA

ŽIGA DEBELJAK, MATJAŽ MALETIČ, DAMJAN MALETIČ

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kranj, Slovenija
ziga.debeljak@student.um.si, matjaz.maletic@um.si, damjan.maletic@um.si

V sodobnem poslovnem okolju je učinkovito obvladovanje premoženja ključno za ustvarjanje vrednosti v organizacijah. Soočamo se z vprašanji, kot so, kaj pomeni imeti DT za fizično premoženje/sredstvo? Kakšna je vloga DT na področju obvladovanja premoženja/sredstev (Errandonea idr., 2020)? Cilj pričujočega poglavja je izdelati celovit pregled trenutne uporabnosti digitalnega dvojčka (DT) v vseh fazah življenjskega cikla premoženja. Poglavje obravnava problematiko s sistematičnim pregledom literature, identificiranjem ključnih ugotovitev ter analizo vloge DT pri obvladovanju premoženja. Metodologija reševanja vključuje temeljito raziskavo obstoječih objavljenih del (v zbirki Scopus) o DT, nato pa sintezo pridobljenih podatkov za razumevanje vloge DT pri obvladovanju premoženja. Rezultati bodo služili kot osnova za pripravo analitičnih ugotovitev, ki bodo organizaciji omogočile ustvarjanje vrednosti iz premoženja na osnovi digitalnega dvojčka.

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fov.1.2025.3](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.3)

ISBN
978-961-286-947-2

Ključne besede:
obvladovanje premoženja,
digitalni dvojček,
vzdrževanje,
življenjski cikel
premoženja,
optimizacija



Univerzitetna založba
Univerze v Mariboru

DOI
[https://doi.org/
10.18690/um.fov.1.2025.3](https://doi.org/10.18690/um.fov.1.2025.3)

ISBN
978-961-286-947-2

Keywords:
physical asset management,
digital twin,
maintenance,
asset lifecycle,
optimization

BIBLIOMETRIC ANALYSIS AND MODEL DEVELOPMENT OF THE DIGITAL TWIN APPLICABILITY AT ALL STAGES OF THE ASSET LIFECYCLE

ŽIGA DEBELJAK, MATJAŽ MALETIČ, DAMJAN MALETIČ

University of Maribor, Faculty of Organizational Sciences, Kranj, Slovenia
ziga.debeljak@student.um.si, matjaz.maletic@um.si, damjan.maletic@um.si

In today's business environment, effective asset management is crucial for creating value in organizations. We face questions such as what it means to have a Digital Twin (DT) for physical assets? What is the role of DT in asset management (Errandonea idr., 2020)? The objective of the chapter is to provide a comprehensive overview of the current applicability of the digital twin (DT) in all phases of the asset lifecycle. The chapter contributes to the discussion of this issue by systematically reviewing literature, identifying key findings, and analyzing the role of DT in asset management. The methodology for solving includes thorough research of existing scientific and professional sources on DT, followed by synthesizing the obtained data to understand the role of DT in asset management. The results serve as a basis for preparing analytical findings, enabling the organization to create value from digital twin-based assets.



1 Uvod

Učinkovito obvladovanje premoženja je ključna aktivnost, ki organizacijam omogoča ustvarjanje vrednosti. Premoženje, bodisi v obliki objekta, stvari ali subjekta, predstavlja potencialno ali dejansko vrednost za organizacijo (Maletič in Maletič, 2023). Cilj obvladovanja premoženja je generiranje vrednosti iz tega premoženja, pri čemer lahko vplivamo na uspešnost in učinkovitost organizacije.

Tradicionalni pristopi k vzdrževanju fizičnih sredstev pogosto ne zajemajo celotnega življenjskega cikla, kar omejuje razumevanje na fazo delovanja (Liyanaage in Badurdeen, 2009). Pogosto se organizacije osredotočajo le na posamezne segmente vzdrževalnih procesov, kar otežuje celostno upravljanje (Pacaiova idr., 2012). Glede na to, da stroški vzdrževanja predstavljajo pomemben delež stroškov proizvodnje, je ključno obravnavati to področje celostno.

Obvladovanje premoženja postaja še bolj ključno v kontekstu globalizacije, konkurenčnega pritiska in ciljev zmanjševanja stroškov ter izboljšanja kakovosti (Liyanaage in Badurdeen, 2009). Proizvodna podjetja so pod pritiskom za zmanjšanje stroškov, kjer stroški vzdrževanja predstavljajo od 15 do 40 odstotkov stroškov proizvodnje (Dunn, 1987). Obvladovanje premoženja lahko pomembno vpliva na finančno uspešnost organizacije, saj prinaša koristi v zmanjšanju stroškov, izboljšanju operativne učinkovitosti, obvladovanju investicij, tveganj ter celotnega življenjskega cikla fizičnih sredstev (Waeyenbergh in Pintelon, 2002).

Spremembe v zadovoljstvu kupcev, družbeni odgovornosti, pridobivanju tržnega deleža in konkurenčnosti postajajo očitne skozi zagotavljanje kakovostnih izdelkov po konkurenčnih cenah. Obvladovanje premoženja zajema aktivnosti skozi celoten življenjski cikel, vključno s planiranjem in končno odstranitvijo fizičnih sredstev iz proizvodnje (Amadi-Echendu, 2004). Razumevanje različnih faz življenjskega cikla je ključno za obvladovanje premoženja, saj je cilj ustvarjanje vrednosti skozi celoten cikel (Schuman in Brent, 2005; Maletič, 2015; Maletič idr., 2017; Maletič idr., 2023; Almeida idr., 2022).

Osnovna načela za ustrezno podporo odločanju v sistemu obvladovanja premoženja vključujejo usmerjenost k celotnemu življenjskemu ciklu, sistemsko usmerjenost, usmerjenost k tveganjem ter usmerjenost k sredstvom (Roda in Macchi, 2016). Ta

načela omogočajo dolgoročno usmerjanje odločanja, celovit pristop k sistemom obvladovanja premoženja, upoštevanje tveganj ter poudarek na podatkih za premišljene poslovne odločitve.

Skupno gledano je obvladovanje premoženja ključna dejavnost za organizacije, ki želijo uspešno ustvarjati vrednost iz svojega premoženja. S tem se lahko odzivajo na izzive globalizacije, konkurence ter pritiskov za zmanjšanje stroškov, obenem pa optimizirajo dobičkonosnost in operativno učinkovitost (Maletič idr., 2020).

Kljub temu pa se postavlja nekaj vprašanj: Kaj dejansko pomeni imeti DT za fizično premoženje/sredstvo? Kakšna je vloga DT na področju obvladovanja premoženja/sredstev? Različne industrije že leta uporabljajo paradigmo DT, da bi zmanjšale tveganja, ugotovljena pri sredstvih, ter izboljšale sledljivost, vzdrževanje in analitično izboljšanje njihovega življenjskega cikla (Errandonea idr., 2020).

Digitalni dvojčki so pridobili pozornost v številnih industrijah zaradi svoje sposobnosti ustvarjanja natančnih virtualnih reprezentacij predmetov in simulacije operativnih procesov. V letu 2019 je raziskava napovedala, da bo do leta 2020 kar 75% organizacij uporabljalo digitalne dvojčke v povezavi z Internetom stvari (IoT). Nadaljnja napoved za leto 2027 kaže, da bo več kot 40% velikih podjetij vključevalo digitalne dvojčke v svoje projekte za povečanje prihodkov (Gartner, 2019). Po ocenah Global Market Insight naj bi se tržna velikost digitalnih dvojčkov do leta 2032 povečala po letni stopnji rasti približno za 25%. V skladu s poročilom globalnega tehnološkega raziskovanja naj bi se trg digitalnih dvojčkov skoraj podvojil od leta 2021 do 2026 in dosegel stopnjo skoraj 32 milijard dolarjev. Tudi izvršni direktorji v različnih industrijah načrtujejo, da bodo do leta 2028 vključili digitalne dvojčke v svoje operacije (Global Market Insight, 2022).

Pričakuje se, da se bodo digitalni dvojčki še naprej povezovali z drugimi tehnologijami, kot so govor, obogatena resničnost, Internet stvari (IoT) in umetna inteligenca (AI). Kot rezultat so digitalni dvojčki postali ključni tehnološki trend, Gartner pa napoveduje, da jih bo do leta 2021 uporabljala polovica velikih industrijskih podjetij v ključnih poslovnih aplikacijah. Trg digitalnih dvojčkov kaže izjemno rast, saj podjetja v proizvodnji iščejo načine za zmanjšanje stroškov in izboljšanje operacij dobavne verige. Glede na napovedi naj bi trg dosegel vrednost

73,5 milijarde dolarjev do leta 2027, s srednjo letno stopnjo rasti (CAGR) več kot 60 odstotkov.

Digitalni dvojčki predstavljajo vrhunsko tehnologijo, ki omogoča odsevanje praktično vsakega vidika izdelka, procesa ali storitve v digitalnem prostoru. Njihov potencial omogoča podjetjem hitro zaznavanje in reševanje fizičnih težav ter ustvarjanje boljših izdelkov. Te tehnologije tudi omogočajo izboljšanje poslovnih procesov in uspešnost podjetij. Kljub temu, da koncept digitalnih dvojčkov ni nov, se je v zadnjih letih hitro razvil in postal del realnosti. Digitalne tehnologije bodo tako olajšale razvoj praks na področju vzdrževanja in širše obvladovanja premoženja. Managerji morajo poznati premoženja, ki jih upravljajo, da bi izboljšali organizacijsko znanje in odločanje ter povečali vrednost, ki jo ustvarja portfelj premoženja. Zato je obvladovanje premoženja aktivnost, ki zahteva veliko podatkov, managerji pa potrebujejo orodja in postopke za učinkovito zbiranje, združevanje, obvladovanje, analiziranje in uporabo teh podatkov. V zvezi s temi pristopi, ki temeljijo na Industriji 4.0, kot je DT, prispevajo k odločanju o obvladovanju premoženja in ustvarjanju vrednosti (Vieira idr., 2022). Vsled navedenega bi izpostavili uporabnost DT v vseh fazah življenjskega cikla (t.j. od načrtovanja, pridobitve obratovanja, vzdrževanja, do končne odstranitve). Pa vendar trenutna stopnja uporabe še ne dosega zahtevane ravni Industrije 4.0 (Maletič in Maletič, 2024; Maletič, Grabowska in Maletič, 2023). Pričujoče poglavje se osredotoča na celovit pregled literature s področja DT v povezavi z obvladovanjem premoženja.

2 Teoretično ozadje

2.1 Sistem obvladovanja premoženja

Organizacije, ki so uvedle sisteme v skladu s zahtevami, kot so ISO 9001 ali ISO 14001, bodo opazile, da ima ISO 55001 zelo podobno strukturo. Vse standarde ISO za sisteme obvladovanja odlikuje skupna struktura visoke ravni in temeljijo na modelu planiraj-izvajaj-preverjaj-ukrepaj. To pomeni, da vsi ti standardi obravnavajo enake teme, v našem primeru s poudarkom na obvladovanju sredstev. Med teme spadajo (ISO 55001, 2014):

- **Kontekst organizacije:** Organizacija mora upoštevati potrebe in pričakovanja svojih deležnikov ter uskladiti cilje obvladovanja premoženja s strateškimi cilji organizacije. Poleg tega mora organizacija določiti obseg svojega sistema obvladovanja sredstev. Na primer, organizacija se lahko odloči, da omeji obseg na eno enoto ali eno regijo, preden uvede sistem obvladovanja sredstev za vse svoje dejavnosti.
- **Vodenje:** Vodstvena ekipa organizacije mora dokazati svojo zavezanost obvladovanju sredstev z zagotavljanjem potrebnih virov in razvojem politike obvladovanja sredstev, ki jo morajo razumeti in spoštovati vsi zaposleni v organizaciji. Prav tako zagotavlja potrebno pooblastilo in podporo zaposlenim, da lahko učinkovito opravljajo svoje naloge.
- **Načrtovanje:** Zahtevani so jasni cilji in načrti za njihovo doseg, vključno s koordinacijo z drugimi funkcijami v organizaciji, kot so finance, kadri, itd. Organizacija mora tudi dokumentirati svoje načrte (npr. strateški načrt obvladovanja sredstev) ter zagotoviti, da so upoštevana tveganja in priložnosti, povezana s tem načrtom.
- **Podpora:** Zagotoviti je treba, da so potrebni viri na voljo, da so zaposleni, vključeni v obvladovanje premoženja, usposobljeni, da je preostanek organizacije seznanjen s sistemom, ter da so vzpostavljeni ustrezni komunikacijski mehanizmi. Prav tako poudarja potrebo po določitvi informacijskih zahtev (npr. register sredstev). Informacije je treba dokumentirati, ne le zaradi zakonskih ali regulativnih zahtev, temveč tudi zaradi skladnosti s sistemom obvladovanja sredstev (npr. potreba po pisni politiki obvladovanja sredstev). Finančna sredstva in podatki se pogosto delijo med različnimi oddelki, kar poudarja potrebo po uskladitvi, katere informacije se vzdržujejo.
- **Delovanje:** Zahteva vzpostavitev potrebnih procesov in kontrolnih mehanizmov za izvajanje načrtov obvladovanja sredstev. Prav tako obravnava pomembnost obvladovanja sprememb, potrebnih za doseg ciljev obvladovanja premoženja. Nazadnje zahteva, da organizacija oceni in obvladuje tveganja vseh zunanjih dejavnosti, povezanih s področjem obvladovanja sredstev.
- **Vrednotenje izvedbe:** Standard zahteva, da organizacija spremlja, meri in analizira uspešnost svojih sredstev, funkcije obvladovanja premoženja ter samega sistema obvladovanja premoženja. Vodstvo naj redno pregleduje te

informacije, da oceni potencialna tveganja in prepozna priložnosti za izboljšave.

- Izboljševanje: Za zaključek cikla planiraj-izvajaj-preverjaj-ukrepaj mora organizacija neprestano izboljševati svoje procese in sistem obvladovanja premoženja. Pomembno je, da ima postopke za obravnavo kršitev in razvoj preventivnih ukrepov, kjer je to potrebno.

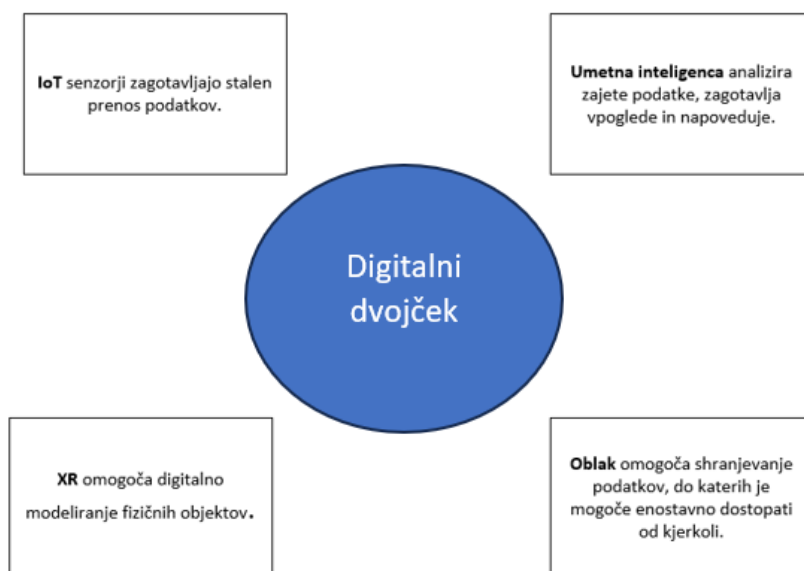
2.2 Digitalni dvojčki

Digitalni dvojčki se osredotočajo na zbiranje, modeliranje in uporabo podatkov. Za zbiranje in shranjevanje podatkov v realnem času uporabljajo tehnologije, kot so Internet stvari (IoT), umetna inteligenca (AI), razširjena resničnost (XR) in računalništvo v oblaku. Odvisno od vrste aplikacije pa lahko uporabljamo različne tehnologije v večjem ali manjšem obsegu (Attaran in Celik, 2023; Lv in Xie, 2021; Attaran, 2017; Shu, Wan in Zhang, 2016). Na kratko bomo predstavili te štiri tehnologije, ki jih lahko uporabljamo za zbiranje in shranjevanje podatkov:

- IoT, kot obsežno omrežje povezanih entitet, bo v vsaki aplikaciji digitalnih dvojčkov do leta 2027 prispevalo več kot 90% platform IoT zmožnosti digitalnega dvojčkanja. S pomočjo senzorjev za pridobivanje podatkov iz resničnega sveta in prenosa podatkov prek omrežja IoT ta tehnologija omogoča nenehno posodabljanje podatkov in ustvarjanje realno-virtualne predstavitve fizičnih objektov.
- Računalništvo v oblaku, kot zagotavljanje storitev prek interneta, ključno prispeva k digitalnim dvojčkom. S tehnologijo shranjevanja in dostopa do podatkov prek interneta omogoča učinkovito obdelavo kompleksnih sistemov in rešuje izzive pri shranjevanju obsežnih podatkov.
- Umetna inteligenca (AI) z uporabo nevronske mreže, strojnega učenja in drugih sistemov omogoča digitalnim dvojčkom napredna analitična orodja za samodejno analizo podatkov ter zagotavljanje dragocenih vpogledov in napovedi o rezultatih.
- Razširjena resničnost (XR), ki vključuje VR, AR in MR, omogoča digitalnim dvojčkom interaktivnost med virtualnimi in resničnimi objekti v realnem času. Ta tehnologija ima obširen potencial uporabe v različnih industrijah, vključno s proizvodnjo, kjer digitalni dvojčki pomagajo pri nadzoru,

simulaciji in oddaljenem upravljanju fizičnih sredstev ter prispevajo k inovacijam in izboljšanju storitev.

Digitalni dvojčki v proizvodnji omogočajo inteligentnejše odločanje in napovedovalno delovanje, kar pripomore k boljšemu zadovoljstvu strank in učinkovitejšemu prilagajanju njihovim potrebam (Attaran in Celik, 2023). Na Sliki 1 je prikazan teoretični del še v obliki slike.



Slika 1: Tehnologije digitalnih dvojčkov

Vir: prirejeno po Attaran in Celik, 2023

Digitalni dvojčki predstavljajo potencial za velik napredek v primerjavi s sedanjo prakso obvladovanja premoženja, saj nadomeščajo zamudne, neučinkovite, subjektivne in drage tehnike s hitrimi, objektivnimi ter avtomatiziranimi postopki. Kot primer si lahko ogledamo mostove, ki se trenutno ročno pregledujejo (vizualno ocenjevanje) v Evropi in Združenih državah Amerike, pri čemer je strošek približno 600 milijonov dolarjev letno, in jih je več kot 720.000 (Arisekola in Madson, 2023).

Uporaba video kamer ali laserskih skenerjev za ustvarjanje 3D modelov mostov ter avtomatsko zaznavanje napak, povezanih s tem modelom, lahko bistveno zmanjša stroške in čas takega pregleda. Raziskave in implementacija digitalnih dvojčkov so

postale izjemno razširjene po prelomnem delu Michaela Grievesa o obvladovanju življenjskega cikla izdelkov v začetku 2000-ih. Dejansko je ugotovljeno, da se je povpraševanje po digitalnih dvojčkih povečalo s 3,8 milijarde USD na 36 milijard USD (Sepasgozar).

Analiza raziskovalnih uporabnih primerov je zagotovljena za olajšanje razumevanja funkcionalnosti in značilnosti digitalnih dvojčkov za podporo obvladovanju premoženja. Uporabni primeri, povezani z različnimi raziskovalnimi projekti, v katerih so avtorji sodelovali, so preslikani v okvir obvladovanja sredstev. Okvir (Roda in Macchi, 2016) se dejansko uporablja za organizacijo različnih vrst odločitev glede na faze življenjskega cikla sredstva, (začetek življenja (BOL), sredina življenja (MOL) in konec življenja (EOL)), ter ravni nadzora sredstva (strateška, taktična in operativna raven) (Macchi idr., 2018).

S petimi izbranimi primeri bodo za vsakega od njih navedene nekatere podrobnosti, ki poudarjajo, kako lahko postopek odločanja, povezan z opremo, podpre modeliranje digitalnih dvojčkov (DT) (Roda in Macchi, 2016):

- Konfiguracija sredstva – Uporaba DT za modeliranje proizvodne linije, oceno sistemskih lastnosti ter napoved celotnih stroškov lastništva (TCO).
- Ponovna konfiguracija sredstva – DT se uporablja za modeliranje kompleksnih proizvodnih enot, oceno sistemskih lastnosti, napoved TCO in izbor optimalne rekonfiguracijske alternative. Ponovna konfiguracija in načrtovanje sredstva – DT kot semantični podatkovni model v kontrolnem sistemu za proizvodne sisteme, osnova za odprti izvršilni sistem ter podpora rekonfiguraciji in načrtovanju sredstev.
- Spremljanje in vzdrževanje sredstev – DT za modeliranje ključnih sredstev v proizvodnem okolju, vključno s podatki v realnem času, zgodovinskimi informacijami in evidencami vzdrževanja. Pomaga pri spremljanju zdravja sredstev, napovedovanju vzdrževanja ter optimizaciji urnikov za optimalno uspešnost.
- Odločanje o koncu življenjske dobe sredstva – Uporaba DT za simulacijo scenarijev konca življenjske dobe sredstev v proizvodnem objektu. DT prispeva k informiranim odločitvam o odstranitvi, zamenjavi ali obnovitvi premoženja, kar optimizira skupne stroške življenjske dobe.

Ti primeri ilustrirajo vsestranskost modeliranja digitalnih dvojčkov pri podpori različnim vidikom obvladovanja življenjskega cikla premoženja, od začetne konfiguracije in ponovne konfiguracije, do spremljanja, vzdrževanja in odločitev o koncu življenjskega cikla. Integracija semantičnih podatkovnih modelov in analitike v realnem času prek digitalnih dvojčkov prispeva k izboljšanim procesom odločanja na področju obvladovanja premoženja.

Primer se nanaša na proizvodni obrat v prehrambni panogi, kjer je podjetje želelo podporo pri oblikovanju novega obrata v začetni fazi življenjske dobe (BOL). Prav tako so razmišljali o možnostih uporabe te podpore v srednji fazi življenjske dobe (MOL) obrata. Za rešitev teh izzivov so razvili digitalni dvojnik (DT) obrata, ki temelji na stohastični simulaciji in vključuje zanesljiv model obrata. Uporaba DT je omogočila oceno alternativnih rešitev oblikovanja in oceno celotnih stroškov lastništva (TCO) obrata. Podobno je bila izvedena študija primera v jeklarskem obratu, kjer je bil glavni izziv podpora odločanju o vzdrževalnih dejavnostih v srednji fazi življenjske dobe kritičnega sredstva. Tudi tu je bila uporaba DT ključna za izboljšano odločanje o vzdrževanju na operativni ravni, s čimer so se zmanjšali časi zastojev in se je povečala varnost. Raziskovalni projekti kažejo, da lahko DT prispeva k boljšemu obvladovanju življenjskega cikla sredstva, predvsem z napovedovanjem uspešnosti in vedenja sistema ter izboljšanim odločanjem o vzdrževanju v samem obvladovanju premoženja (Macchi idr., 2018). Rezultati tega primera so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1: Življenjski cikel premoženja

Stopnje nadzora premoženja	Strateški nivo	1	2	
	Taktični nivo		3	
	Operativni nivo		4 5	
Začetna faza življenjske dobe		Srednja faza življenjske dobe		Končna faza življenjske dobe
Faza življenjskega cikla premoženja				

Vir: prirejeno po Macchi idr., 2018

V kompleksnem okolju, kot je železniška infrastruktura, se lahko digitalni dvojnik obravnava kot sistem IAM. Vključuje podatke, omrežje storitev in aplikacije za končne uporabnike, ki si prizadevajo olajšati upravljanje infrastrukture in sodelovanje med storitvami. Študija se osredotoča na izboljšanje koordinacije med pripravo na vzdrževanje in uporabo digitalnega dvojnika infrastrukture za

načrtovanje vzdrževanja. Metodološki okvir CSCW (podpora računalniško podprtemu sodelovanju) se uporablja za združevanje etnografije, uporabniško usmerjenega oblikovanja in tehnoloških sond. Raziskava je razkrila tri ključne vidike (Stalder, Ducellier, Lewkowicz, 2023):

- Koordinacija trkov: Koordinatorji ročno identificirajo trke med načrtovanjem. Vključujejo utelešenje zahteve in pregled koordinacijskega diagrama. Tehnološka sonda je bila predstavljena za avtomatizacijo odkrivanja trkov z uporabo digitalnega dvojnika SNCF Réseau.
- Geografski zemljevid: Koordinatorji uporabljajo zemljevid za situacijsko označevanje urnika, vendar opazijo pomanjkanje podrobnosti za upravljanje artikulacije dela. Raziskava kaže, da bi lahko diagrami zagotovili boljši vpogled v vzporedne tire.
- Ocena kakovosti podatkov: Tehnološka sonda je razkrila izgubo podatkov med digitalnim dvojnikom in uporabniškimi podatki. Kljub temu je koncept pomemben, saj lahko zmanjša napake v urniku in prispeva k izboljšanju koordinacije.

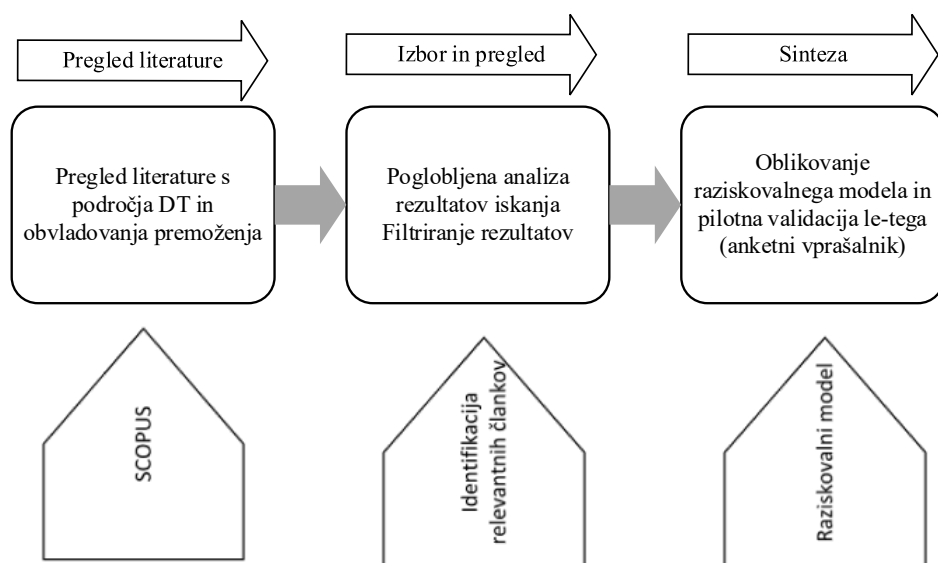
Analiza koordinacijskih praks je vodila k identifikaciji funkcij, ki jih ni prepoznalo podjetje SNCF Réseau. Kljub temu pa kaže, da bi morala bodoča aplikacija izboljšati zaznavanje in vizualizacijo zemljevida, da bi postala uporabna v industriji. Potrebno bo premagati semantično vrzel in omogočiti koordinatorjem, da dodajo lokalni opis infrastrukture v podatkovno bazo. Če te izzive premagamo, bi lahko aplikacija spremenila način, kako koordinatorji načrtujejo delo in se ukvarjajo s koordinacijskimi trki v urniku (Stalder, Ducellier, Lewkowicz, 2023).

2.3 Metodološka izhodišča

Metodologija raziskave se zdi zelo pomembna, saj lahko raziskovalcem pomaga opredeliti potrebne korake za doseg cilja študije. Raziskava je bila izvedena na podlagi sekundarnih podatkov. Informacije in podatki za raziskovalno delo so bili zbrani iz različnih virov, predvsem iz znanstvenih revij. Študija vključuje identifikacijo, izbor in analizo ustreznih člankov. V ta namen smo upoštevali korake in smernice, predlagane v prejšnjih raziskavah (Jesson, Matheson in Lacey, 1. izd.,

2011; Fink, 4. izd., 2019). Prva dva koraka sta pojasnjena v tem razdelku, četrti korak (ekstrakcija in sinteza) pa bo obravnavan v naslednjih razdelkih.

Za identifikacijo, izbor in analizo ustreznih člankov smo uporabili korake, opisane v prejšnjem razdelku. V skladu s tem je ta študija razdeljena na tri glavne faze: (1) oblikovanje problema, ki ga je treba rešiti s sistematičnim pregledom literature; (2) iskanje in izbira člankov; (3) pridobivanje in vrednotenje kritičnih dejavnikov uspeha. V prvi fazi smo opredelili problem, ki ga je treba rešiti. Glavno raziskovalno vprašanje se je glasilo: "Kateri so najpomembnejši kritični dejavniki uspeha, ki lahko vplivajo na uspešnost uvedbe sistema obvladovanja sredstev?" Logika študije je prikazana na Sliki 2.



Slika 2: Logika študije

Vir: lasten

Uporabili bomo sistematični pregled literature in vključili študije primera. Glede na ključne ugotovitve in pa predloge bomo ocenili stanje zrelosti digitalnih dvojčkov pri obvladovanju premoženja. Za analizo in vizualizacijo podatkov pregleda literature bomo uporabili prosto dostopen program VOSviewer (www.vosviewer.com) (van Eck in Waltman, 2010).

Sistematični pregled literature je "jasno oblikovano vprašanje, ki uporablja sistematične in eksplicitne metode za identifikacijo, izbor ter kritično oceno relevantnih raziskav, ter zbiranje in analizo podatkov iz vključenih študij v pregledu" (Moher idr., 2009, str. 1). Sistematični pregled išče literaturo po dokumentiranem postopku ali okviru, podrobno opisuje metode in omogoča transparentnost in ponovljivost za druge (Grant in Booth, 2009). To omogoča nadaljnjo analizo in sintezo literature ter podatkov v njej za odgovor na raziskovalna vprašanja (Borrego, Foster in Froyd, 2015).

V tem sistematičnem pregledu literature je bil uporabljen protokol izjava o prednostnih poročilih za sistematične preglede in metaanalize (PRISMA) (Moher idr., 2009). S pomočjo izjave PRISMA je bila literatura, pridobljena med sistematičnim pregledom literature, presejana glede na določen seznam kriterijev, ki temeljijo na uporabljenih praksah obvladovanja premoženja in na raziskovalnem vprašanju.

Proces sistematičnega pregleda literature je treba upravljati, da se omeji morebitna pristranskost zbranih publikacij (Knobloch, Yoon in Vogt, 2011). To obvladovanje zmanjševanja pristranskosti se izvaja s pomočjo strukturiranega procesa, kot je PRISMA, med identifikacijo, zbiranjem in pregledom člankov, ki ustrezajo podrobnim kriterijem (Shamseer idr., 2015). Razpravljalo se je o različnih možnih tehnikah iskanja, kot so iskanje citatov, seznam referenc in rast biserov (Papaioannou idr., 2009). Odločeno je bilo, da se bo kot osnovna tehnika iskanja uporabljalo iskanje po podatkovnih bazah. Avtorji so se tudi odločili, da bo kot dodatna tehnika iskanja uporabljeno pregledovanje ciljno usmerjenih konferenčnih prispevkov, povezanih z obvladovanjem premoženja, kar je bilo vključeno za usmerjanje na konference s področja inženiringa in obvladovanja premoženja. Ta dodatna tehnika je bila vključena, da omogoča ciljano iskanje konferenčnih prispevkov v zvezi s pojmi iskanja. Ti bodo navedeni v PRISMA-diagramu kot "dodatni zapisi" (Munn idr., 2021).

Poglavje obravnava primerjalno analizo okvirov za obvladovanje premoženja na strateškem nivoju, in sicer na podlagi sistematičnega pregleda literature. Sistematični pregled je sledil znanstvenemu postopku za zmanjšanje pristranskosti in je vključeval tri glavne faze:

- Zbiranje podatkov: Uporabljena je bila podatkovna baza Scopus, ki omogoča dostop do različnih znanstvenih baz. Iskanja s ključnimi besedami so vključevala izraze, kot so »asset management« AND »digital twin« in »asset management« AND »lifecycle« AND »digital twin«.
- Opisna analiza in izbira kategorij: V tej fazi so bili ocenjeni formalni vidiki podatkov, izbrane pa so bile kategorije za razvrstitev rezultatov glede na vrsto okvira, področje uporabe, raven odločanja, skupine kazalnikov in prakse obvladovanja z negotovostjo.
- Evalvacija podatkov: Material je bil tematsko analiziran glede na izbrane kategorije. Veljavnost in zanesljivost rezultatov sta bili povečani z uporabo interaktivnega procesa za ustvarjanje konceptualnega okvira. Pri analizi podatkov so iskali nastajajoče klasifikacije, skupine kazalnikov in vzorce (Hanski, Ojanen, 2020).

3 Rezultati

VOSviewer je orodje za ustvarjanje zemljevidov na podlagi omrežnih podatkov ter za vizualizacijo in raziskovanje teh zemljevidov. Omogoča ustvarjanje zemljevidov na osnovi obstoječih omrežij ali pa lahko omrežje najprej konstruiramo sami. Z njim lahko gradimo omrežja znanstvenih publikacij, znanstvenih revij, raziskovalcev, raziskovalnih organizacij, držav, ključnih besed ali izrazov. Elemente v teh omrežjih povezujejo različne vrste povezav, kot so soavtorstvo, so-pojavitev, citiranje, bibliografsko povezovanje ali so-citacijske povezave. Podatke za gradnjo omrežja lahko zagotovimo VOSviewerju v obliki datotek iz bibliografskih baz podatkov, kot so Web of Science, Scopus, Dimensions, Lens in PubMed, ali pa datotek iz upravljalcev referenc, kot so RIS, EndNote in RefWorks. Poleg tega VOSviewer omogoča tudi prenos podatkov preko različnih vmesnikov API, na primer Crossref API, OpenAlex API, Europe PMC API in drugih.

Pri prikazu omrežja se elementi ponavadi označujejo s svojimi oznakami in privzeto tudi s krogi. Velikost oznake in kroga elementa je odvisna od teže elementa - večja teža pomeni večjo oznako in krog. Včasih oznake za nekatere elemente morda niso prikazane, kar preprečuje prekrivanje. Barva elementov je določena glede na pripadajočo skupino. Črte med elementi pa predstavljajo povezave. Privzeto je prikazanih največ 1000 črt, ki predstavljajo najmočnejše povezave med elementi.

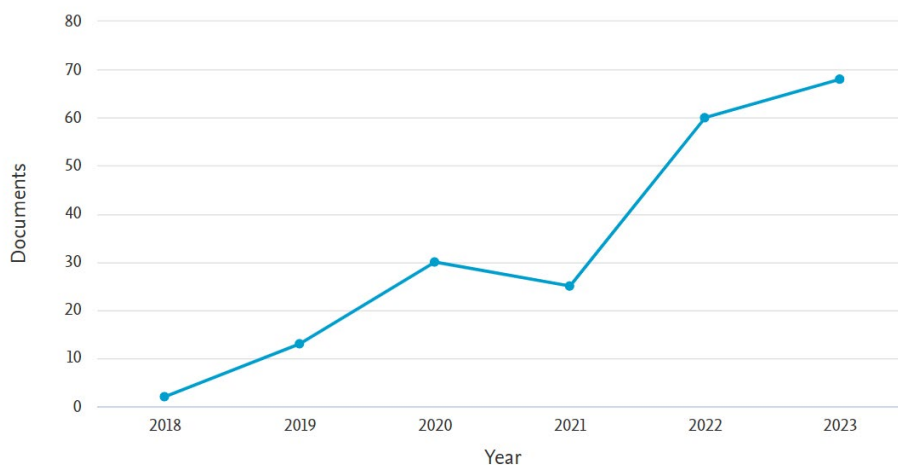
Pri sistematičnem pregledu literature smo uporabili multidisciplinarno bibliografsko zbirko Scopus, pri čemur smo uporabili dva iskalna niza.

Prvi iskalni niz: "asset management" AND "digital twin"

Rezultat: 209 zadetkov

Slika 3 prikazuje naraščanje vsote dokumentov za posamezno leto na temo asset managementa in digital twin. Lahko vidimo, da je bilo leta 2018 samo nekaj dokumentov, v letu 2023 pa je število naraslo že na malo manj kot 70 dokumentov.

Documents by year



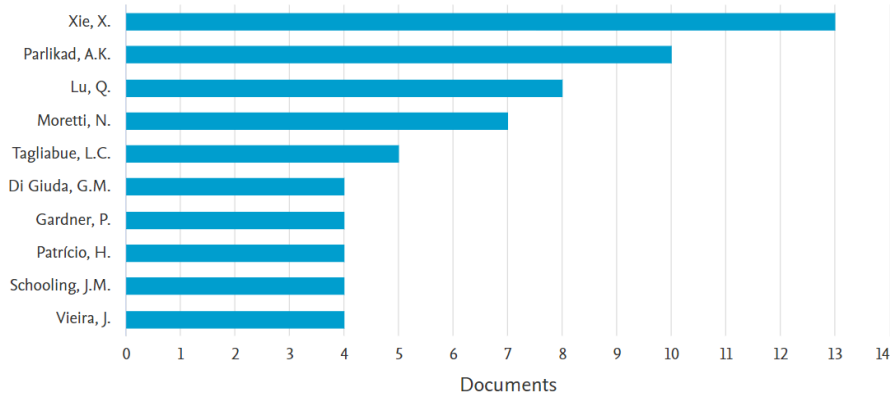
Slika 3: Pregled dokumentov po letih

Vir: SCOPUS

Slika 4 prikazuje pogostost pojavljanja avtorjev na temo asset managementa in pa digital twina. Vidimo, da je največ vsebine ustvaril avtor Xie X., sledita pa mu Parlikad A. K. in Lu Q.

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.



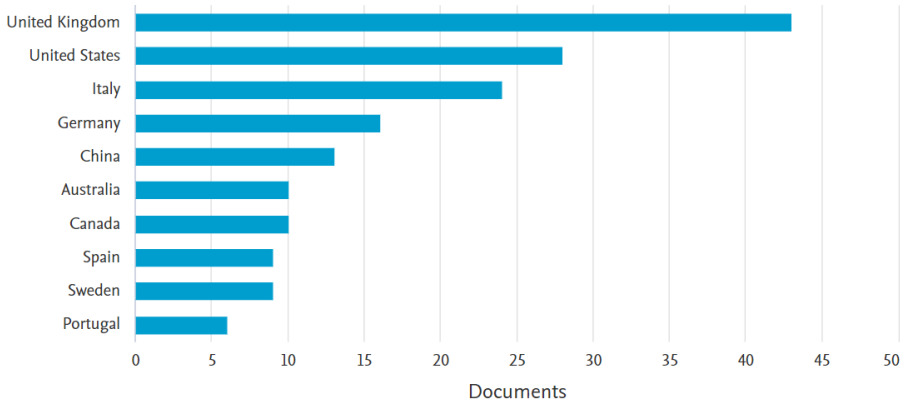
Slika 4: Pregled dokumentov po avtorjih

Vir: SCOPUS

Iz Slike 5 je razvidno, v kateri državi se je pojavilo največ dokumentov v prvem iskalnem nizu. Izstopajo naslednje tri države: Združeno kraljestvo, Združene države Amerike in Italija.

Documents by country or territory

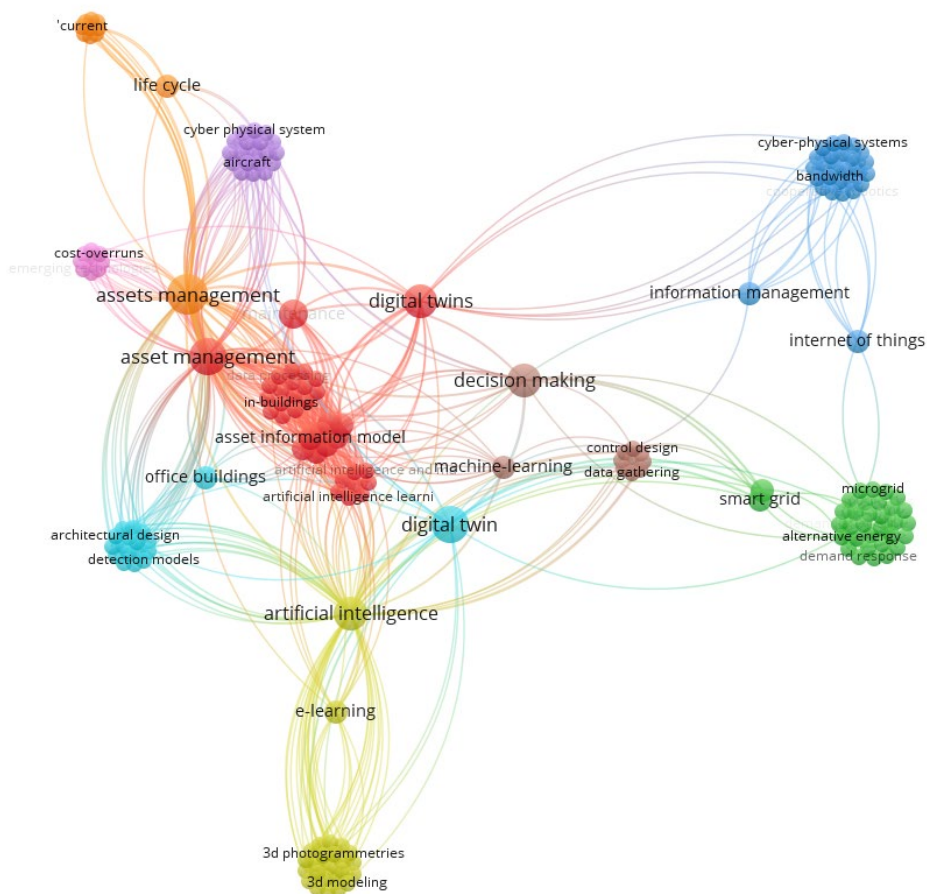
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Slika 5: Pregled dokumentov po državah (1)

Vir: SCOPUS

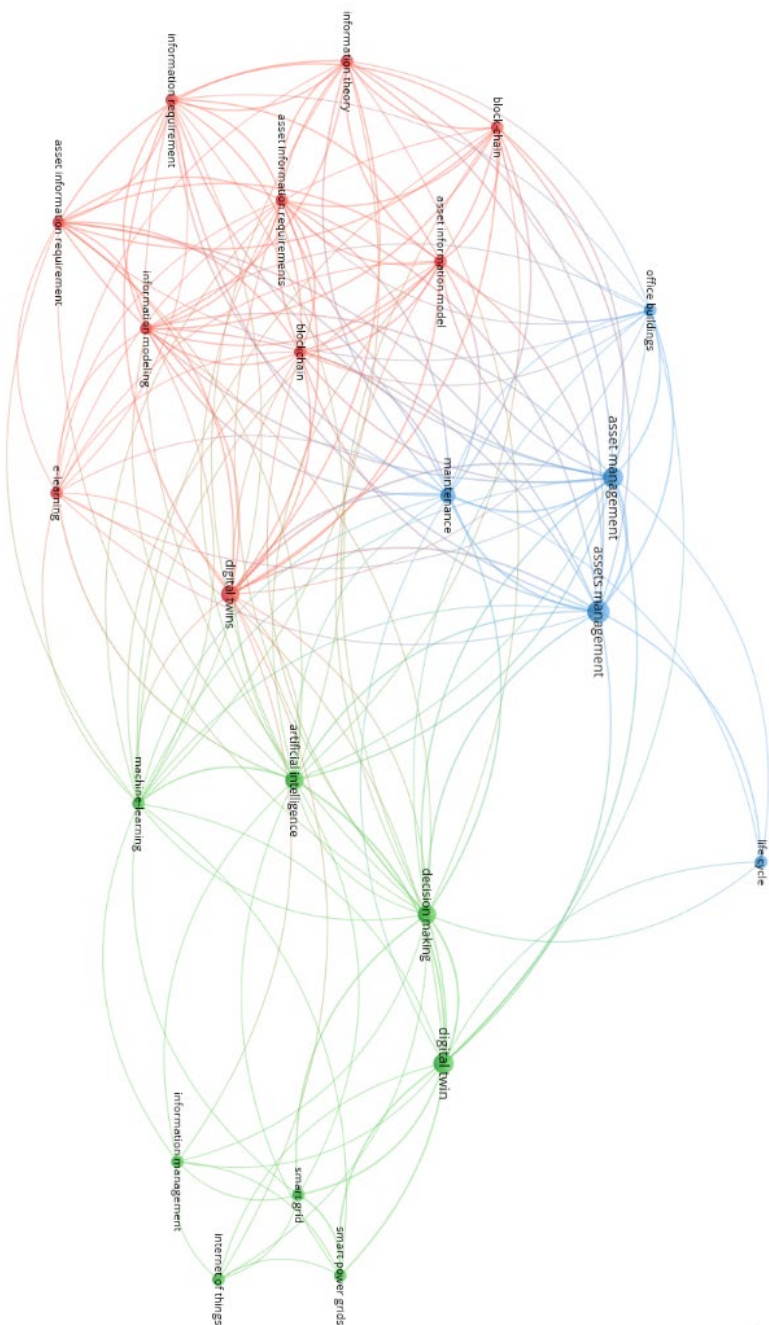
Iz Slike 6 je razvidno, da prikazuje najpogostejše ključne besede, ki se pojavljajo na temo asset managementa in digital twin. Največkrat se pojavijo besede asset management, asset information model, decision making in artificial intelligence.



Slika 6: Vizualizacija omrežja glede na ključne besede prvega iskalnega niza

Vir: VOSviewer

Slika 7 prikazuje, da so najpomembnejše besede digital twins, block-chain, asset information model in asset information requirements.



Slika 7: Omrežna analiza besed

Vir: VOSviewer

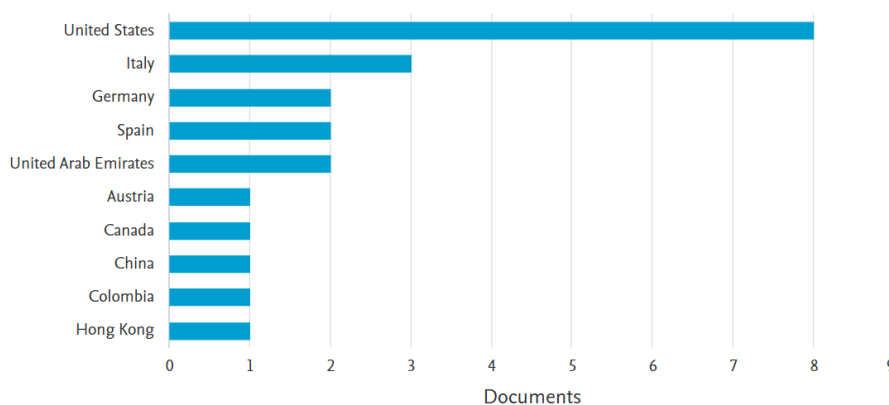
Drugi iskalni niz: "asset management" AND "lifecycle" AND "digital twin"

Rezultat: 25 zadetkov.

Slika 8 prikazuje, v katerih državah je največ dokumentov v drugem iskalnem nizu. Najbolj izstopajo Združene države Amerike, nato pa Italija in Nemčija.

Documents by country or territory

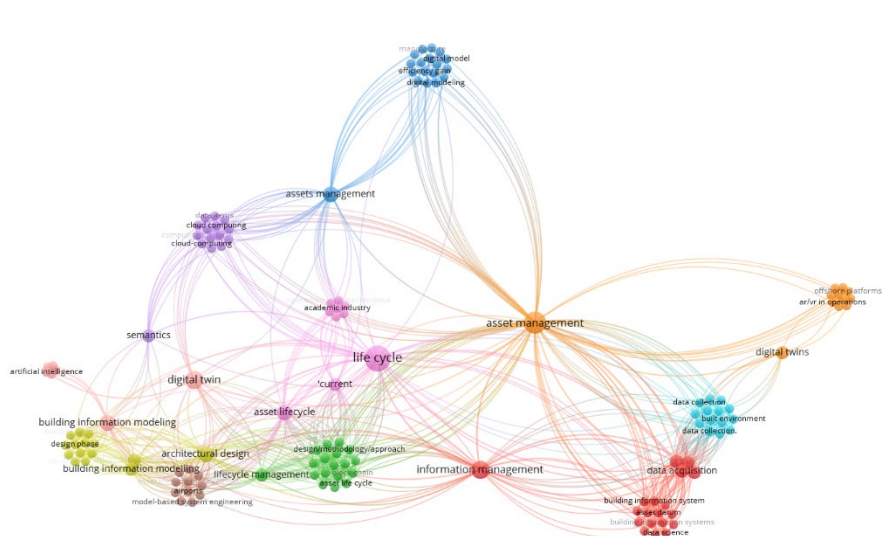
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



Slika 8: Pregled dokumentov po državah (2)

Vir: SCOPUS

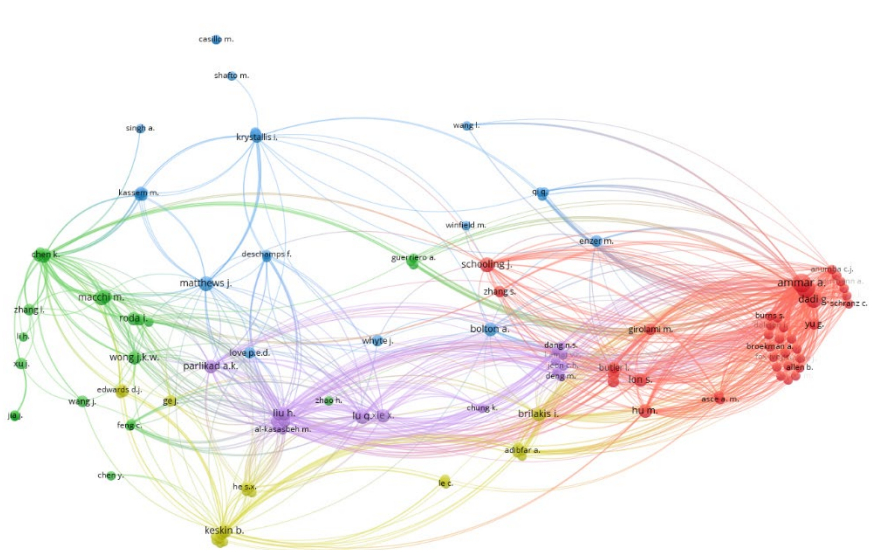
Slika 9 prikazuje najpogosteje uporabljene besede na temo asset management, lifecycle in digital twin. Najpomembnejše besede so information management, data acquisition, building information system in data science.



Slika 9: Vizualizacija omrežja glede na ključne besede drugega iskalnega niza

Vir: VOSviewer

Na Sliki 10 je prikaz povezanosti avtorjev na temo asset management, lifecycle in digital twin. Najpomembnejši so Schooling, Girolami, Hu in Ammar.



Slika 10: Vizualizacija omrežja glede na avtorje

Vir: VOSviewer

4 Diskusija in zaključek

Poglavje preko pregleda literature izpostavlja uporabnost DT na področju obvladovanja premoženja. Kot je tudi razvidno iz literature, bi izpostavili uporabnost na področju simulacije in modeliranja, nadzora in spremljanja, analitične in prediktivne zmogljivosti. Le-to ustvarja pomembne vplive med delovanjem premoženja, načrtovanjem in pridobivanjem, vzdrževanjem ter odzivanjem na incidente ali okvare (Vieira idr., 2022). V organizaciji učinki vključujejo bolj neposredne učinke, kot je znižanje operativnih stroškov (OPEX) in vpliv na kapitalske naložbe CAPEX ter večja razpoložljivost sistemov. Posredni vpliv se pogosto izraža v večjem zaupanju in zanesljivejšem odločanju ter v večjem sodelovanju in učinkovitosti notranjih procesov (Vieira idr., 2022).

Obstaja konvergenca med potrebami po podpori odločanja obvladovanja premoženja in koristmi, ki jih zagotavljajo funkcionalnosti digitalnih dvojčkov vzdolž življenjskega cikla premoženja. Glavna ugotovitev, ki izhaja, je, da se lahko digitalni dvojčki smatrajo za koncept z visokim potencialom za obvladovanje življenjskega cikla premoženja. Naslednje raziskave bodo pomembne za razvrstitev ključnih tehnologij, potrebnih za modeliranje digitalnih dvojčkov, s posebnim poudarkom na obvladovanju premoženja kot aplikacijskem področju. To bi lahko pomagalo podjetjem, da boljše obvladujejo premoženje, na primer z boljšim vzdrževanjem ali predvidevanjem težav, kar bi izboljšalo njihovo delovanje. To pomeni, da digitalni dvojčki lahko močno pomagajo pri obvladovanju premoženja. Za razvoj takih orodij in sistemov pa bo potrebno še veliko raziskav in dela. (Macchi idr., 2018).

Digitalni dvojčki predstavljajo inovativno tehnologijo, ki omogoča ustvarjanje natančnih virtualnih predstav fizičnih objektov in procesov. Njihova uporaba omogoča organizacijam boljše razumevanje in obvladovanje s svojim premoženjem skozi celoten življenjski cikel. Z možnostjo simuliranja operativnih procesov ter spremljanjem in analiziranjem podatkov v realnem času digitalni dvojčki omogočajo inteligentnejše odločanje in napovedovanje, kar lahko prispeva k izboljšanju učinkovitosti, zmanjšanju stroškov in povečanju zadovoljstva strank.

V obvladovanju sredstev se digitalni dvojčki izkažejo kot ključni element, ki omogoča celovito obvladovanje premoženja. Z združevanjem različnih tehnologij, kot so Internet stvari, računalništvo v oblaku, umetna inteligenca in razširjena resničnost, digitalni dvojčki omogočajo zbiranje, modeliranje in analizo podatkov na napreden način. Tako organizacijam pomagajo pri sprejemanju bolj informiranih odločitev, optimizaciji delovanja in ohranjanju konkurenčnosti na trgu.

Pričakovana rast uporabe digitalnih dvojčkov v prihodnosti kaže na njihovo vse večjo pomembnost v poslovnem okolju. Napovedi kažejo na široko uporabo teh tehnologij v različnih industrijah, kar bo prispevalo k njihovem še večjemu razvoju in izboljšanju. Pričakovati je, da se bodo digitalni dvojčki še naprej povezovali z drugimi tehnologijami, kar bo omogočilo še večje izkoristke in inovacije na področju obvladovanja sredstev.

Za organizacije je ključno, da digitalne dvojčke integrirajo v svoje poslovne procese na učinkovit in smiseln način. To vključuje ustrezno usposabljanje zaposlenih, vzpostavitev potrebnih komunikacijskih mehanizmov ter stalno spremljanje in analiziranje uspešnosti teh tehnologij. Le na ta način lahko organizacije izkoristijo polni potencial digitalnih dvojčkov in dosežejo zelene koristi v obvladovanju premoženja (Attaran, Celik, 2023; Arisekola, Madson, 2023).

Tabela 2: Avtorji na področju digitalnih dvojčkov

Avtor	Vrsta raziskave	Ključne ugotovitve poučevanja
Arisekola, K. in Madson, K.	Pregled literature	Uporaba digitalnih dvojčkov za obvladovanje premoženja
Attaran, M., Celik, B. G.	Pregled literature	Koristi, uporabni primeri, izzivi in priložnosti digitalnih dvojčkov
Chiara, C., Elisa N., in Luca F.	Pregled literature	Aplikacije digitalnih dvojčkov v proizvodnji
Errandonea I. Beltran S. in Arrizabalaga, S.	Pregled literature	Digitalni dvojčki na področju vzdrževanja
Macchi, M. Roda, I., Negri, E. in Fumagalli, L.	Pregled literature	Raziskovanje vloge digitalnih dvojčkov pri obvladovanju življenjskega cikla premoženja

Vir: lasten

Opombe

DT-digitalni dvojček/digitalni dvojnik

Literatura

- Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D. in Finger, M. (2022). A conceptual construct on value for infrastructure asset management. *Utilities Policy*, 75, 101354.
- Amadi-Echendu, J. E. (2004). Managing physical assets is a paradigm shift from maintenance. Paper presented at the IEEE International Engineering Management Conference. doi:10.1109/IEEMC.2004.1408874
- Arisekola, K. in Madson, K. (2023). Digital twins for asset management: Social network analysis-based review. *Automation in Construction*, 150, 104833. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104833>
- Attaran, M., Celik, B. G. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, 6, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100165>
- Borrego, M., Foster, M. in Froyd, J. (2015). What Is the State of the Art of Systematic Review in Engineering Education? *Journal of Engineering Education*, 104(2), 212–242. doi:10.1002/jee.20069.
- Chiara, C., Elisa, N. in Luca, F. (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, 103130.
- Dunn, R. (1987). Advanced maintenance technologies. *Plant Engineering*, 40(12), 80-2.
- Errandonea, I., Beltrán, S. in Arriabalaga, S. (2020). Digital Twin for maintenance: A literature review. *Computers in Industry*, 123, 103316.
- Fink, A. (2019). *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to Paper* (4th ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc.
- Gartner. (2019). Gartner survey reveals digital twins are entering mainstream use. Retrieved from <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are-entering-mainstream>
- Gartner. (2022). Top strategic technology trends, 2023. Retrieved from <https://emtemp.gcom.cloud/ngw/globalassets/en/publications/documents/2023-gartner-top-strategic-technology-trends-ebook.pdf>
- Global Market Insight. (2022). Digital twin market. Retrieved from <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-twin-market>
- Grant, M. in Booth, A. (2009). A Typology of Reviews: An analysis of 14 Review Types and Associated Methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26, 91–108. doi:10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x
- Hanski, J. in Ojanen, V. (2020). Sustainability in strategic asset management frameworks: a systematic literature review. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*, 3(4), 263–294.
- Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M. in Baudry, D. (2019). Digital twin and virtual reality: A co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. *Production & Manufacturing Research*, 7(1), 472–489.
- ISO 55001 (2014) Asset management — Management systems — Requirements. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- Jesson, J., Matheson, L. in Lacey, M. F. (2011). *Doing Your Literature Review: Traditional and Systematic Techniques* (1st ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications Ltd.
- Knobloch, K., Yoon, U. in Vogt, P. (2011). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) Statement and Publication Bias. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 39(2), 91–92. doi:10.1016/j.jcms.2010.11.001

- Kylie Munn, Steven Goh, Marita Basson in David Thorpe (2021) Asset management competency requirements in Australian local government: a systematic literature review, *Australasian Journal of Engineering Education*, 26:2, 167-200, DOI: 10.1080/22054952.2021.1934262
- Ly, Z. in Xie, S. (2021). Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics. Retrieved from <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17524.1>.
- Macchi, M., Roda, I., Negri, E. in Fumagalli, L. (2018). Exploring the role of digital twin for asset lifecycle management. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 790–795.
- Maletič, D., Marques de Almeida, N., Gomišček, B., & Maletič, M. (2023). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: an empirical study for engineered physical assets. *Production Planning & Control*, 34(15), 1497-1512.
- Maletič, D., Maletič, M., Al-Najjar, B. in Gomišček, B. (2020). An analysis of physical assetmanagement core practices and their influence on operational performance. *Sustainability*, 12(21), 9097.
- Maletič, D. in Maletič, M. (2024). An Exploration of Organisational Readiness for Industry 4.0: A Predictive Maintenance Perspective. *Quality Innovation Prosperity*, 28(1), 26–46. <https://doi.org/10.12776/qip.v28i1.1984>
- Maletič, D., Grabowska, M. in Maletič, M. (2023). Drivers and Barriers of Digital Transformation in Asset Management. *Management and Production Engineering Review*, 118-126.
- Maletič, D., Marques de Almeida, N., Gomišček, B. in Maletič, M. (2023). Understanding motives for and barriers to implementing asset management system: an empirical study for engineered physical assets. *Production Planning & Control*, 34(15), 1497–1512.
- Maletič, Damjan, Maletič, Matjaž. (2017). Izzivi na področju obvladovanja fizičnega premoženja. *Vzdrževalec: revija Društva vzdrževalcev Slovenije*, ISSN 1318-2625, št. 177-178, str. 34-36.
- Maletič, Damjan, Maletič, Matjaž. (2023). Kako obvladovanje premoženja ustvarja vrednost organizaciji? *Vzdrževalec: revija Društva vzdrževalcev Slovenije*, ISSN 1318-2625, 2023, št. 203/204, [št. članka] 1171, str. 8-10, ilustr.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. in PRISMA Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097.
- Papaioannou, D., Sutton, A., Carroll, C., Booth, A. in Wong, R. (2009). Literature Searching for Social Science Systematic Reviews: Consideration of a Range of Search Techniques. *Health Information and Libraries Journal*, 27, 114–122. doi:10.1111/j.1471-1842.2009.00863.x
- Schuman, C. A., & Brent, A. C. (2005). Asset life cycle management: towards improving physical asset performance in the process industry. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(6), 566–579. doi:<http://dx.doi.org/10.1108/01443570510599728>
- Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., ... Stewart, L. (2015). Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols (PRISMA-P) 2015: Elaboration and Explanation. *The BMJ*. Retrieved from <https://www.bmj.com/content/bmj/349/bmj.g7647.full.pdf>
- Stalder, C., Ducellier, G. in Lewkowicz, M. (2023). The implementation of a digital twin as an intelligent asset management system of a railway infrastructure: application to the work scheduling process at SNCF Réseau. *Transportation Research Procedia*, 72, 2302–2308. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.720>
- Swanson, L. (2001). Linking maintenance strategies to performance. *International Journal of Production Economics*, 70(3), 237–244. doi:10.1016/S0925-5273(00)00067-0
- van Eck, N. J. in Waltman, L. (2010). VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84, 523–538.
- Vieira, J., Patrício, H., Poças Martins, J., Gomes Morgado, J. in Almeida, N. (2022, October). The Potential Value of Digital Twin in Rail and Road Infrastructure Asset Management. In *World Congress on Engineering Asset Management* (pp. 439-447). Cham: Springer International Publishing.

- Wacyenbergh, G. in Pintelon, L. (2002). A framework for maintenance concept development. *International Journal of Production Economics*, 77(3), 299–313. doi:10.1016/S0925-5273(01)00156-6
- Z. Shu, J. Wan, D. Zhang. (2016). Cloud-integrated cyber–physical systems for complex industrial applications. *Mobile Networks and Applications*, 21(5), 865–878.
- Z. Lv, S. Xie. (2021). Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics. Retrieved from <https://doi.org/10.12688/digitaltwin.17524.1>.
- Z. Geng, M. Li, Z. Hu, Z. Han, R. Zheng. (2022). Digital twin in smart manufacturing: Remote control and virtual machining using VR and AR technologies. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65, 321.

