

Prípadová štúdia

Digitálne dvojča
Sieťové odvetvia

Autor: Tomáš Pavlík

Východisková situácia

Koncept používania modelov (fyzických alebo digitálnych), ktoré napodobňujú správanie skutočných produktov, nie je nový. Napríklad program Apollo NASA používal identické vesmírne vozidlá, takže jedno vozidlo bolo možné použiť na testovanie postupov na Zemi, zatiaľ čo druhé bolo vo vesmíre. Prvé použitie termínu „Digitálne dvojča“ sa objavilo už v roku 2010 v správe NASA.

V oblasti inteligentných miest a regiónov v súčasnosti mnohé samosprávy vo svete začali využívať výhody tohto konceptu v rôznych oblastiach, napr. prístup k verejnej doprave, stav mestských sietí atď., pretože digitálne dvojčičky poskytujú pracovné nástroje na študovanie budúceho vývoja, napr. modelovaním budov, sietí a infraštruktúry a zlepšujú riadenie mesta.

Na Slovensku si už viaceré samosprávne kraje a mestá osvojili tento koncept, zbierajú a vyhodnocujú dáta, snažia sa prepájať vlastné dáta s dátami nimi zriadených spoločností a organizácií, ale i riešiť špecifické situácie napr. s dátami od iných verejných inštitúcií či súkromných spoločností. Mnohé ďalšie samosprávy majú rovnako záujem implementovať koncept digitálnych dvojčiat do svojich rozhodovacích procesov, avšak potykajú sa s množstvom problémom, a to nielen s nedostatkom zdrojov, ale i nedostatkom praktických informácií a odborných kapacít. Veľkou výzvou pre všetkých je integrácia a kvalita dát, t. j. zabezpečiť, aby rôzne systémy a technológie mohli spolupracovať a zdieľať údaje.

Definícia digitálneho dvojčaťa

Digitálne dvojča je virtuálny model fyzického objektu alebo procesu. Na oživenie digitálneho dvojčaťa je potrebné prepojiť dáta v reálnom čase s matematickými modelmi alebo AI [1].

Ďalšie bežné definície digitálneho dvojčaťa

Digitálne dvojča je virtuálna reprezentácia zariadenia alebo skupiny zariadení z reálneho sveta. Tieto virtuálne reprezentácie sa nachádzajú v cloude alebo na hraničnom uzle (edge node). Využívajú sa na reprezentáciu zariadení, ktoré si nevyžadujú byť nepretržite online, alebo na simulovanie vplyvov zavádzania nových aplikácií a služieb pred ich nasadením do reálneho prostredia [2].

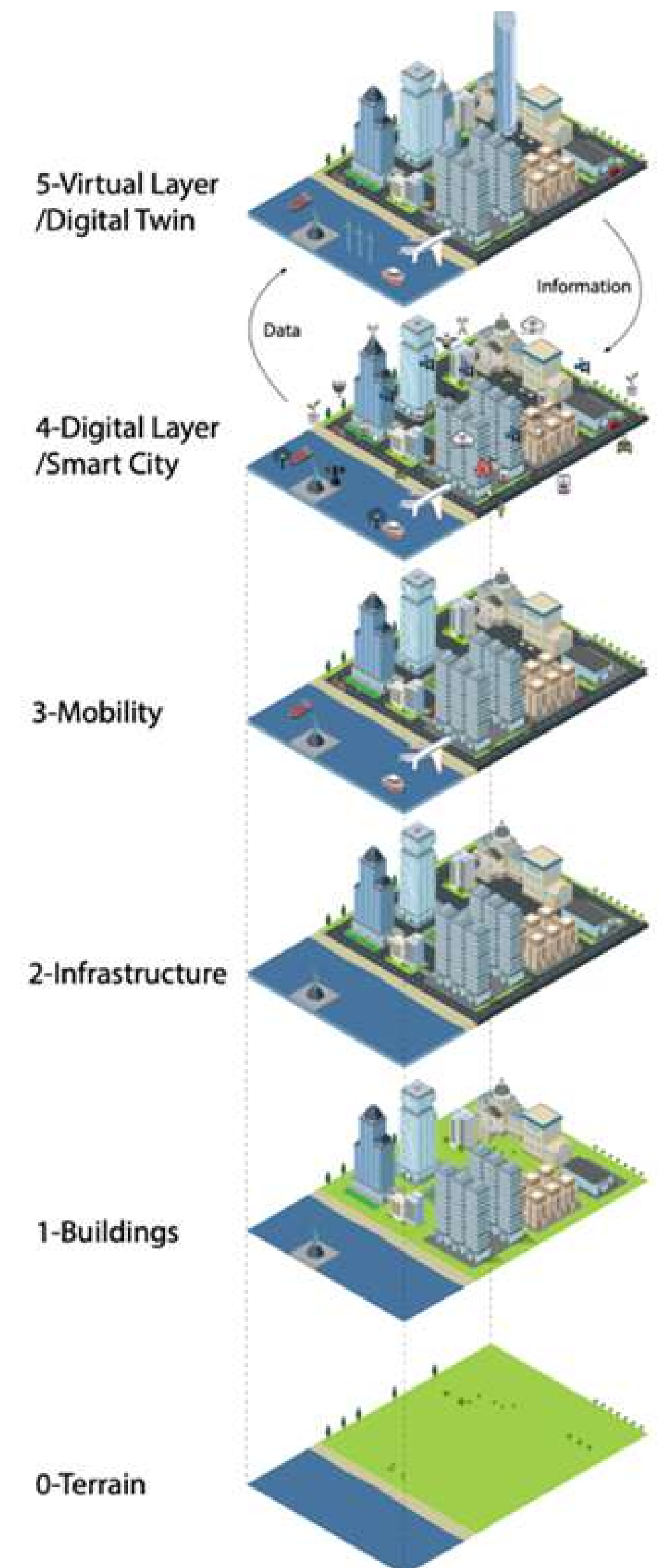
Digitálne dvojča je nielen virtuálna reprezentácia fyzického objektu alebo systému – je to oveľa viac ako len technická napodobenina. Digitálne dvojčatá využívajú dáta, strojové učenie a internet vecí (IoT), aby pomohli firmám optimalizovať, inovovať a poskytovať nové služby.

Filozofiou tohto konceptu je, že oddelenie digitálneho systému od entity alebo entít zjednodušuje proces úpravy jednotlivých komponentov, bez potreby vykonávať nákladné zmeny fyzického náprotivku. Takéto oddelenie je užitočné najmä v zložitých ekosystémoch s mnohými premennými, pretože umožňuje sledovať a simulovať vplyvy, ktoré môžu mať jednotlivé zmeny na iné prvky systému. Potom je možné robiť informatívne rozhodnutia na základe týchto simulácií, t. j. ako postupovať pri ich zavádzaní [3].

Ako bolo uvedené, digitálne dvojčatá sa pôvodne využívali na zlepšenie výrobných procesov v priemyselnom prostredí – modelovanie komponentov umožnilo vykonávať simulácie a optimalizovať výrobu ako aj predpovedať dôsledky zmeny dizajnu.

Avšak s nedávnymi vylepšeniami a dostupnosťou informačných modelov budov BIM (BIM[1] – Building Information Modeling) [4] a veľkým množstvom dát generovaných IoT senzormi je v súčasnosti možné spoľahlivo modelovať aj virtuálne mesto či región a vytvárať tak digitálne dvojčičky takýchto komplexných entít [5].

Digitálne dvojča pre inteligentné mesto možno rozdeliť do jednotlivých vrstiev. Od základnej definície terénu až po komplexnú simuláciu všetkých systémov a infraštruktúr mesta. Na Obr. č. 1 je znázornený príklad takéhoto vrstvenia [5]. Nie všetky digitálne dvojčatá musia striktno dodržiavať rovnakú štruktúru, uvedené znázornenie je možné považovať za dobrý východiskový bod.



Obr. č. 1 Jednotlivé vrstvy digitálneho dvojčaťa inteligentného mesta

Popis vrstiev inteligentného mesta

- **Vrstva č. 0** – Spočíva v zadefinovaní terénnych a prírodných prvkov, ako sú rieky, lesy alebo hory ležiace na pozemku mesta pomocou GIS údajov [6].
- **Vrstva č. 1** – Predstavuje reprezentáciu 3D modelov mestských budov pomocou dát, napr. dáta typu BIM.
- **Vrstva č. 2** – Následne sa v rámci tejto vrstvy zadefinuje infraštruktúra mesta, ako sú cesty, elektrické alebo telekomunikačné stanice a podobne. V prípade, že informácie o infraštruktúre mesta nie sú k dispozícii, je možné použiť aj otvorené dáta ako napríklad OpenStreetMap [7] alebo OpenCellID [8].
- **Vrstva č. 3** – Ide o vrstvu, ktorá zahŕňa vrstvu mobility, t. j. informácie o verejnej doprave, pohybe ľudí alebo premávke.
- **Vrstva č. 4** – Táto vrstva obsahuje dáta a údaje pochádzajúce z IoT senzorov. Ide o tzv. digitálnu vrstvu, ktorá poskytuje informácie o stave rôznych inteligentných infraštruktúr v reálnom čase a tvorí základ pre inteligentné mesto. Miera detailu údajov závisí od množstva použitých senzorov.
- **Vrstva č. 5** – Nakoniec sa vytvorí takzvaná virtuálna vrstva, ktorá predstavuje digitálne dvojča. Táto posledná vrstva generuje cenný prehľad pomocou informácií z nižších vrstiev a môže taktiež aktualizovať ich hodnoty na základe spätnej väzby. Typicky v poslednej vrstve prebiehajú analýzy, simulácie a kognitívne schopnosti.

Tento inovatívny prístup rýchlo naberá na popularite, pretože prináša množstvo výhod, keďže priamo riešia zložité výzvy, ktorým čelia mestá a miestne samosprávy. Vďaka vytvoreniu digitálnych dvojčiat svojej samosprávy je možné využiť silu poznatkov založených na údajoch a dátach, optimalizovať riadenie zdrojov, zlepšiť služby pre občanov a zabezpečiť trvalo udržateľný rozvoj a odolnosť svojich komunít.

Prínos digitálnych dvojčiat pre rozvoj krajov, miest a obcí

Inými slovami, digitálne dvojčatá môžu pomôcť verejnej správe, urbanistom, investorom alebo iným zainteresovaným stranám robiť informované rozhodnutia tým, že poskytnú podrobné pochopenie mestských systémov a infraštruktúry. Vďaka virtuálnej reprezentácii fyzického prostredia mesta môžu byť údaje a dáta, zhromaždené z rôznych zariadení a senzorov, nepretržite analyzované a spracovávané. Simulácie, potenciálne riadené umelou inteligenciou (AI), je možné použiť na testovanie špecifických politík a ich účinkov na existujúce prostredie bez potreby ovplyvniť fyzický svet. To pomáha predchádzať chybám a umožňuje efektívnejšie plánovanie a rozhodovanie. Inými slovami, mesto alebo kraj môže simulovať vplyv zmeny trate autobusovej linky predtým, ako do nej investuje peniaze, môže napláňovať preventívne opatrenia na povodeň skôr, ako k nej dôjde, alebo identifikovať zastarané časti infraštruktúry, ktorých výmena by v dlhodobom horizonte ušetrila peniaze.

Keď je digitálne dvojča navrhnuté ako interaktívny model alebo simulácia a poskytuje užívateľsky prívetivejšie prostredie na demonštráciu navrhovaných zmien, môže byť použité ako efektívny nástroj pre komunikáciu a oboznamovanie verejnosti. Zlepšenia vykonané v okolitom prostredí tak môžu byť demonštrované pred vykonaním, čo umožňuje verejnosti pochopiť dôvody konkrétneho rozhodovania. Digitálne dvojčinky tým, že ponúkajú intuitívnu vizuálnu reprezentáciu mesta a jeho prevádzky, podporujú transparentnosť. To vedie k zvýšeniu povedomia verejnosti o rôznych mestských výzvach, ako sú environmentálne problémy, dopravné zápchy či vysoká spotreba energie.

Prípadové štúdie

Vo svete existuje veľa dobrých príkladov implementácie a využitia digitálnych dvojčiat. Singapur je často uvádzaný ako vôbec jedno z najlepšie zdigitalizovaných miest na svete. Je to mestský štát s veľmi vzácnymi (zriedkavými) prírodnými plochami a v minulosti bol pravidelne vystavovaný záplavám. Virtuálna dvojčinka Singapuru ukazuje detailnú 3D reprezentáciu mesta (v podstate štátu) a pokračuje v 3D reprezentácii podzemia, keďže takmer celá mestská infraštruktúra je v podzemí. Digitálne dvojča kombinuje všetky dáta na jednotnej platforme a je prístupná pre vládne/mestské organizácie pri ich manažovaní aktív a rozhodovaní v rôznych oblastiach – od pohotovostných služieb a simulácie evakuačných scenárov, cez modelovanie dopravných a peších trás až po budovanie novej infraštruktúry [9].

Taktiež severná Európa poskytuje veľa príkladov známych a úspešných digitálnych dvojčiat. Helsinky začali s prvými 3D modelmi budov už v 80tych rokoch minulého storočia. V súčasnosti ich digitálna kópia umožňuje virtuálnu prehliadku mesta, a to dokonca v rôznych obdobiach. Je možné si prezerať budovy, terén, ale napr. aj 3D modely s informáciami o obnoviteľných zdrojoch energií. Mesto sa pýši tým, že digitálne dvojča využíva pre znižovanie karbónovej stopy, zlepšovanie mestských služieb a podpore inovatívnych iniciatív. Ďalšie severské mestá, ktoré sa prezentujú zaujímavými modelmi sú napríklad mesto Tampere alebo digitálne dvojča prístavu v Oulu.

Silnými hráčmi sú aj holandské mestá ako Amsterdam alebo Rotterdam, Zürich, ale napríklad aj blízka Viedeň, ktorá vyvíja Digitálne geo Twin – sémantickú, virtuálnu 3D repliku mesta.

Veľké mestá majú finančné, technické a ľudské zdroje, a preto sú prirodzeným centrom pre vznik inovácií nielen v oblasti digitálnych dvojčiek. Avšak táto technológia je dostupná aj pre menšie samosprávy, dobrým príkladom je španielsky Sant Feliu de Llobregat, ktoré má cca 45 tisíc obyvateľov [10]. V rámci EdiCitNet iniciatívy dokonca vytvorili videohru, ktorá umožňuje modelovať bežným používateľom dopady ich akcií v územnom plánovaní, napr. odstránenie budovy.

Tvorba digitálneho dvojčaťa pre potreby regiónov, miest a obcí

Problémy a požiadavky

Pre vytvorenie digitálneho dvojčaťa pre obec alebo región je vhodné vykonať sériu prípravných úloh s cieľom overiť úspešnosť budúceho riešenia. Dôležitým výstupom môže byť aj zistenie prípadných právnych, talentových, dátových alebo iných nedostatkov, na ktoré môže byť neskôr zameraná väčšia miera úsilia.

Prvým aspektom na zváženie je zhodnotenie doterajšej úrovne digitalizácie a dostupných kapacít v meste alebo regióne, ktorý má záujem vyvinúť digitálne dvojča. Predovšetkým vo vidieckych oblastiach niekedy nestačí len samotný vývoj digitálneho dvojčaťa, ale jeho nevyhnutnou súčasťou je aj príprava komunity. Častými prekážkami pri procese býva nízka pripravenosť infraštruktúry, nedostatok personálu na prevzatie aktivít spojených s integráciou údajov alebo neochota zainteresovaných strán zúčastniť sa. Vhodnou prípravou komunit je možné takýmto problémom predísť a vytvoriť tak riešenie, ktoré bude možné dlhodobo využívať a rozširovať.

Vyrovňovanie rozdielov medzi vidieckymi a mestskými oblasťami v oblasti digitalizácie je jeden z cieľov programov EÚ. Preto existujú iniciatívy, ako je **Living In EU**, ktoré poskytujú podporu a osvedčené postupy na pomoc v oblasti digitalizácie.

Nadväzujúc na predchádzajúce témy je nevyhnutné preskúmať existujúce technológie, najmä ak už nejaká infraštruktúra existuje. Na jednej strane je možné naraziť na zastarané systémy, ktorých integrácia je typicky bude spojená s vysokými nákladmi. Ďalšou možnosťou je nutnosť modernizácie oblastí, ktoré nie sú „inteligentné“ alebo im chýbajú možnosti IoT.

Je dôležité určiť rozsah a stanoviť prioritné ciele, pretože existujúca infraštruktúra a dostupné údaje alebo rozpočet môžu obmedziť schopnosti riešenia digitálneho dvojčaťa. Všeobecne platí, že digitálne dvojča nie je univerzálnym riešením. Je potrebné definovať kľúčové ukazovatele výkonu, ktorých je treba dosiahnuť, a vysvetliť ich zainteresovaným stranám, aby mohli merať a pochopiť úspešnosť implementácie. Tento krok zároveň pomáha budovať dôveru medzi zapojenými stranami.

Zber dát a interoperabilita sú neodmysliteľnou súčasťou, preto je vhodné investovať do vytvorenia solídneho riešenia pre zbieranie, ukladanie, aktualizovanie a prípravu dát podľa dobre definovaného dátového modelu s využitím užitočných metadát. Mať dobrý dátový ekosystém obvykle znamená mať (I) dlhodobú udržateľnosť, (II) jednoduchú rozšíriteľnosť a údržbu dátových skladov, (III) vyššiu kvalitu dát a (IV) aktuálnosť a dostupnosť uložených informácií. Vytvárané dátové ekosystémy by sa mali čo najviac snažiť dodržiavať zásady FAIR [11].

Existujú štandardy pre popis infraštruktúr, ako sú napríklad poskytované W3C WoT TD (Web of Things (WoT) Thing Description (TD)) [2] a FIWARE NGSI-LD [12], alebo ontológie ako SAREF [13], ktoré môžu pomôcť pri popise údajov z rôznych oblastí.

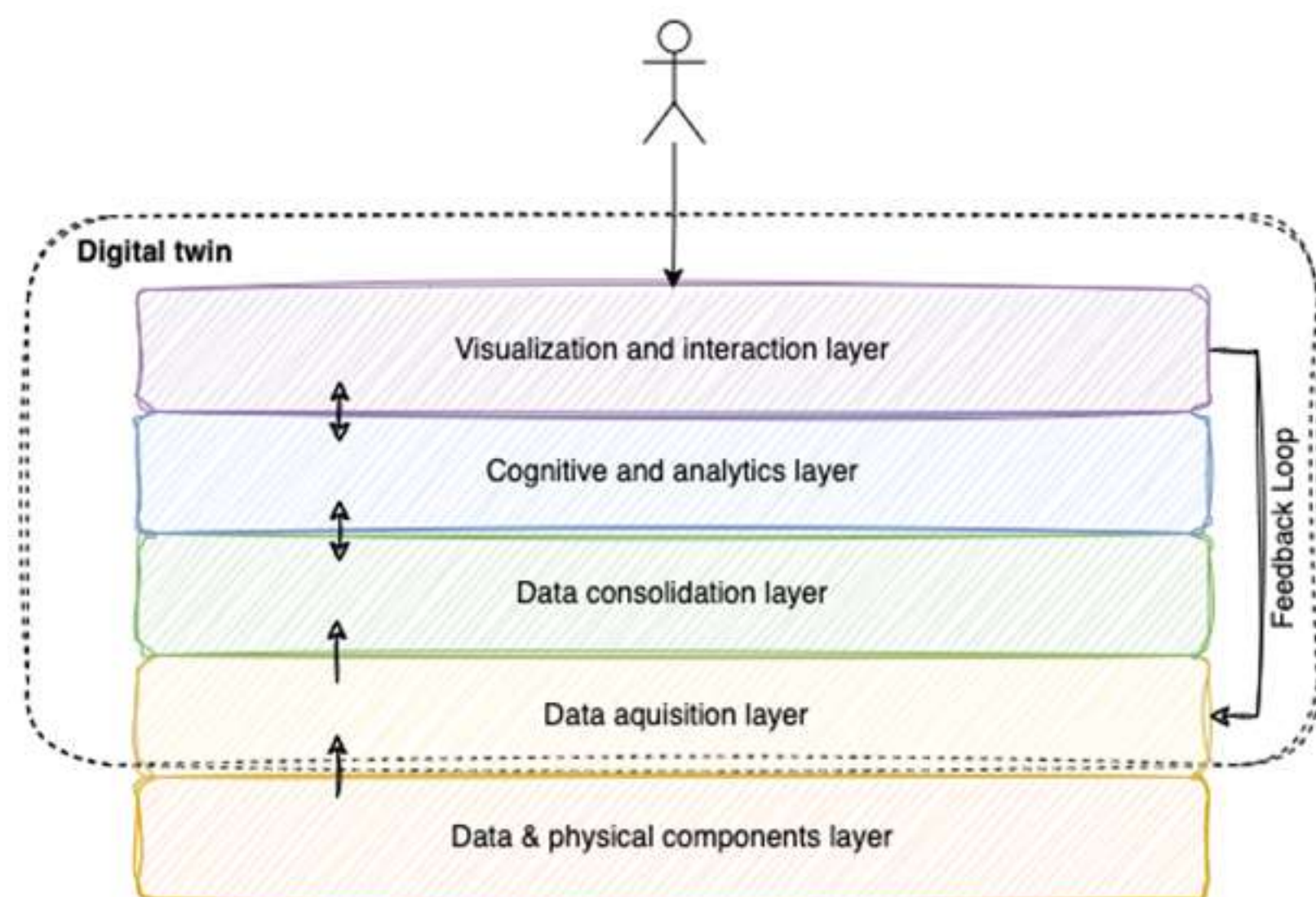
Okrem interoperability dát je dôležité plánovať aj pre-interoperabilný systém ako celok, ktorý zahŕňa aspekty ako technická interoperabilita (napríklad dohoda o protokoloch prenosu údajov, definícia rozhraní alebo mechanizmy autentifikácie) alebo správu (napríklad bezpečnosť, dôvera v systém alebo kontrakty).

Otázky správy a regulácie údajov nemožno prehliadať, pretože zabezpečujú zodpovednosť, bezpečnosť a súkromie, ktoré sú nevyhnutné na presvedčenie zainteresovaných strán k tomu, aby prispeli k digitálnemu dvojčaťu. Ďalšie aspekty, ako poskytovanie licencií k údajom, stanovovanie práv používania alebo nastavenie modelu odmeny pre prispievateľov, môžu tiež zvýšiť celkový záujem o riešenie. Získanie ďalších informácií o aktuálnych odporúčaníach je možné konzultovať s European Interoperability Framework (EIF) [14] alebo OASC Minimal Interoperability Mechanisms (MIMs) [15].

S ohľadom na všetky uvedené aspekty by malo byť možné (I) pripraviť región na začatie vývoja jeho digitálneho dvojčaťa a (II) stanoviť súbor požiadaviek na ekosystém digitálneho dvojčaťa zameraný na špecifické potreby regiónu alebo mesta, ktorý doplní všeobecnejší súbor funkcií, ktoré sú spoločné pre všetky digitálne dvojčatá.

Architektúra digitálneho dvojčaťa

Digitálne dvojča môže používať rôzne architektúry a implementácie v závislosti od konkrétneho prípadu použitia a rozsahu. Na nasledujúcom obrázku sú však znázornené vrstvy typického digitálneho dvojčaťa.



Obr. č. 2 Architektúra digitálneho dvojčaťa

V ďalších kapitolách sa budú analyzovať jednotlivé vrstvy. Pre získanie ďalších odkazov zaoberajúcich sa architektúrou digitálneho dvojčaťa a jeho ekosystému sú v prílohe 1 uvedené normy, ktoré je možné použiť ako podporný materiál.

Údaje potrebné pre vytvorenie digitálneho dvojčaťa inteligentného regiónu alebo mesta

Spodná vrstva zahŕňa dostupné údaje a fyzické komponenty alebo zariadenia IoT, ktoré sú pre digitálne dvojča regiónu alebo mesta najdôležitejšie, a ktoré je potrebné zabezpečiť:

- Geopriestorové dáta
- Mapy
- Dáta opisujúce terén (GIS)
- Prírodné body záujmu, ako sú rieky, lesy, vrchy...
- Informačné modely budov (BIM) na generovanie 3D modelov
- Informácie o obciach/regiónoch – Body záujmu, katastrálne dáta, informácie o infraštruktúrach...
- Dáta z IoT senzorov
- Aktivity a údaje používateľov, prieskumy/informácie od občanov, pracovníkov verejnej správy alebo iných relevantných osôb
- Súbor údajov alebo reálne údaje a dáta súvisiace s mobilitou, cestovným ruchom, energetikou alebo inou oblasťou relevantnou pre digitálne dvojča napr.:
 - Prepojenie na API verejnej dopravy
 - Informácie o podujatiach v meste
 - Dátové prepojenie s platformami poskytovateľov energií

Vrstva získavania údajov

Výber technológií je závislý od domény a množstva údajov, ktoré budú zbierané.

Napríklad protokoly ako je MQTT alebo CoAP, sú ideálne pre scenáre nevyžadujúce veľkú šírku pásma. Minimálna spotreba energie je potrebná aj v aplikáciách internetu vecí (IoT). Protokol HTTP je všestrannou možnosťou pre získavanie údajov vďaka jeho širokému využívaniu a podpore, a to aj napriek tomu, že je robustnejší a má typicky väčšiu réžiu z hľadiska veľkosti údajov. Vďaka svojmu rozšírenému používaniu je často najjednoduchšou voľbou na implementáciu.

Túto vrstvu možno použiť aj na predbežné spracovanie a prípravu údajov pred ich perzistenciou v digitálnom dvojčati.

Môže byť napríklad potrebné namapovať údaje na zvolený informačný model, odstrániť nevyužívané atribúty alebo znížiť rozlíšenie obrazu. Implementácia dátového adaptéra je zvyčajne nevyhnutná a vyžaduje si dobrý návrh, aby bol zabezpečený požadovaný výkon. Existuje množstvo technológií, ktoré možno použiť v závislosti od typu údajov, ktoré sú spracúvané.

Napríklad Apache Kafka so svojimi možnosťami streamovania údajov v reálnom čase môže efektívne uľahčiť prenos a synchronizáciu údajov medzi touto vrstvou predbežného spracovania a nadväzujúcimi systémami. Na transformáciu údajov medzitým možno použiť Python s využitím jeho všestranných knižníc a nástrojov na rôzne úlohy spracovania údajov.

Vrstva konsolidácie údajov

Táto vrstva vykonáva synchronizáciu zdrojov údajov. Na tejto vrstve sa očakáva zjednotenie rozhraní na konzumáciu údajov a zjednotenie dátových modelov. Ako príklad možno uviesť zber údajov z dátovej vrstvy. Informácie sa pri takomto zbere získavajú pomocou rôznych protokolov alebo v rôznych formátoch. Následne po spracovaní musia byť údaje v konsolidačnej vrstve čisté a musia sa riadiť dohodnutými dátovými modelmi. Pre každý typ údajov musia existovať spoločné, dobre definované a dobre zdokumentované, rozhrania.

V tejto kľúčovej fáze prichádzajú do úvahy rôzne nástroje na bezproblémovú konsolidáciu údajov. V závislosti od typu spracovávaných údajov existujú už vytvorené nástroje. Napríklad Eclipse Ditto by mohol byť dobrou voľbou pre údaje zo senzorov IoT. Ak žiadny z už implementovaných nástrojov nezodpovedá potrebám používateľa, vždy existuje možnosť implementovať niečo špecifickejšie. Vlastné riešenie bude pozostávať z určitej kombinácie databázy (výber opäť závisí od typu údajov), proxy servera a vlastného softvéru.

Kognitívna a analytická vrstva

Na tejto vrstve sú generované optimalizácie, odporúčania, predpovede a prehľadnejšie vizualizácie pomocou modelov umelej inteligencie, analytických nástrojov a ML algoritmov. Takéto dáta následne slúžia ako výstupné údaje, ktoré sa zobrazujú používateľom. V tejto vrstve sa využíva Python ako univerzálny programovací jazyk na implementáciu. Na tomto jazyku sú postavené rôzne technológie strojového učenia, ako napr. PyTorch [16] a Keras [17]. Na hlboké učenie a tvorbu neurónových sietí sa používajú technológie ako TensorFlow [18] a PyTorch [16]. MATLAB [19] poskytuje robustnú možnosť matematických operácií a na simuláciu prúdenia tekutín alebo prenosu tepla je obľúbenou voľbou technológia OpenFOAM [20].

Vizualizácia a interakčná vrstva

Pre túto vrstvu existuje široká škála výstupov, ktoré možno generovať. Vo všeobecnosti by mala podporovať vizualizáciu, interakciu s používateľom a riadenie prístupu na ochranu citlivých informácií. Údaje GIS spracované v predchádzajúcich vrstvách a zmiešané so vstupmi z IoT senzorov možno transformovať do 3D vizualizácií vo webovom prehliadači alebo dokonca v imerzívnych interakciách v prostredí virtuálnej/rozšírenej reality VR/AR. Vygenerované analýzy možno transformovať do akčných poznatkov, ktoré môžu využiť experti v rôznych oblastiach na prijímanie rozhodnutí, alebo možno prehrávať simulácie so scénarmi typu „čo ak“.

Príkladom technológií, ktoré prispievajú k tejto vrstve, sú populárne webové technológie, platformy VR, AR, Grafana [21] na pokročilú vizualizáciu údajov a riešenia GIS, ako je napríklad ArcGIS [6]. Okrem toho hrajú pri vytváraní interaktívnych zážitkov v rámci tejto vrstvy významnú úlohu herné technológie, ako napríklad Unity.

Odporúčania a riziká

Implementácia konceptu digitálnych dvojčiat si vyžaduje starostlivé plánovanie, spoluprácu a záväzok k inováciám. Inteligentné mestá a regióny musia spolupracovať s odborníkmi, priemyselnými partnermi a komunitou pri vytváraní a udržiavaní digitálnych dvojčiat, ktoré sú prospešné pre spoločnosť a zároveň chránia súkromie a bezpečnosť.

Potrebné zmeny na národnej úrovni (zmeniť politiku, definovať normy...)

- Zabezpečiť spoluprácu s ďalšími ministerstvami, najmä Ministerstvom dopravy, Ministerstvom životného prostredia a Úradom pre územné plánovanie a výstavbu SR, pri integrácii digitálnych dvojčiat do procesov mestského a regionálneho plánovania.
- Koordinovať rozvoj digitálnej infraštruktúry a vysokorýchlostného pripojenia na podporu projektov digitálnych dvojčiat.
- Pripraviť prehľad možností financovania iniciatív digitálnych dvojčiat vrátane verejno-súkromných partnerstiev a možností financovania EÚ.
- Podporovať spoluprácu s akademickou obcou a priemyslom v oblasti výskumu inovácií v koncepte digitálnych dvojčiat.
- Podporovať vzdelávacie a školiace programy na vybudovanie kvalifikovanej pracovnej sily schopnej rozvíjať a udržiavať digitálne dvojčatá,
- Zabezpečiť spoluprácu medzi regiónmi a opätovné využitie dát a/alebo technológií digitálnych dvojčiat. Umožní to nákladovo efektívnejšie vytváranie nových digitálnych dvojčiat a podporí regióny s prístupom k menšiemu počtu údajov. Napríklad vytvorenie nového modelu AI si vyžaduje veľa údajov, ale na ich preškolenie alebo špecializáciu pre inú oblasť ich už nie je potrebné tak veľa.
- Vytvoriť spoločné katalógy údajov alebo repozitárov s digitálnymi dvojčkami alebo zverejnením zdrojových kódov služieb dostupným na národnej úrovni.
- Podporovať používanie noriem a vydávať usmernenia o interoperabilite, aby bol národný dátový ekosystém súdržnejší.
- Vypracovať spoločnú štruktúru riadenia na regionálnej/národnej úrovni.

Potrebné aktivity na regionálnej a lokálnej úrovni

- Navrhnuť schémy stimulov pre motiváciu súkromných subjektov (držiteľov dát), tak aby sa z nich stali zainteresované strany, ktoré zdieľajú svoje údaje s verejnosťou.
- Identifikovať oblasti s najväčším potenciálom pre optimalizáciu a pre lepšie stanovenie priorít cieľov a riadenie zdrojov.
- Zabezpečiť senzory a iné dátové zdroje, ktoré môžu byť použité pri tvorbe a prijímaní informovaných rozhodnutí.
- Dáta generované digitálnymi dvojčatami by sa mali riadiť FAIR [11] princípom, aby sa zabezpečila ich interoperabilita pre budúce použitie.

Riziká, ktorým sa treba vyhnúť, problémy

Hoci digitálne dvojčatá majú potenciál priniesť množstvo výhod v oblastiach, ako je mestské plánovanie, predchádzanie katastrofám a mnohé ďalšie, existujú určité výzvy, ktoré je potrebné riešiť vopred, ako aj riziká, ktorým je potrebné sa vyhnúť.

- Zapojenie súkromných subjektov a ich údajov si môže vyžadovať nájdenie spôsobu, ako ich motivovať, aby zdieľali svoje dáta s verejnosťou.
- Je potrebné zamedziť tzv. „Vendor locking-u“, a to výberom open-source technológií. Tieto technológie sa musia vždy, keď je to možné, riadiť medzinárodne uznávanými normami.
- Výber správneho štandardu môže byť náročný, pretože mnohé z nich sa zameriavajú len na špecifický sektor priemyslu a nie vždy pokrývajú definované prípady použitia.
- Mnohé verejné služby a organizácie prevádzkujú staršie systémy, ktoré nemusia byť navrhnuté pre moderné štandardy interoperability. Integrácia týchto starých systémov s novšími technológiami predstavuje výzvy a môže brániť hladkému prechodu na interoperabilitu.

Bibliografia

- [1] PwC, „How digital twins can make smart cities better,“ 2022.
- [2] World Wide Web Consortium (W3C), „Web of Things (WoT) Thing Description 1.1,“ 2023.
- [3] B. D. M. C. Stefano Nativi, „Destination Earth Survey on "Digital Twins" technologies and activities, in the Green Deal area,“ Publications Office of the European Union, 2020.
- [4] The Construction Industry Training Board (CITB), „What is BIM?“.
- [5] A. Z. L. C. S. C. Gary White, „A digital twin smart city for citizen feedback,“ Trinity College Dublin, 2021.
- [6] Esri, „Digital Twin - GIS creates digital twins of the natural and built environments“.
- [7] Nadácia OpenStreetMap (OSMF), „OpenStreetMap“.
- [8] OpenCellID, „The world's largest Open Database of Cell Towers“.
- [9] N. H. W. M. M. S. C. Marcel Ignatius, „Virtual Singapore integration with energy simulation and canopy modelling for climate assessment,“ 2019.
- [10] Statistical Institute of Catalonia, 2022.
- [11] GO FAIR, „FAIR Principles“.
- [12] FIWARE, „NGSI-LD HowTo“.
- [13] ETSI, „Smart Applications REference Ontology, and extensions“.
- [14] European Commission, „The European Interoperability Framework (EIF)“.
- [15] Open & Agile Smart Cities (OASC), „OASC Minimal Interoperability Mechanisms“.
- [16] PyTorch.
- [17] Keras.
- [18] TensorFlow.
- [19] MATLAB.
- [20] ESI Group (OpenFOAM).
- [21] Grafana Labs.
- [22] iving-in.eu, „Join us in building the European way of Digital Transformation for 300 million Europeans“.

Príloha 1: Štandardy

Table 1 Tabuľka noriem [3]

Referenčná architektúra	
Digitálne dvojča	ISO/IEC 30188 (prebieha)
Technologická podpora	
Simulácia	IEEE 1516, SISO
Identifikácia a snímanie	ISO/IEC JTC 1/SC 31
AR/VR	ISO/IEC JTC 1/AG 13, ISO/IEC JTC 1/SC 24, IEEE P2048, Khronos Group
Špecifikácie produktu	IEC SC3D, ISO/TC 184/SC 4
IoT	ISO/IEC JTC1 SC 41
AI	ISO/IEC JTC1 SC 42
IT bezpečnosť	ISO/IEC JTC1 SC 27
Cloud computing a platformy	ISO/IEC JTC 1/SC 38
Aplikácie/Domény	
Energia	IEC/TC 57
Inteligentné mestá	IEC SyC Smart Cities, ISO/IEC JTC1 WG11
Budovy	ISO/TC 23/SC 19, ITU-T
Poľnohospodárstvo	ISO/TC 59/SC 13
Zdravotná starostlivosť	ISO/TC 215
Výrobný a spracovateľský priemysel	ISO/TC 184, IEC/TC 65, JWG 21, IEC SyC SM, IEEE P2806