

Človeški digitalni dvojček: metoda za razvoj zaposlenih

Seminarska naloga pri predmetu Karierni razvoj zaposlenih

Avtorica: Ajra Poljak

Mentorica: prof. dr. Eva Boštjančič

Ljubljana, november 2025

Povzetek

Z razvojem tehnologij in senzorjev za zbiranje podatkov se je močno povečal potencial za spremljanje fizičnega in duševnega zdravja zaposlenih v realnem času (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

Človeški digitalni dvojček (angl. Human digital twin – HDT) izhaja iz koncepta digitalnega dvojčka (angl. Digital twin – DT), ki predstavlja digitalno reprezentacijo fizičnega objekta (podvojene entitete) iz resničnega sveta. V primeru HDT je podvojena entiteta človek. HDT nastane na podlagi velike količine večmodalnih podatkov, npr. fizioloških, čustvenih, kognitivnih, lokacijskih ipd. Ti podatki se prenesejo v sistem, kjer se zbirajo in shranjujejo v uporabniškem profilu. Glede na namen zbiranja podatkov se izvedejo analize, iz rezultatov pa se oblikujejo simulacije in napovedi o stanju podvojene entitete. Na podlagi napovedi se lahko oblikujejo posamezniku prilagojeni ukrepi, npr. preventivni zdravstveni ukrepi, seznam potrebnih usposabljanj, napoved karierni poti, ergonomske prilagoditve ipd. Metoda je izjemno prilagodljiva, zato je uporabna za različne namene in zaposlene v različnih panogah. Ključni korak je določitev namena uporabe takšne tehnologije. Postavite si vprašanje: »Kaj želimo napovedati?« Čeprav je metoda razmeroma nova, jo že uporabljajo v različnih panogah, kot so zdravstvo, šport, varnost in zdravje pri delu ter industrija. Trenutno se najpogosteje uporablja na področju zdravstva in industrije, zato največ primerov uporabe ter dokazov o njeni učinkovitosti prihaja prav iz teh področij. Uvedba HDT zahteva vključitev multidisciplinarnega tima. Vloga psihologa v takšnem timu je predvsem opozarjanje na etične vidike, preverjanje in prispevanje znanstvenih dokazov o učinkovitosti metode, metodološko svetovanje in stik z uporabniki (zaposlenimi). Prednosti metode so predvsem v zmožnosti HDT za sprotno spremljanje in posodabljanje velike količine večmodalnih podatkov. Pomanjkljivosti in izzivov je veliko, saj je takšna tehnologija še v razvojni fazi. V nadaljevanju so predstavljeni v štirih kategorijah: etična in pravna vprašanja, stroški, težave s podatki in težave z merjenjem.

1. Uvodna predstavitev metode

Človeški digitalni dvojček (HDT) ni sinonim za digitalnega zaposlenega (Digital employee). HDT torej ni stroj ali AI, ki bi opravljal delo namesto zaposlenega. Človeški digitalni dvojček (na področju HRM tudi Employee digital twin) izhaja iz koncepta digitalnega dvojčka. Jasno razumevanje koncepta DT je temelj vsake definicije HDT (Gaffinet idr., 2025). HDT se iz DT razširi na človeka (de Kerckhove, 2021).

Digitalni dvojček je virtualna reprezentacija kateregakoli resničnega fizičnega objekta, procesa, sistema ali storitve (t. i. podvojene entitete). Gre za virtualni model, ki se periodično posodablja s podatki, zbranimi iz njegove podvojene entitete. Uporablja se za ustvarjanje simulacij, analizo delovanja in pridobivanje dragocenih vpogledov, ki jih je nato mogoče uporabiti na podvojeni entiteti (npr. Nunn, 2022; Pascual idr., 2023). Glavna razlika med DT in HDT je v podvojeni entiteti – pri HDT je podvojena entiteta človek.

Gaffinet in sodelavci (2025) so na podlagi obsežnega pregleda literature izluščili glavne elemente, ki opredeljujejo HDT, in iz tega izpeljali naslednjo definicijo: HDT je vrsta digitalnega dvojčka, pri katerem je podvojena entiteta človek. Predstavlja digitalno reprezentacijo človeka in posnema njegovo stanje ter dinamiko. Samodejno sprejema

podatke (z možnostjo ročnega vnosa) ter posreduje povratne informacije neposredno svojemu človeškemu dvojniku.

Temelj HDT je njegova sposobnost združevanja raznolikih in večmodalnih podatkov v enotno, neprestano razvijajočo se predstavitev posameznika in njegovega stanja (Pan idr., 2025). HDT nastane tako, da se najprej zberejo podatki iz različnih virov, kot so kamere, senzorji, nosljive naprave, vprašalniki osebnosti, video dnevniki itd., nato pa se ti podatki uporabijo za izdelavo digitalnega modela (Pascual idr., 2023). Vsi podatki HDT so lahko zbrani v enem samem profilu, imenovanem uporabniški profil (angl. User profile), kar strokovnjakom omogoča lažjo analizo ter natančnejše napovedi, preventivo ali ukrepe, kadar so ti potrebni (Davila-Gonzalez in Martin, 2024). HDT analizira podatke, napoveduje stanje posameznika in usmerja ukrepe, prilagojene posamezniku oziroma podvojeni entiteti (Davila-Gonzalez in Martin, 2024). To ne zagotavlja le fizične dobrobiti zaposlenih, temveč obravnava tudi morebitne duševne in čustvene izzive, s čimer se ustvarja okolje, v katerem je dobrobit zaposlenega ključnega pomena (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

2. Nastanek in razvoj metode

Razvoj koncepta digitalnega dvojčka

Za razumevanje razvoja HDT je treba poznati koncept digitalnega dvojčka in njegov razvoj. DT izhaja iz inženirstva, kjer so kompleksne stroje podvajali z digitalno simulacijo, da bi spremljali njihovo preteklo in sedanje delovanje ter jih po potrebi popravili, nadgradili ali kako drugače zagotovili optimalno delovanje (de Kerckhove, 2021).

Preden je bil leta 2002 poimenovan digitalni dvojček (Grieves, 2002), je bil prvotni koncept predstavljen že leta 2000 (lung idr., 2000 v Gaffinet idr., 2025). Zgodovinsko gledano sega ena najzgodnejših in najpomembnejših uporab tehnologije DT v leto 1970, ko so inženirji NASA uporabili simulator – dvojček vesoljskih plovil na Zemlji, da so odpravili težavo v plovilih v vesolju in rešili misijo Apollo 13. Inženirji NASA so postopek zaključili v manj kot dveh urah in rešili življenje treh astronautov na krovu (Attaran in Celik, 2023; Lin idr., 2024). Leta 2003 je profesor dr. Michael Grieves z Univerze v Michiganu v okviru predmeta Upravljanje življenjskega cikla izdelka (angl. Product Lifecycle Management) uvedel koncept digitalnih dvojčkov (Attaran in Celik, 2023). V primerjavi z dvojčkom, ki ga je predstavila NASA v programu Apollo, je profesor Grieves izvedel prehod od fizične entitete k digitalnemu modelu (Lin idr., 2024). Leta 2010 so raziskovalci NASA to idejo vključili v svoj razvojni načrt in začeli raziskovati načine uporabe digitalnih dvojčkov za zmanjšanje stroškov in porabe virov pri vesoljskih sistemih (Pascual idr., 2023). V desetletju po uvedbi DT modela je prišlo do velikega povečanja količine, raznolikosti in natančnosti informacij o fizičnih in virtualnih izdelkih. Danes obstajajo digitalni dvojčki organizacij in celo mest. Sčasoma se je med različnimi strokami – najprej v medicini – pojavila ideja o podvajanju celotnega človeka ali njegovih delov (de Kerckhove, 2021).

Od ideje do človeškega dvojčka

V prvih publikacijah izraz človeški digitalni dvojček še ni bil uporabljen. Namesto tega so raziskovalci uporabljali izraze, kot so »digitalni dvojček za delavce« ali »digitalni športnik«. Postavljanje človeka v središče (angl. human-centricity) je temeljna vrednota Industrije 5.0, kar vodi k postavljanju človekovih potreb na prvo mesto – od zdravja in varnosti do

samoaktualizacije in osebne rasti. Koncept HDT je ena ključnih metod za uresničitev tega načela (Wang idr., 2024).

V zadnjem času zanimanje za človeške digitalne dvojčke hitro narašča, predvsem zaradi napredka na področju zbiranja in prenosa podatkov, pri čemer se uporabljajo koncepti, kot so internet stvari (IoT), veliko podatkovje (big data) in umetna inteligenca (AI) (Pascual idr., 2023). Ti koncepti in tehnologije omogočajo natančno prilagajanje edinstvenim značilnostim posameznika (Lin idr., 2024). Priljubljenost metode HDT še naprej narašča, njena uporaba pa ima velik potencial na področjih, kot so inženirstvo, letalstvo, izobraževanje, medicina in številna druga (Lin idr., 2024).

3. Znanstvena spoznanja o uporabnosti metode

Ker je metoda HDT za razvoj zaposlenih še razmeroma nova, na tem področju ni veliko empiričnih raziskav, ki bi se osredotočale na merjenje njene učinkovitosti. Raziskave se trenutno osredotočajo predvsem na načine implementacije na različnih področjih in v različnih panogah. Poleg tega učinkovitost metode med drugim temelji na kakovosti zbranih podatkov in ustreznosti uporabljenih metod za analizo in napovedovanje na podlagi teh podatkov. Zato ni mogoče določiti univerzalne stopnje učinkovitosti metode HDT. Na učinkovitost lahko sklepamo iz informacij o korelacijah med spremenljivkami, ki jih nameravamo pri uporabi HDT povezati, in iz informacij o natančnosti modelov, ki so jih oblikovali avtorji s pomočjo algoritmov, ki so lahko del HDT (npr. strojno učenje). Metodi DT in HDT sta bili doslej najpogostejše uporabljeni v industriji (proizvodnih obratih) za izboljšanje ergonomskih in drugih delovnih pogojev (Miller in Spatz, 2022). Zato je zaenkrat največ raziskav o učinkovitosti HDT prav s tega področja.

Oblikovanje optimalnega delovnega okolja v krajšem času: Uporaba HDT omogoča oblikovanje optimalnega delovnega okolja (npr. delovnih postaj) za zaposlene. Nikolakis in sodelavci (2019) so z uporabo DT in HDT želeli izboljšati ergonomijo in reorganizacijo delovnih postaj v proizvodnih obratih. V študiji je moral operater premikati komponente z regalov na voziček. To nalogo so izvedli trije zaposleni, vsak petkrat. Zbrali so podatke o gibanju zaposlenih, natančneje koordinate človeških sklepov v 3D prostoru. Na podlagi teh podatkov so simulirali gibanje zaposlenih. Rezultati DT in HDT so vključevali učinkovitost, prostorske zahteve in standardizirano oceno ergonomije. S pomočjo DT in HDT so raziskovalci izvedli simulacije, da bi ugotovili optimalno konfiguracijo za najboljšo učinkovitost. Tako so zasnovo delovne postaje dokončali v nekaj urah, medtem ko običajno tak postopek traja več dni (Pascual idr., 2023).

Objektivnejše ergonomske ocene in indeksi: Greco in sodelavci (2020) prav tako izpostavljajo prednosti uporabe DT in HDT na področju ergonomije na ročnih proizvodnih linijah. Z uporabo podatkov, zbranih s pomočjo nosljivih senzorjev, je mogoče ustvariti DT ročne delovne postaje in HDT zaposlenega. Tak pristop omogoča hitrejšo in natančnejšo ocenjevanje ergonomije kot običajna ročna analiza. Ocena ergonomskih značilnosti je tudi objektivnejša, saj temelji na uporabljenih ergonomskih indeksih in ne na subjektivnih presojah analitikov. Delovne postaje je mogoče neprekinjeno spremljati in ocenjevati ergonomske indekse, kadar koli je to potrebno (npr. ob spremembi obsega proizvodnje).

Tako lahko analitiki hitro prepoznajo kritične situacije ter predlagajo rešitve, kot je sprememba postavitve delovne postaje, za zmanjšanje tveganja. Nove rešitve je mogoče preveriti s simulacijo še pred njihovo dejansko uvedbo v praksi, kar lahko zmanjša finančne in časovne stroške.

Model stresa: Ferdousi in sodelavci (2021) so predlagali HDT-model duševnega stresa, ki je s pomočjo algoritmov strojnega učenja dosegel 98 % natančnost. Podatki so bili zbrani iz 20 različnih virov (npr. podatki o aktivnostih, socialnih stikih, življenjskem slogu, fizioloških in psiholoških značilnostih).

Duševno zdravje in kognitivni upad: Na področju zbiranja podatkov za oblikovanje HDT narašča zanimanje za digitalne vedenjske podatke, predvsem uporabo pametnih telefonov in vzorce v spletnih interakcijah posameznika. Ti podatki lahko opozorijo na zgodnje znake sprememb v duševnem zdravju ali kognitivnem upadu. Pasivne digitalne sledi posameznika naj bi se povezovale tudi z indikatorji dobrega počutja, kot so razpoloženje, socialna povezanost in stres (Settanni in Marengo, 2015 v Pan idr., 2025).

Večja produktivnost, dobrobit in izboljšane ergonomске značilnosti: Graessler in Poehler (2017) predlagata uporabo HDT za razporejanje tovarniških nalog v kibernetsko-fizičnih proizvodnih sistemih. Ti sistemi vsebujejo naprave, ki imajo sposobnost samonadzora in so med seboj povezane. Iz medsebojne komunikacije med napravami se pridobijo informacije, potrebne za načrtovanje in vodenje proizvodnje. V takšnem sistemu je v to komunikacijo treba vključiti tudi človeka (zaposlene). V ta namen je bil razvit HDT, ki načrtuje razporejanje in izvedbo delovnih nalog glede na vhodne podatke, kot so spretnosti, izkušnje, motivacija, razpoloženje in preference zaposlenih, razpoložljivi stroji in naloge ter čas, potreben za izvedbo. Vhodni podatki se shranjujejo v bazo in samodejno posodablajo. Na podlagi teh podatkov HDT razporeja delovne naloge. Najprej preveri razpoložljivost materialov in strojev, nato pa povpraša človeške digitalne dvojčke zaposlenih, ki imajo potrebne spretnosti (ali si jih želijo pridobiti), ali lahko novo nalogo vključijo v svoj urnik. Če HDT-ji podajo pozitivne odgovore, sistem določi najboljši način razdelitve nalog med zaposlenimi (npr. vzporedno izvajanje), v nasprotnem primeru pa pošlje sporočilo vsem zaposlenim s prošnjo za prevzem nove naloge. Tak pristop vodi k večji produktivnosti, saj zaposleni opravljajo naloge, ki jih dobro poznajo ali jih želijo nadgraditi, izboljšuje dobrobit in zadovoljstvo zaposlenih, saj upošteva njihove značilnosti (npr. preference), hkrati pa izboljšuje ergonomijo z variiranjem nalog in preprečevanjem ponavljajočih se gibov.

4. Predstavitev metode

a. Kdaj metodo uporabimo

HDT ne reproducira le zunanjih vidikov (npr. fizičnih in fizioloških značilnosti človeka), temveč tudi notranje lastnosti, kot so osebnost, kognicija in spretnosti (Wang idr., 2024). Zato je možnosti za uporabo te metode nešteto. Skupni imenovalnik vseh je potreba po napovedovanju različnih izidov na podlagi raznovrstnih podatkov o zaposlenem. Celoten

postopek oblikovanja HDT je odvisen od vašega prvotnega namena, torej kaj želite napovedati. V nadaljevanju predstavljam nekaj idej oziroma možnosti uporabe metode.

Analiza potreb po usposabljanjih in izobraževanjih, skrb za bazen talentov, sistem nasledstva in karierni razvoj: Na podlagi kariernih izkušenj, opravljenih usposabljanj, razvoja in dosežkov posameznika lahko HDT ponudi napoved posameznikove kariere poti, uspešnosti, morebitne fluktuacije in potrebne organizacijske podpore. Na podlagi teh napovedi lahko nastanejo ukrepi za razvoj in pospeševanje kariere, zadrževanje talentov, potrebna usposabljanja in coaching (Business Insights Institute, 2023). Wang in sodelavci (2024) prav tako izpostavljajo sposobnost HDT, da predlaga nadgradnje in prekvalifikacije ter tako pomaga ljudem širiti nabor znanj in spretnosti ter omogoča karierni razvoj.

Izbira ustreznega, personaliziranega usposabljanja: HDT omogoča osebni in profesionalni razvoj zaposlenih z individualno prilagojenim programom usposabljanja in izobraževanja. S povezovanjem in analizo podatkov o zaposlenih lahko organizacije pridobijo vpogled v znanje in vedenje posameznikov ter prilagodijo usposabljanja tako, da bolje naslovijo šibke plati vsakega zaposlenega (Nunn, 2022). Tako HDT omogoča doseganje samoaktualizacije ter rast in razvoj na delovnem mestu (Wang idr., 2024). Raziskovalna skupina iz Novosibirska poudarja, da lahko HDT vsebuje cilje, nabor kompetenc in stil učenja posameznika, na podlagi česar je zmožen oblikovati prilagojen izobraževalni program in določiti individualno izobraževalno pot na podlagi širokega nabora informacij o posamezniku (de Kerckhove, 2021).

Napovedovanje fluktuacije: Organizacije lahko v HDT vnesejo podatke iz anket med zaposlenimi, ocen vodij in podatke o zaposlitveni zgodovini, da ugotovijo, kateri zaposleni so nagnjeni k sprejemanju ponudb konkurence in pri katerih je večja verjetnost, da bodo zapustili organizacijo (Nunn, 2022). Na podlagi teh podatkov lahko organizacije razvijejo posameznikom prilagojene sisteme ugodnosti s ciljem zadrževanja zaposlenih.

Stres: Na podlagi podatkov o življenjskem slogu, socialnih interakcijah ter fizioloških in psiholoških značilnostih lahko HDT izdela model stresa (Ferdousi idr., 2021). Na podlagi rezultatov se lahko oblikujejo potrebne intervence, kot so delavnice o tehnikah spoprijemanja s stresom, aktivni odmori, tehnike sproščanja, vaje čuječnosti, napotitev k strokovnjakom ipd.

Zdravje zaposlenih: Tehnologija HDT ponuja nove priložnosti za zdravstveno varstvo. Omogoča zbiranje fizioloških podatkov, stalno spremljanje zdravstvenega stanja posameznika in s tem boljše napovedovanje morebitnih tveganj za razvoj bolezni ali diagnoz. Tako zagotavlja hitrejša in prilagojene intervence oziroma medicinske odzive (Lin idr., 2024). Omogoča tudi ocenjevanje učinkovitosti različnih načinov zdravljenja (Pascual idr., 2023).

Možnosti za zbiranje podatkov in napovedovanje izidov je veliko. Pametne tehnice omogočajo analizo telesne sestave (maščoba, mišična masa, delež vode ipd.) in izračun indeksa telesne mase (ITM). Te informacije omogočajo pravočasno zaznavanje potencialnih zdravstvenih težav ali tveganj. Pametne ure spremljajo zdravstvene parametre, npr. srčni utrip, raven stresa in kakovost spanja. Te informacije omogočajo pravočasno ukrepanje pred

zdravstvenimi tveganji, npr. srčno-žilnimi obolenji, motnjami spanja ipd. Nudijo tudi informacije o potrebi po programih za zmanjšanje stresa (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

Varnost pri delu: HDT lahko z uporabo GPS naprav na pametnih urah ali telefonih spremlja lokacijo in gibanje zaposlenih. S tem se zagotovi upoštevanje varnostnih standardov, predvsem na območjih z visokim tveganjem. Zagotovljeno je tudi hitro lociranje zaposlenega in s tem hitrejša ukrepanje v primeru nesreče. Poleg tega lahko sledenje z GPS prepreči, da bi novi ali manj usposobljeni delavci vstopili v nevarna območja ali delali v bližini težke mehanizacije (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

Predvidevanje potencialnih napak pri delu: HDT omogoča analizo in razumevanje človeških napak, ki povzročijo nezgode ali nesreče. Na podlagi podatkov predlaga spremembe v taktikah, tehnikah in postopkih, potrebe po usposabljanju ali delovnih postopkih za izboljšanje varnosti (Miller in Spatz, 2022).

Izboljšanje klime in odnosov: Z namenom izboljšanja klime in odnosov na delovnem mestu HDT zbira raznovrstne podatke. Informacije o osebnostnih značilnostih zaposlenih lahko pridobi s pomočjo vprašalnikov, podatke o čustvovanju pa na podlagi video-dnevnikov, ki služijo za analizo obraznih izrazov, ali s pomočjo klepetalnih robotov, ki lahko prepoznajo čustva preko govora zaposlenega (Davila-Gonzalez in Martin, 2024). V HDT lahko tudi ročno vnesete podatke iz anket ali drugih metod, kot je metoda 360°, za ocenjevanje različnih značilnosti, npr. komunikacijskih veščin zaposlenega. Na podlagi teh podatkov se lahko oblikujejo potrebne intervence, kot so delavnice o konstruktivni komunikaciji, podajanju povratne informacije, razumevanju in ustreznem izražanju čustev ali treningi socialnih veščin in asertivne komunikacije.

Počitek in sprostitev: S tehnologijo HDT lahko organizacije spremljajo delovno obremenitev zaposlenih z vpogledom v njihove koledarje, urnike in zadolžitve. Na podlagi teh podatkov lahko sistem predlaga, da si zaposleni vzame dopust, če obstaja visoko tveganje za izgorelost glede na delovno obremenitev. Lahko tudi priporoči obliko sprostitvene ali rekreativne dejavnosti, ki je del paketa ugodnosti organizacije, kot sta članstvo v fitnessu ali uporaba vadbenih prostorov na delovnem mestu (Nunn, 2022).

Razporejanje in dodeljevanje nalog: Tradicionalni pristop k razporejanju delovnih nalog temelji na izkušnjah vodje ekipe, zato je subjektiven, naključen in odvisen od posameznika. Zato se je pojavila potreba po natančnejši, hitrejši in uspešnejši prepoznavi najboljšega zaposlenega za določeno nalogo. Sistem HDT lahko izračuna stopnjo ujemanja na podlagi informacij o zahtevah in podatkov o razpoložljivih zaposlenih. Rezultati razporeditve se nato prikažejo na nosljivi napravi izbranega zaposlenega, ki nato sporoči, ali lahko prevzame in izpolni nalogo (Wang idr., 2024).

Ergonomija: S pomočjo mobilnih naprav in opreme za zajem gibanja se zbirajo koordinate telesa v prostoru in podatki o mišično-skeletnem sistemu. Zbrani podatki se uporabljajo za analizo gibanja in zaznavanje drže, kar omogoča ocenjevanje varnosti in utrujenosti

zaposlenih. Ergonomske ocene temeljijo na štirih kazalnikih tveganja: delovni drži, uporabljeni sili, ročnem upravljanju z materiali in ponavljajočih se gibih. Izhodni podatki so stopnja varnosti in utrujenosti pri delu. Na podlagi teh podatkov sistem HDT opozori zaposlenega, naj prilagodi svojo držo in tako prepreči poškodbe ali nesreče pri delu (Wang idr., 2024).

b. Komu je metoda namenjena

Tako kot pri namenu uporabe je tudi pri ciljni populaciji za uporabo HDT nešteto možnosti. Pri vsakem zaposlenem obstaja možnost uporabe HDT za napovedovanje pomembnih izidov. Kljub temu se je uporaba HDT na določenih področjih uveljavila prej kot na drugih. Ker je HDT najpogosteje uporabljen na področju medicine, industrije in športa, je večina znanih primerov uporabe s teh področij.

Delavci v proizvodni industriji: Na industrijskem področju so raziskovalci s pomočjo HDT zbirali različne vrste podatkov o zaposlenih, kot so fizični, senzorični, kognitivni in antropometrični podatki, podatki o gibanju in lokaciji ter podatki o znanju in veščinah. Vse te podatke HDT uporablja za različne napovedi in ocene, na primer za ocenjevanje intenzivnosti delovne obremenitve in ugotavljanje mišične utrujenosti. Namen takšnih napovedi je izboljšanje produktivnosti in učinkovitosti ter dobrobiti zaposlenih. S simulacijami in ocenami lahko izboljšajo ergonomijo, razporeditev delovnih nalog, optimizacijo urnikov, postavitev delovnih postaj ter zmanjšajo verjetnost napak, nesreč in poškodb pri delu (Lin idr., 2024; Pascual idr., 2023). Predlagajo lahko tudi potrebne rotacije ali odmore za zaposlene (Davila-Gonzalez in Martin, 2024). V proizvodni industriji ljudje in roboti tesno sodelujejo. S pomočjo DT in HDT je mogoče gibanje ljudi in robotov spremljati s senzorji ter ga digitalno napovedovati, kar omogoča izjemno natančno in varno sodelovanje človeka in robota (He idr., 2024).

Operaterji v procesni industriji: HDT se na tem področju uporablja za simulacijo in napovedovanje vedenja operaterjev v različnih, predvsem kriznih situacijah. Na podlagi kognitivnih modelov ter podatkov o zaznavanju, odločanju in usmerjanju pogleda lahko HDT oceni operaterjevo odzivnost, prepozna napake manj izkušenih posameznikov ter ponudi ustrezne povratne informacije za izboljšanje situacijske ozaveščenosti in odločanja v realnem času. Tako HDT prispeva k večji varnosti, učinkovitosti in zanesljivosti delovanja procesnih sistemov. Na podlagi podatkov o pogostih napakah lahko predlaga tudi potrebno usposabljanje (Balaji idr., 2023).

Zdravniki in medicinske sestre: Raziskovalci na Virginia Tech razvijajo napovedni sistem za modeliranje in zmanjševanje izgorelosti med zdravniki in medicinskimi sestrami. Cilj je oblikovati sistem HDT, ki lahko simulira potek stresa med zdravstvenimi delavci. Namen je prepoznati zgodnje kazalnike izgorelosti in omogočiti pravočasne, ciljno usmerjene ukrepe. HDT gradijo s pomočjo podatkov o vsakodnevnih rutinah, čustvenih in kognitivnih obremenitvah ter trajanju nalog. HDT bo zagotavljal odločitveni okvir za oblikovanje individualnih in organizacijskih ukrepov (Operational research society, b. d.).

Športniki: HDT lahko na podlagi podatkov o športniku, pridobljenih iz nosljivih naprav in ročnih vnosov, predlaga optimizacije prehrane, hidracije, vadbenih programov in treningov (Pascual idr., 2023). Prav tako lahko napove športne dosežke z uporabo podatkov, povezanih s telesno pripravljenostjo, kot so čas vadbe, kakovost spanja in prehrana (Lin idr., 2024).

c. Kako metodo izvedemo

V nadaljevanju je predstavljen postopek oblikovanja HDT in nadaljnje uporabe te tehnologije (Lin idr., 2024; Davila-Gonzalez in Martin, 2024; Pan idr., 2025; Gaffinet idr., 2025):

Ocenite potrebe: ugotovite, na katerih področjih obstaja potreba po preventivnih ali kurativnih ukrepih.

Določite namen uporabe: opredelite, kateri podatki o zaposlenih vas zanimajo in kaj želite z njimi napovedovati. Namen uporabe določa izbiro ustreznega nabora in načina zbiranja podatkov, vrste analize ter ustvarjanje napovednih modelov.

Določite vrsto podatkov, ki jih želite zbirati: podatki, med katerimi lahko izbirate, spadajo v štiri glavne kategorije: zunanji podatki o človeku, fiziološki podatki, podatki o medosebnih interakcijah in podatki o interakcijah med človekom in okoljem.

Izberite ustrezne merske pripomočke za zbiranje podatkov: glede na vrsto podatkov izberite najprimernejši način zbiranja. Izbirate lahko med merilnimi napravami (npr. pametna tehnica, video dnevnik, eye-tracker), nosljivimi merilnimi napravami (npr. senzor, pametna ura, pametni telefon, GPS), psihološkimi pripomočki (anketa, vprašalnik, test, intervju) ipd.

Sledite pravnim in etičnim smernicam: zaposlenim oziroma uporabnikom, ki bodo vir podatkov za analize, pojasnite namen zbiranja podatkov, katere podatke boste zbirali in kaj boste z njimi počeli. Uporabnik HDT je lastnik svojih podatkov, zato sam določa, katere podatke o sebi dovoli zbirati, ter lahko zahteva izbris podatkov v katerikoli fazi oblikovanja HDT.

Zbirajte podatke: z izbranimi pripomočki zberite potrebne podatke o zaposlenih.

Prenesite podatke: povežite vire podatkov (npr. merilne naprave) in napravo (npr. računalnik), v kateri boste podatke zbirali in shranjevali. Odločite se med možnostmi: dvosmerni prenos podatkov (v obe smeri, iz merskih pripomočkov v računalnik in obratno) ali enosmerni prenos, prenos v realnem času ali naknadno nalaganje podatkov ter avtomatski prenos ali ročni vnos podatkov. Naštete možnosti lahko po potrebi kombinirate.

Združite podatke: za združitev podatkov različnih modalnosti v delujoč HDT oziroma uporabniški profil (angl. User profile) so potrebne zanesljive tehnike združevanja in upravljanja podatkov. Podatke je treba časovno uskladiti in poskrbeti za manjkajoče vnose.

Izberite način obdelave podatkov: ta je vezan na vaš namen (2. korak). Izberite ustrezne analize glede na značilnosti podatkov in izide, ki jih želite izračunati.

Izgradite model HDT: HDT z uporabo modelirnih tehnologij (npr. strojnega učenja, modeliranja ipd.) iz nabora podatkov v bazi zgradi model (dvojček), ki ustreza človeku v fizičnem svetu.

Ustvarite simulacije in napovedi: HDT na podlagi podatkov in izvedenih analiz simulira in napoveduje stanje posameznika ter možne izide.

Ustvarite profil uporabnika in nadzorno ploščo: širok nabor informacij in rezultatov, ki jih omogoča HDT, zberite, shranite in prikažite v uporabniškem profilu. Ta vmesnik zaposlenim s pomočjo nadzorne plošče nudi razumljiv in celosten vpogled v rezultate. Tako lahko zaposleni in analitiki z nadzorne plošče razberejo stopnjo tveganja za posamezne parametre ter dobijo celovit vpogled v stanje zaposlenega. HDT lahko preko uporabniškega profila zaposlenemu pošilja aktualna priporočila in opozorila, na primer naj si v tistem trenutku vzame odmor ali spremeni držo pri delu na delovni postaji.

Podajte povratne informacije uporabnikom HDT: zaposlenim podajte povratne informacije in interpretacije podatkov, ki jih omogoča HDT. Pri tem si lahko pomagata z vizualizacijsko tehnologijo, ki zaposlenim nudi razumljiv prikaz rezultatov, modelov in napovedi.

Ukrepite na podlagi rezultatov: s pomočjo napovedi, ki jih poda HDT, oblikujte ustrezne ukrepe. Ob zaznanih tveganjih, težavah ali izzivih pripravite rešitve, kot so prilagoditve na delovnem mestu, ergonomske rešitve, delavnice, tečaji, usposabljanja, preventivni zdravstveni ukrepi ipd.

Shranite podatke: surove in obdelane podatke shranite v bazo HDT za nadaljnje analize in posodobitve samega HDT.

Omogočite razvoj HDT: HDT se na osnovi zbranih podatkov in ustvarjenih analiz razvija, izvaja nadaljnje analize in ocene, preverja natančnost napovedi modelov ter jih prilagaja in optimizira.

d. Primeri uporabe metode

Karierni razvoj: Woodside, avstralsko podjetje za nafto in plin, si prizadeva razvijati svoje zaposlene. V ta namen so se povezali z Business Insights Institute, da bi za vsakega zaposlenega ustvarili HDT. Na podlagi podatkov, zbranih iz kariernih izkušenj, usposabljanj, razvoja in dosežkov zaposlenih, nameravajo z uporabo simulacij, strojnega učenja in napredne analitike napovedati karierno pot zaposlenega, njegovo uspešnost in druge izide. Na podlagi teh napovedi želijo pripraviti prilagojen načrt za vsakega zaposlenega, ki vključuje priporočila za karierni razvoj, zadrževanje talentov, prilagojeno organizacijsko podporo ter priporočila za potrebna usposabljanja in coaching (Business Insights Institute, 2023).

Napovedovanje odzivanja in odpravljanje napak v kriznih situacijah: Za zagotavljanje varnega in učinkovitega delovanja morajo operaterji v procesni industriji sprejemati pravočasne in ustrezne odločitve na podlagi spreminjajočih se informacij v realnem času. Kadar pride do nepričakovanih situacij ali odstopanj v procesu, morajo hitro posredovati, zato morajo hkrati spremljati informacije iz številnih virov. Takšno delo povečuje kognitivno obremenitev, zlasti kadar operater ni ustrezno usposobljen ali mu primanjkuje izkušenj. Zato se je pojavila potreba po izboljšanju učinkovitosti operaterjev, predvsem v kriznih situacijah. Pri tem je treba razumeti in preučiti kognitivne procese operaterjev ter razviti orodja, ki lahko simulirajo njihovo vedenje v različnih razmerah. Takšno orodje lahko napove, kako se bo operater odzval med dejanskim delovanjem obrata v realnem času. Trenutni pristopi tega ne omogočajo, zato se je pojavila potreba po oblikovanju HDT za analizo in napovedovanje.

Balaji in sodelavci (2023) so razvili HDT operaterja v nadzorni sobi, ki je odgovoren za nadzor procesnega obrata. Cilj HDT je posnemati vedenje človeškega operaterja, zato uspešen razvoj HDT zahteva, da so njegove kognitivne sposobnosti primerljive s sposobnostmi dejanskega človeškega operaterja. Predhodne raziskave so pokazale, da sledenje očem ponuja dragocen vpogled v kognitivne procese operaterjev (Srinivasan idr., 2019; Shahab idr., 2021a). Balaji in sodelavci so HDT razvili z uporabo kognitivne arhitekture ACT-R (Adaptive Control of Thought–Rational), ki vključuje module za posnemanje človeškega vedenja med izvajanjem nalog. Rezultati so pokazali, da HDT, razvit s pomočjo ACT-R, kaže podobne vzorce usmerjanja pogleda (angl. gaze behavior) kot operaterji. To nakazuje, da so kognitivne sposobnosti HDT primerljive s sposobnostmi operaterjev. HDT je torej uspešno simuliral delovanje in vedenje operaterjev. Podatki iz HDT se lahko uporabijo za ustvarjanje obsežne baze, ki omogoča prepoznavanje pomanjkljivosti in odpravljanje napak v odzivanju manj izkušenih ali manj uspešnih operaterjev pri soočanju s kriznimi razmerami. Na podlagi takšne baze podatkov lahko nastanejo priporočila za potrebna usposabljanja. Ko pride do krizne situacije, lahko HDT napove, ali se bo operater znal ustrezno odzvati. Poleg tega lahko HDT ponudi ustrezne namige operaterju in tako prispeva k izboljšanju njegove situacijske ozaveščenosti (Balaji idr., 2023).

5. Vloga psihologa

Pregled potreb in določitev namena uporabe: Prvi koraki pri uporabi metod za razvoj zaposlenih, vključno s HDT tehnologijo, zajemajo preverjanje potreb v organizaciji, postavitve jasnih ciljev in določitev namena uporabe izbrane metode. Psihologi v organizaciji preučijo potrebe po raziskovanju in spremljanju različnih spremenljivk za zagotavljanje dobrobiti in razvoja zaposlenih. Na tej podlagi določijo vrsto in način obdelave podatkov ter izberejo ustrezne metode in analize za doseg želenega cilja, kot je napoved ali simulacija, ki jo želijo izvesti.

Svetovanje o metodološkem pristopu: Psihologi lahko organizaciji svetujejo, katere informacije zbirati, na kakšen način (s katerimi merskimi pripomočki) in kako te podatke analizirati. Ko iz analiz nastanejo različne napovedi, lahko psihologi predlagajo ukrepe, povezane s temi napovedmi ali izidi (npr. potrebna usposabljanja, delavnice, prilagoditve delovnega mesta in urnika, motiviranje zaposlenih ipd.).

Etika in pravni okvirji uporabe: Pomembna vloga psihologov pri uporabi HDT je opozarjanje na etični vidik uporabe te tehnologije in pripadajoči pravni okvir, ki določa pravice zaposlenih in varovanje osebnih podatkov. Pravne in etične smernice o varovanju podatkov zahtevajo dosledno spoštovanje načel privolitve oziroma soglasja, prostovoljne udeležbe, transparentnosti in načela najmanjšega obsega podatkov. Zaposleni morajo imeti pravico do dostopa, spreminjanja in izbrisa svojih podatkov. Poskrbeti je treba tudi za zaščito pred nepooblaščenimi vdori v baze podatkov. Poleg upoštevanja pravnih okvirjev je pomembno opozarjati na vključevanje zaposlenih, upoštevanje njihovih pomislekov ter jasno ločitev med osebnim in poklicnim življenjem. Upoštevati je treba tudi pravico do odklopa in temu ustrezno prilagoditi proces pridobivanja podatkov o zaposlenih (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

Sodelovanje v raziskavah: Pregled literature kaže, da se na področju HDT odpirajo številne možnosti za prihodnje raziskave. Eno izmed možnih raziskovalnih področij je izboljšanje natančnosti in realističnosti HDT tehnologije, da bi bolje posnemala vedenje in značilnosti ljudi, kar zahteva nadgradnjo metod in tehnik modeliranja ter simulacij. Drugo raziskovalno

področje je širitev uporabe HDT na nove panoge in sektorje. Čeprav se HDT trenutno uporablja predvsem v zdravstvu in industriji, bi bila implementacija HDT koristna tudi v drugih panogah. Zato je treba raziskati možnosti implementacije in učinkovitosti uporabe te tehnologije na drugih področjih (Pascual idr., 2023).

Mnenje in počutje zaposlenih: Psihologi lahko opozorijo na vpliv uporabe HDT na občutek varnosti, zasebnosti in splošno dobrobit zaposlenih. Lahko stopijo v stik z zaposlenimi in pridobijo informacije, kot so mnenja, občutki in stališča o implementaciji te tehnologije. To so dragocene informacije za nadaljnji razvoj HDT.

Uporabniška izkušnja: Psihologi lahko sodelujejo v multidisciplinarnih timih, da zagotovijo čim boljšo uporabniško izkušnjo. Pomembno je preveriti, ali so vmesniki (npr. uporabniški profil in nadzorna plošča) uporabnikom prijazni, razumljivi, prilagojeni kognitivnim zmožnostim, znanju in tehnološkim veščinam.

6. Prednosti in omejitve pri uporabi metode

PREDNOSTI

Sprotno spremljanje: HDT omogoča spremljanje posameznika v realnem času (angl. real-time), kar omogoča prilagajanje in posodabljanje analiz na podlagi najnovejših oziroma aktualnih podatkov (Nunn, 2022).

Proaktivni in pravočasni ukrepi: Ena najprelomnejših zmožnosti HDT je njegova sposobnost delovanja kot nenehen analitik, ki v realnem času odraža posameznikovo stanje, predvideva spremembe in zazna morebitne težave, še preden postanejo kritične. Tako omogoča zgodnje odzivanje (Pan idr., 2025) ali celo odkrivanje težav, še preden se pojavijo (Nunn, 2022). Posledično omogoča proaktivne ukrepe in strategije (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

Širok spekter podatkovnih področij: Zaradi napredka na področju integracije podatkov, umetne inteligence in velikega podatkovja so možnosti uporabe praktično neomejene (Nunn, 2022). HDT lahko zbira in shranjuje podatke različnih modalnosti, potrebne za najrazličnejše napovedi in simulacije.

Izvedba v virtualnem okolju: HDT lahko kadrovskim službam pomaga izkoristiti velike količine podatkov, ki jih zbirajo vsak dan, ter omogoča načrtovanje in preizkušanje novih procesov in prilagoditev v virtualnem okolju, še preden jih uvedejo v resničnem svetu, kar lahko znižuje časovne in finančne stroške (Nunn, 2022).

Integracija sodobne tehnologije v en sistem: Uporaba tehnologije DT in HDT zahteva integracijo sodobnih pristopov, kot so veliko podatkovje, umetna inteligenca, pametni senzorji (npr. pametne ure, tehnice, telefoni), strojno učenje in kompleksni statistični postopki v integriran sistem za izboljšanje varnosti in dobrobiti zaposlenih (Davila-Gonzalez in Martin, 2024).

OMEJITVE IN IZZIVI

ETIČNA IN PRAVNA VPRAŠANJA:

Etični pomisleki: Razvoj in uporaba HDT odpira številna etična vprašanja, na primer o privolitvi v zbiranje, obdelavo in simulacijo podatkov. Pojavljajo se nejasnosti glede informirane privolitve: kdaj uporabnik dejansko privoli v posodobitve, simulacije ali nadgradnje, ki jih izvede njegov digitalni dvojček? Kako so uporabniki oziroma zaposleni vključeni v odločitve, ki jih sprejema ali predlaga dvojček, in kako lahko te odločitve prekličejo? (Pan idr., 2025). Če organizacija uporablja HDT za odločitve o zaposlovanju ali napredovanju, se lahko pojavijo tudi pomisleki glede diskriminacije ali pristranskosti (Pascual idr., 2023).

Pravni vidiki: Zakonodaja ureja zbiranje, uporabo in shranjevanje osebnih podatkov. Ti zakoni zahtevajo, da organizacije pridobijo soglasje posameznika, preden zberejo njegove podatke, ter jih zaščitijo pred nepooblaščenim dostopom ali zlorabo. To je tesno povezano z vprašanjem lastništva HDT. Pogosto se pojavljajo pomisleki o tem, kdo je lastnik podatkov, uporabljenih za ustvarjanje HDT, in kdo ima pravico do njihove uporabe ali nadzora nad HDT (Pascual idr., 2023). Poleg naštetih izzivov se odpira tudi vprašanje odgovornosti, kadar HDT povzroči škodo zaradi napake v izdelavi, ter vprašanja o usodi digitalnega dvojčka po smrti posameznika (de Kerckhove, 2021).

Zloraba HDT tehnologije: Pomemben problem je namerna zloraba HDT tehnologije, kamor sodijo nadzor s strani držav ali korporacij, manipulacija s strani političnih akterjev ali komercialno trženje, usmerjeno na posameznike prek njihovih digitalnih dvojčkov (Gaffinet idr., 2025). HDT deluje na podlagi občutljivih podatkov, ki lahko vključujejo tudi vedenjske, genetske ali socialne informacije. Če bi ti podatki prišli v napačne roke, bi lahko razkrili osebne podrobnosti in omogočili diskriminacijo na primer na področju zaposlovanja ali zavarovanja (Pan idr., 2025).

Kibernetska (ne)varnost: Pojavlja se vse večja potreba po učinkovitih sistemih za kibernetsko varnost in zaščito zasebnosti podatkov zaradi vse pogostejših in neustavljivih kibernetskih groženj. Hakerji in kibernetski kriminalci nenehno iščejo nove načine za dostop do občutljivih informacij in krajo podatkov, kar lahko povzroči resne posledice tako za posameznike kot za organizacije (Pascual idr., 2023).

STROŠKI:

Finance: Visoki stroški in kompleksna infrastruktura HDT tehnologije bi lahko upočasnili širšo uvedbo. Uvedba tehnologije HDT je draga, saj zahteva obsežne naložbe v tehnološke platforme (npr. senzorje in programsko opremo), razvoj zastarele IT-infrastrukture, vzdrževanje, nadzor kakovosti podatkov in varnostne sisteme ter usposobljen kader ali zunanjo podporo (Attaran in Celik, 2023).

Multidisciplinarnost: Implementacija in uporaba HDT zahtevata multidisciplinarno sodelovanje med področji, kot so kognitivna znanost, psihologija, biomedicina, IT, računalništvo in druga (Gaffinet idr., 2025).

TEŽAVE S PODATKI:

Vrzel v podatkih: HDT se zanaša na podatke, ki jih prejema. Glede na namen uporabe se lahko oseba, ki ima svojega digitalnega dvojčka, čez dan giblje v različnih okoljih. Pomanjkanje omrežne pokritosti (angl. network coverage) lahko povzroči motnje v zbiranju

podatkov in posledično vrzeli oziroma manjkajoče podatke, kar neposredno vpliva na sposobnost HDT, da ustvarja modele v realnem času in zagotavlja povratne informacije podvojeni entiteti (Gaffinet idr., 2025).

Količina in kakovost podatkov ter manjkajoči podatki: Ker vseh vrst podatkov ni mogoče zbirati ves čas, morajo biti modeli odporni na manjkajoče podatke. Podobno odpornost morajo imeti tudi na slabo kakovost podatkov, zlasti kadar so v bazi ročno vneseni podatki. To omejitev posebej občutijo modeli strojnega učenja, saj za učenje potrebujejo velike količine kakovostnih podatkov (Gaffinet idr., 2025).

Časovni razpon: Pojavi, ki vplivajo na stanje in vedenje človeka, se dogajajo v različnih časovnih razponih, kar lahko oteži modeliranje. Počasni procesi, kot sta staranje ali spreminjanje razpoloženja, prav tako vplivajo na vedenje, vendar jih je težko vključiti v napovedne modele ali simulacije (Gaffinet idr., 2025).

Heterogenost podatkov: HDT vključuje shranjevanje in analizo različnih vrst informacij o človeku. Te informacije so predstavljene v različnih oblikah (npr. številke, slike, besedilo, zvok itd.) in shranjene v različnih sistemih. Ker se za izgradnjo HDT uporabljajo večmodalni in večizvorni podatki, govorimo o heterogenosti podatkov, kar otežuje njihovo integracijo (Lin idr., 2024).

Posplošljivost modelov: Človek je pri delu izpostavljen širokemu spektru kontekstov, kar otežuje prenosljivost in posploševanje modelov. Na primer, model vizualne pozornosti se lahko uporablja v različnih kontekstih – pri vedenju voznika ali pri pozornosti tovarniškega delavca. Drugih, bolj specifičnih modelov, pa ni mogoče enostavno prenašati na različna področja (Gaffinet idr., 2025).

TEŽAVE Z MERJENJEM:

Entiteta brez senzorjev: Pri tradicionalnih digitalnih dvojčkih, katerih podvojena entiteta je na primer stroj, je mogoče tehnični sistem zasnovati z vgrajenimi senzorji. Človeški posameznik pa seveda nima integriranih senzorjev, številni notranji procesi pa s trenutno tehnologijo niso zlahka merljivi (Gaffinet idr., 2025).

Notranji procesi in kognicija: Ena izmed težje merljivih kategorij je človeška kognicija. Običajno jo preučujejo s pomočjo tehnik slikanja možganov, kot sta funkcionalna magnetna resonanca in elektroencefalografija (Gaffinet idr., 2025). Takšnih tehnik merjenja kognitivnih procesov ni mogoče izvajati sproti, kot je to mogoče pri fizioloških kazalnikih, kot je utrip srca. Kognitivni vidiki predstavljajo velik izziv tudi pri modeliranju (Gaffinet idr., 2025). Veliko procesov obdelave informacij poteka tudi podzavestno, zato ni enostavno razumeti človeškega mišljenja (Lin idr., 2024).

7. Moj pogled na metodo

Človeški digitalni dvojček kot metoda za razvoj zaposlenih predstavlja odlično priložnost za združitev najnovejših tehnoloških in metodoloških dosežkov, kot so umetna inteligenca, strojno učenje, veliko podatkovje, napredne merilne naprave in drugi. Nedvomno se hitro pomikamo v smer vse večje digitalizacije in personalizacije. S tega vidika ima metoda HDT svetlo prihodnost. Omogoča shranjevanje in analizo različnih podatkov, da bi človeka in njegove značilnosti postavili v središče zanimanja ter mu ponudili personalizirane načrte, kar

je skladno z Industrijo 5.0. Menim, da zaradi prilagodljivosti metode obstaja način uporabe HDT za vsakega zaposlenega. Z vse večjim poudarkom na osebni rasti, razvoju, dobrem počutju in zdravju verjamem, da bi zanimanje za lastnega človeškega digitalnega dvojčka lahko prešlo tudi v zasebno življenje, kjer bi posameznik sam komuniciral z osebnim HDT in ga uporabljal kot osebnega svetovalca.

Vendar pa »z veliko močjo pride tudi velika odgovornost«. Pasti, kot so preveliko zanašanje na HDT in umetno inteligenco, kibernetiski napadi, etično sporno ravnanje s podatki in zloraba podatkov o zaposlenih, lahko zmanjšajo zaupanje v HDT tehnologijo in tako upočasnijo njen razvoj. Zaradi široke možnosti uporabe metode se pojavljajo tudi številni pravni in etični pomisleki, o katerih je treba temeljito razmisliti, preden takšno tehnologijo implementiramo. Predvsem je treba v ospredje diskusije postaviti varovanje podatkov in razmejitve poklicnega ter zasebnega življenja. Organizacije morajo pred implementacijo HDT zagotoviti ustrezno pripravo: z multidisciplinarnimi timi, sodobno in delujočo IT-infrastrukturo ter potrebno zunanjo podporo. Ker je metoda še v razvojni fazi, je treba zbrati še veliko dodatnih informacij o njeni učinkovitosti in načinih uporabe. To je zlasti pomembno raziskati v različnih panogah, saj ugotovitve za zdaj prihajajo predvsem s področja industrije in medicine. Psihologi predstavljamo enega ključnih členov multidisciplinarnega tima na področju HDT, saj z metodološkimi spretnostmi, poznavanjem merskih pripomočkov, razumevanjem človeka in njegovega delovanja ter občutljivostjo za etična vprašanja pomembno prispevamo k vsakemu koraku razvoja in uporabe človeških digitalnih dvojčkov.

8. Literatura

- Attaran, M. in 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>
- Balaji, B., Shahab, M. A., Srinivasan, B. in Srinivasan, R. (2023). ACT-R based human digital twin to enhance operators' performance in process industries. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17, 1038060. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1038060>
- Business Insights Institute (21. 9. 2023). *Human digital twin for leaders*. <https://www.businessinsights.unsw.edu.au/human-digital-twin-leaders>
- Davila-Gonzalez, S. in Martin, S. (2024). Human Digital Twin in Industry 5.0: A Holistic Approach to Worker Safety and Well-Being through Advanced AI and Emotional Analytics. *Sensors*, 24(2), 655. <https://doi.org/10.3390/s24020655>
- De Kerckhove, D. (2021). The personal digital twin, ethical considerations. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2207), 20200367. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0367>
- Ferdousi, R., Hossain, M. A. in El Saddik, A. (2021). IoT-enabled model for Digital Twin Of Mental Stress (DTMS). *2021 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/GCWkshps52748.2021.9681996>
- Gaffinet, B., Al Haj Ali, J., Naudet, Y. in Panetto, H. (2025). Human Digital Twins: A systematic literature review and concept disambiguation for industry 5.0. *Computers in Industry*, 166, 104230. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104230>
- Graessler, I. in Poehler, A. (2017). Integration of a digital twin as human representation in a scheduling procedure of a cyber-physical production system. *2017 IEEE International*

- Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 289–293.
<https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289898>
- Greco, A., Caterino, M., Fera, M. in Gerbino, S. (2020). Digital Twin for Monitoring Ergonomics during Manufacturing Production. *Applied Sciences*, 10(21), 7758.
<https://doi.org/10.3390/app10217758>
- He, Q., Li, L., Li, D., Peng, T., Zhang, X., Cai, Y., Zhang, X. in Tang, R. (2024). From Digital Human Modeling to Human Digital Twin: Framework and Perspectives in Human Factors. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 37(1), 9.
<https://doi.org/10.1186/s10033-024-00998-7>
- Lin, Y., Chen, L., Ali, A., Nugent, C., Cleland, I., Li, R., Ding, J. in Ning, H. (2024). Human digital twin: A survey. *Journal of Cloud Computing*, 13(1), 131.
<https://doi.org/10.1186/s13677-024-00691-z>
- Miller, M. E. in Spatz, E. (2022). A unified view of a human digital twin. *Human-Intelligent Systems Integration*, 4(1–2), 23–33. <https://doi.org/10.1007/s42454-022-00041-x>
- Nunn, J. (31. 5. 2022). *How digital twins in HR can help predict problems and lead to organizational change.* Forbes.
<https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2022/05/31/how-digital-twins-in-hr-can-help-predict-problems-and-lead-to-organizational-change/>
- Operational research society. (b. d.). *Modelling Burnout: Virginia Tech Researchers Apply Digital Twin Systems to Healthcare Workforce Well-being.*
<https://www.theorsociety.com/ORS/ORS/About-OR/News/Digital-Twin-Burnout.aspx>
- Pan, R., Sun, H., Chen, X., Pedrielli, G. in Huang, J. (2025). *Human Digital Twin: Data, Models, Applications, and Challenges* (Različica 1). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2508.13138>
- Pascual, H., Bruin, X. M., Alonso, A. in Cerdà, J. (2023). *A Systematic Review on Human Modeling: Digging into Human Digital Twin Implementations* (Različica 1). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2302.03593>
- Wang, B., Zhou, H., Li, X., Yang, G., Zheng, P., Song, C., Yuan, Y., Wuest, T., Yang, H. in Wang, L. (2024). Human Digital Twin in the context of Industry 5.0. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 85, 102626.
<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2023.102626>