



**Skupna infrastruktura
prostorskih informacij**

GEOPROSTORSKI DIGITALNI DVOJČKI

dr. Anka Lisec

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo & Inštitut UL FGG

VSEBINA PREDSTAVITVE



Open
Geospatial
Consortium.



1. Geoprostorski digitalni dvojčki
2. Standardi na področju 3D geoprostorskega modeliranja
3. Primeri izbranih rešitev



Skupna infrastruktura
prostorskih informacij

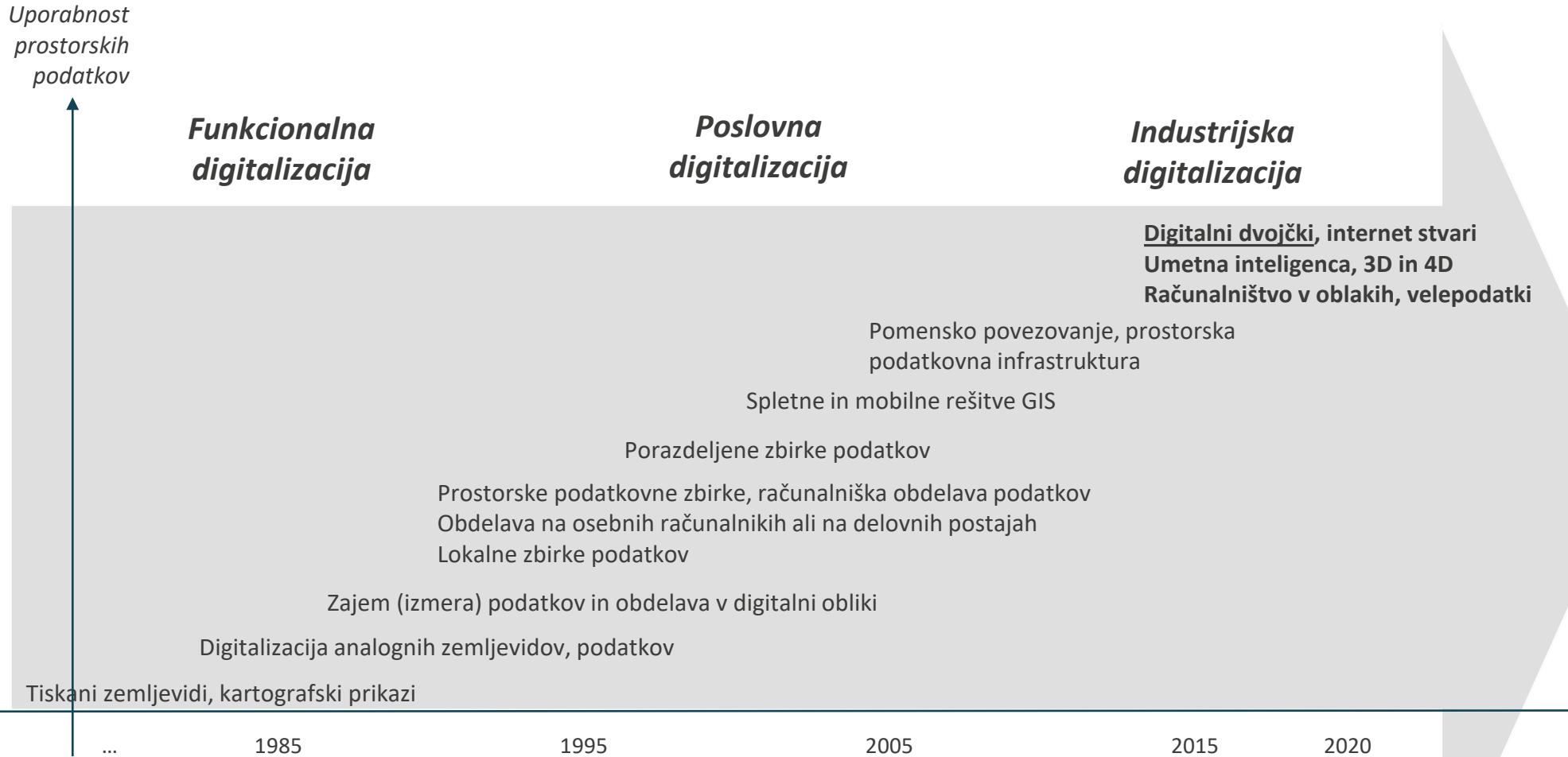


Financira
Evropska unija
NextGenerationEU

1.

Geoprostorski digitalni dvojčki

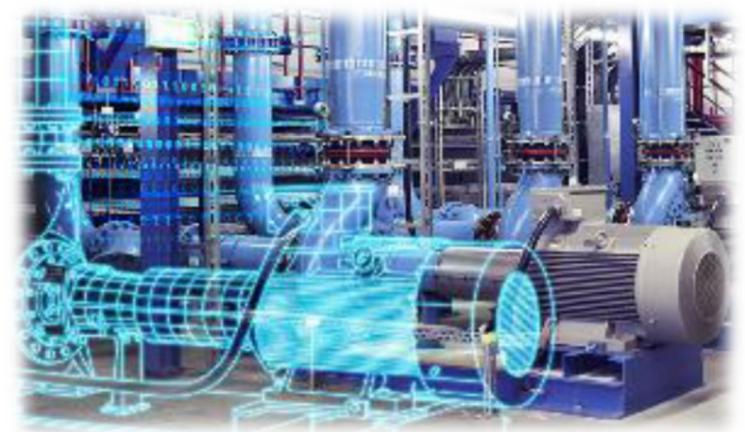
Evolucija digitalizacije v geoinformatiki



Digitalni dvojček

**Replika fizičnih stvari, procesov ali sistemov
naravnega ali grajenega okolja**

- **Digitalni model** entitete (objekta), ki vsebuje tudi **podatke o procesih/stanjih** za celoten cikel delovanja
- Začetki: vesoljske tehnologije, strojništvo, energetika
- Razvoj - Industrija 4.0



Vir: Schen, 2019

Digitalni dvojček – ključni koncept

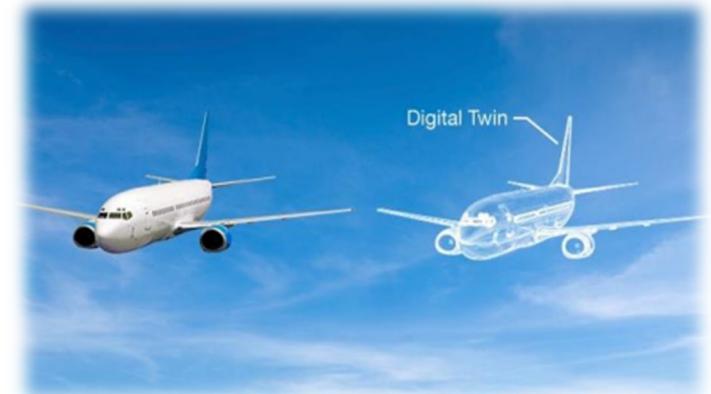
- **Simulacija realnega sistema** preko modela, informacij senzorjev in drugih vhodnih podatkov za:
 - ponavljanje (**repliciranje**),
 - napovedovanje in
 - nadzordelovanja tega sistema
- Digitalni dvojček je **podatkovno/komunikacijsko povezan z realnim/fizičnim dvojčkom**



Vir: ELISE, 2020

Digitalni dvojček – ključne koristi

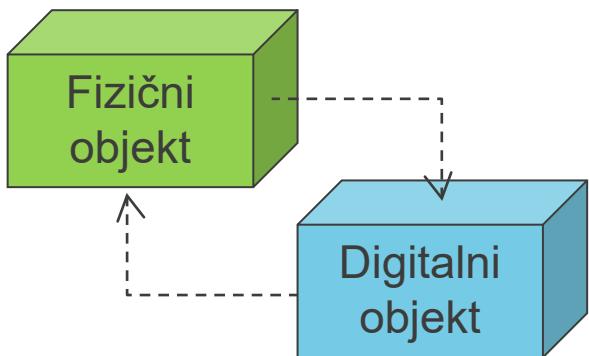
- **Sistematična dokumentacija** o fizičnem objektu/sistemu
- **Izračun/ocena stanj in delovanja realnega sistema**
- **Simulacija delovanja realnega sistema** („kaj če“ scenariji)
- **Nameni uporabe:**
 - **Opazovanje in nadzor fizičnega sistema**
 - **Detekcija nevarnosti in zmanjševanje tveganj**
 - **Napovedovanje in optimizacija delovanja**



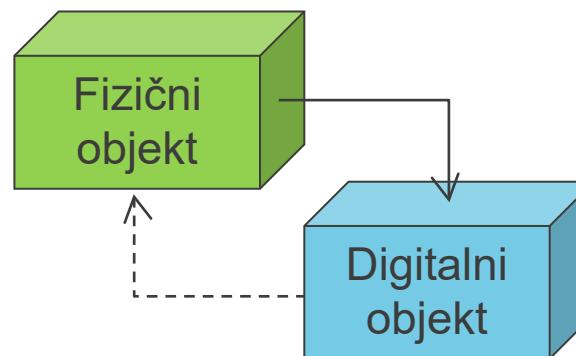
Vir: Schen, 2019

Od digitalnega modela do digitalnega dvojčka

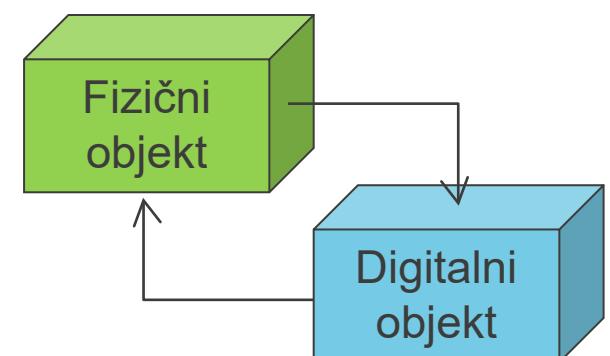
Digitalni model



Digitalna senca



Digitalni dvojček



- Ročni/zakasneli tok podatkov
- Samodejni tok podatkov

Vir: Schen, 2019

Geoprostorski digitalni dvojček

Realistična digitalna replika grajenega in/ali naravnega okolja

- pomemben del modela **je informacija o geolokaciji**
- za razumevanje, učenje in odločitve uporablja podatke iz realnega časa
- podpira odločitve, storitve, dejavnosti na podlagi integracije podatkov v realnem času



Vir: ESRI, 2022

Glavni elementi geoprostorskih digitalnih dvojčkov

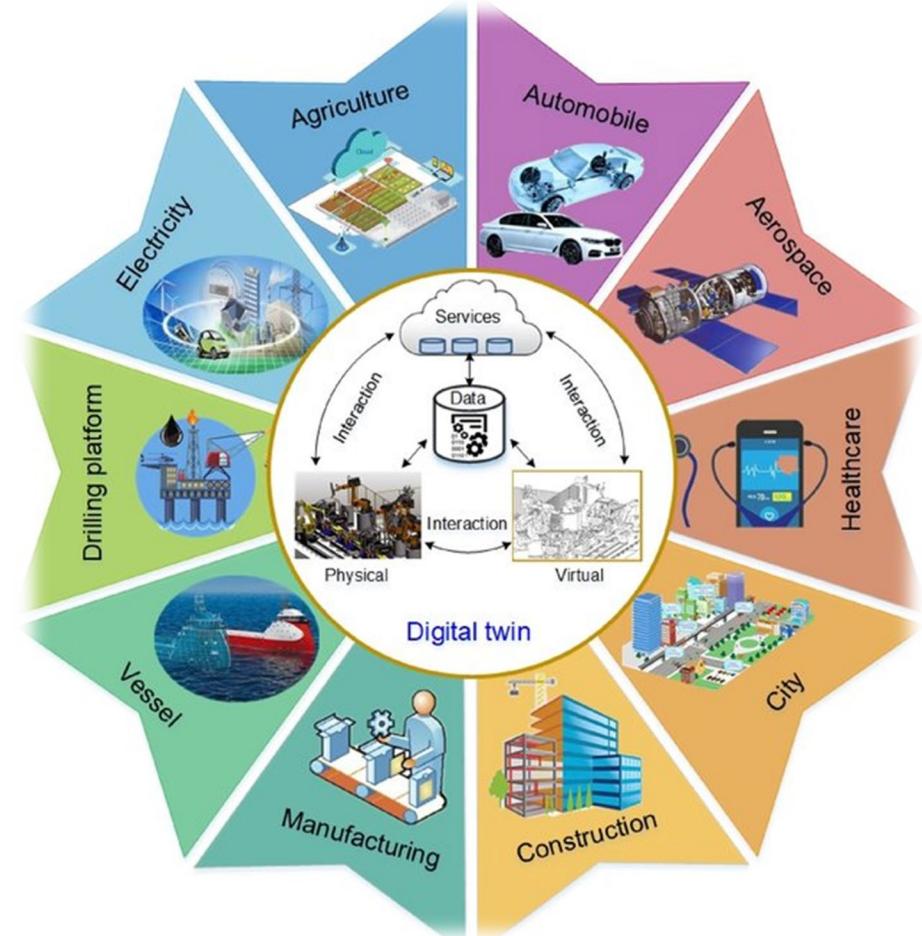
- Povezava med fizičnim modelom/realnim svetom in virtualnim dvojčkom
- Povezava je vzpostavljena s podatki realnega časa
- **Velik razmah s pojavom geoprostorske inteligence in medopravilnosti**



Vir Digital Twin New South West, Avstralija

Dejavniki razvoja

- Simulacije
- Novi podatkovni viri
- Medopravilnost
- Vizualizacija
- Različne uporabniške platforme
- **Različna področja uporabe**

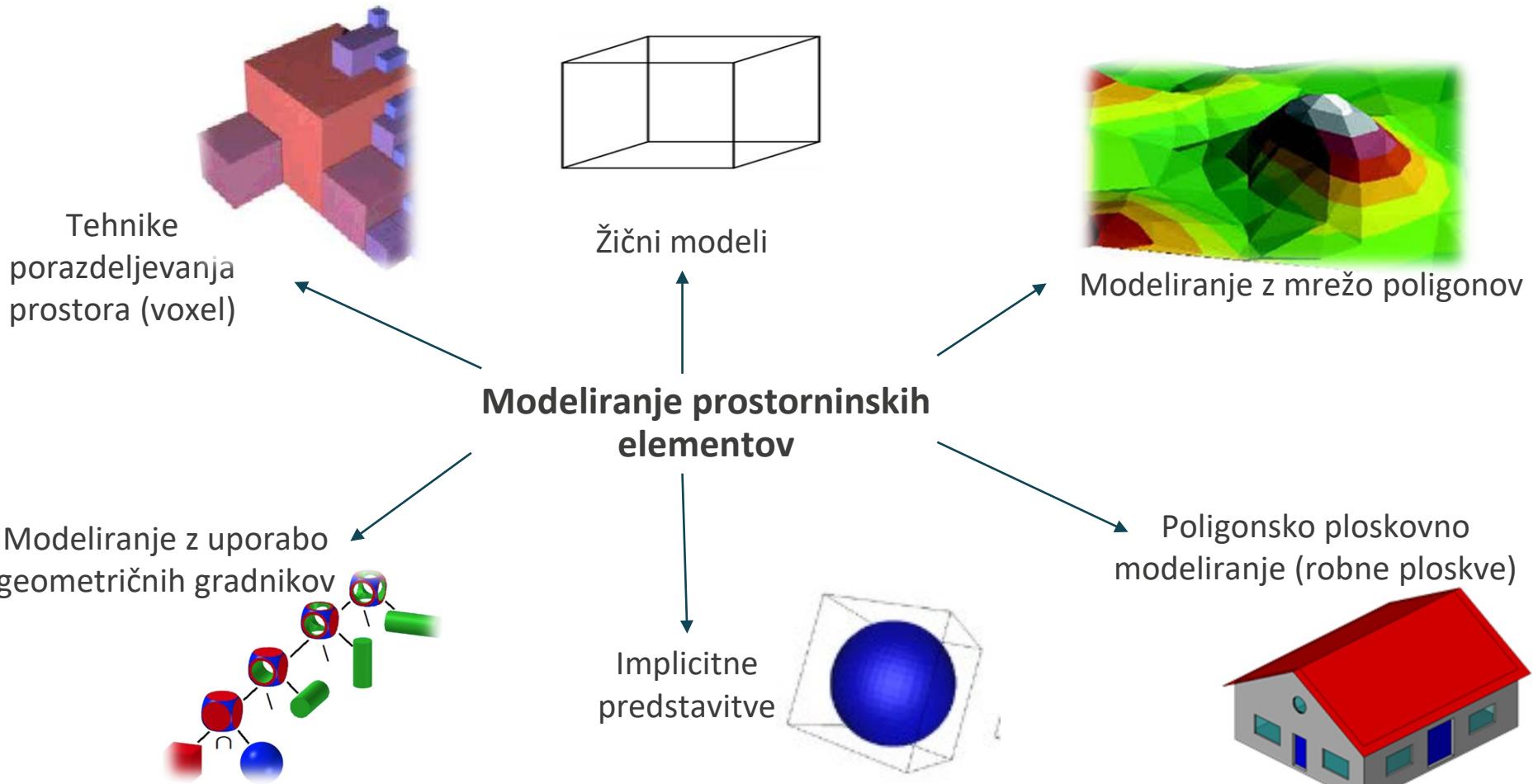


Vir: ELISE, 2021

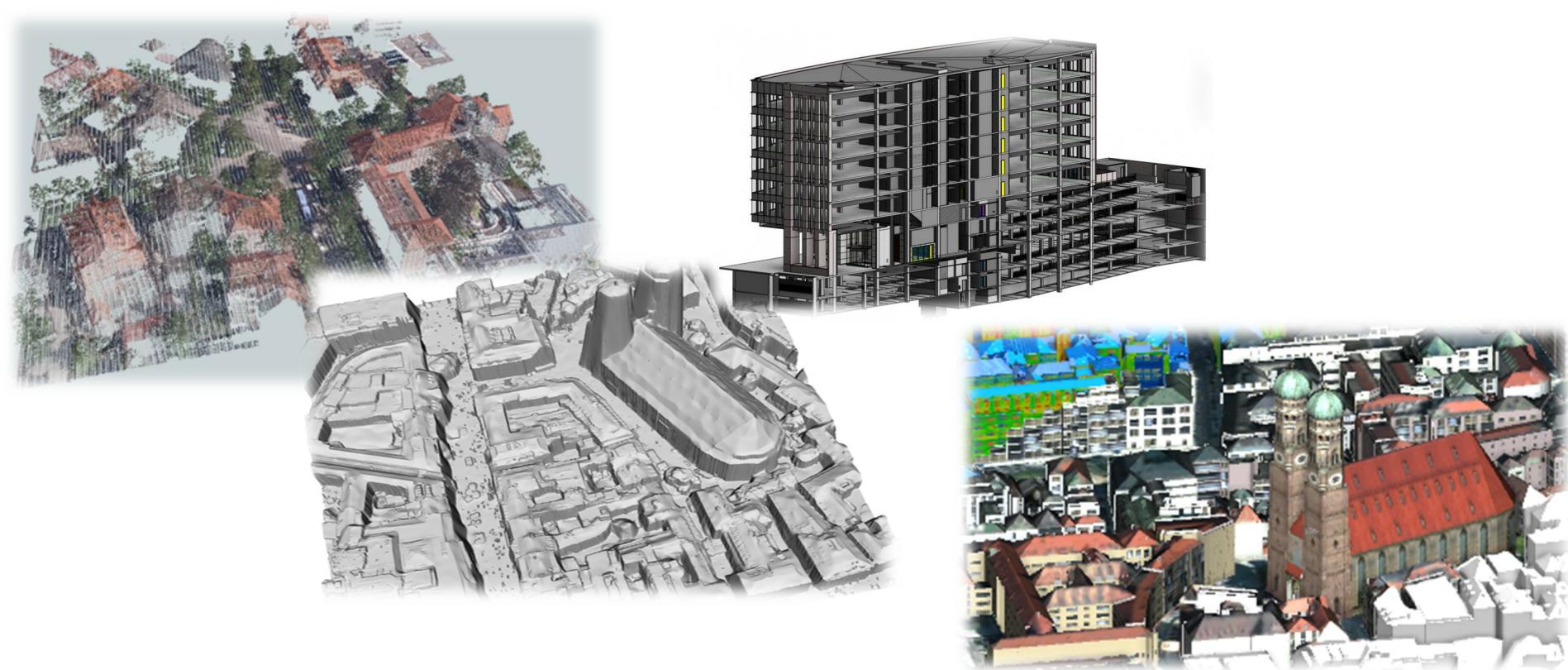
2.

Standardi na področju 3D geoprostorskega modeliranja

Pristopi k 3D modeliranju



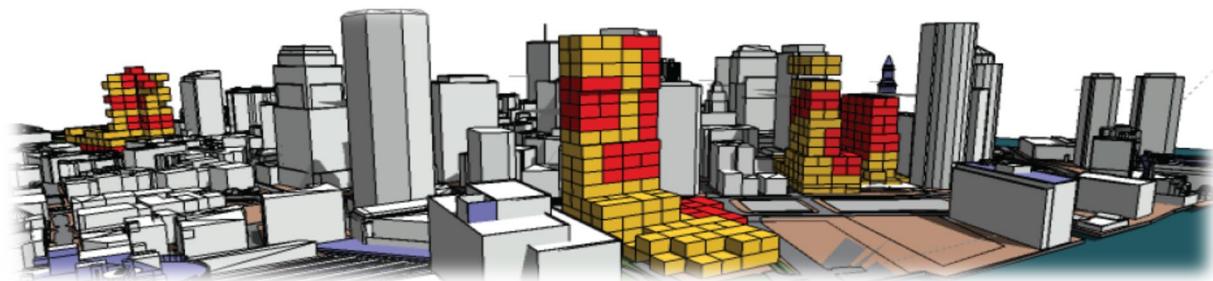
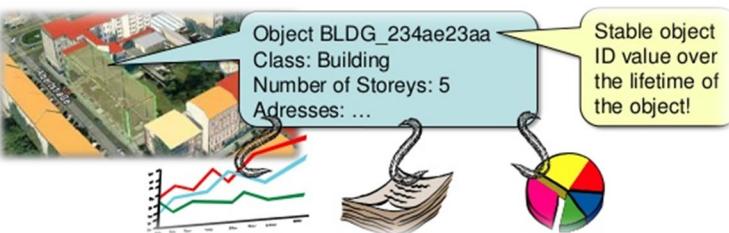
3D modeliranje prostora



Kolbe, T. (2023): CityGML and Digital Twin.

Pomembni vidiki 3D modeliranja prostora

- Geometrija
- Topologija
- Semantika
- Pojavnost in vizualizacija



Paul Cote, Harvard Graduate School of Design

CityGML



Semantični 3D model mest in pokrajine

- CityGML je odprt standard konzorcija OGC
- Izvira iz nemške iniciative (pobuda SIG 3D):
 - *Integracija informacij preko 3D modelov mest in pokrajine*
- Kot standard OGC sprejet leta 2008:
 - različica 2.0.0 je iz leta 2012
 - zadnja različica (3.0.0) je iz leta 2021



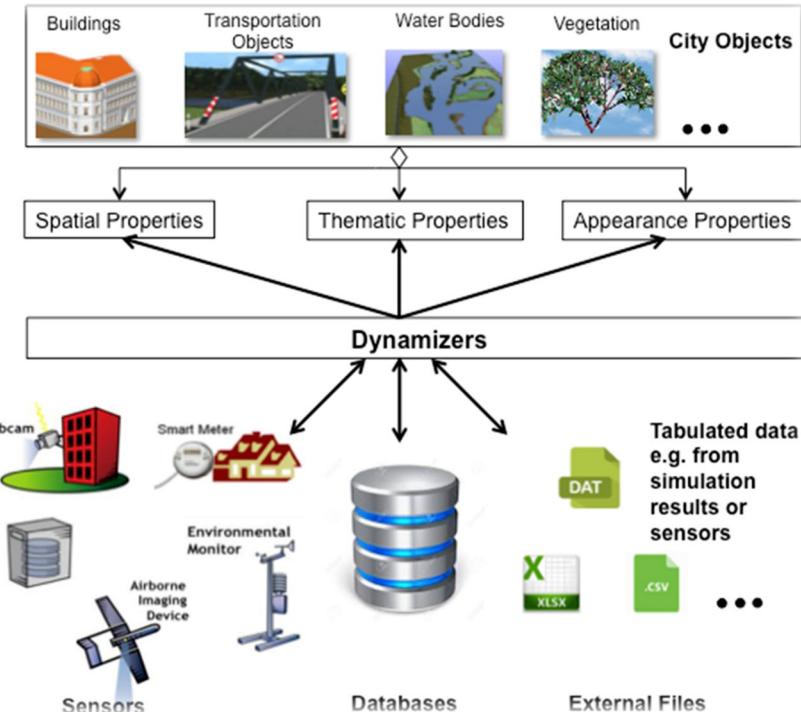
Vir: virtualcitySYSTEMS

CityGML – temeljne značilnosti (1/5)



(1) Visoka raven interoperabilnosti

- Razvoj skupnega 3D prostorskega informacijskega modela
- Večfunkcionalna raba podatkovnega modela
- Povezljivost z drugimi podatkovnimi modeli
- Geometrični modeli povezani s prostorsko podatkovno bazo (3D prostorska podatkovna baza)
- **Vključevanje časovne komponente (prostorsko-časovno modeliranje)**

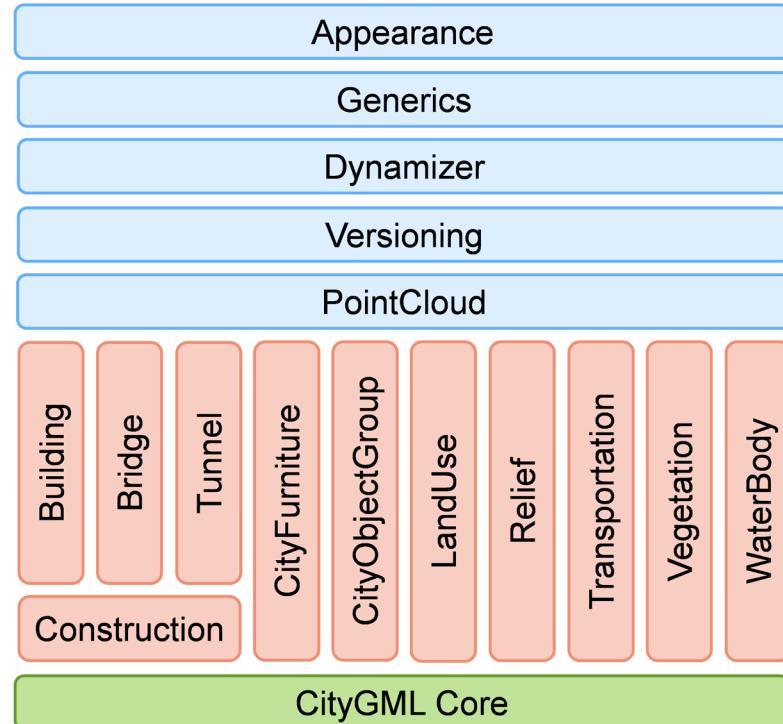


Vir: CityGML 3.0.0, OGC



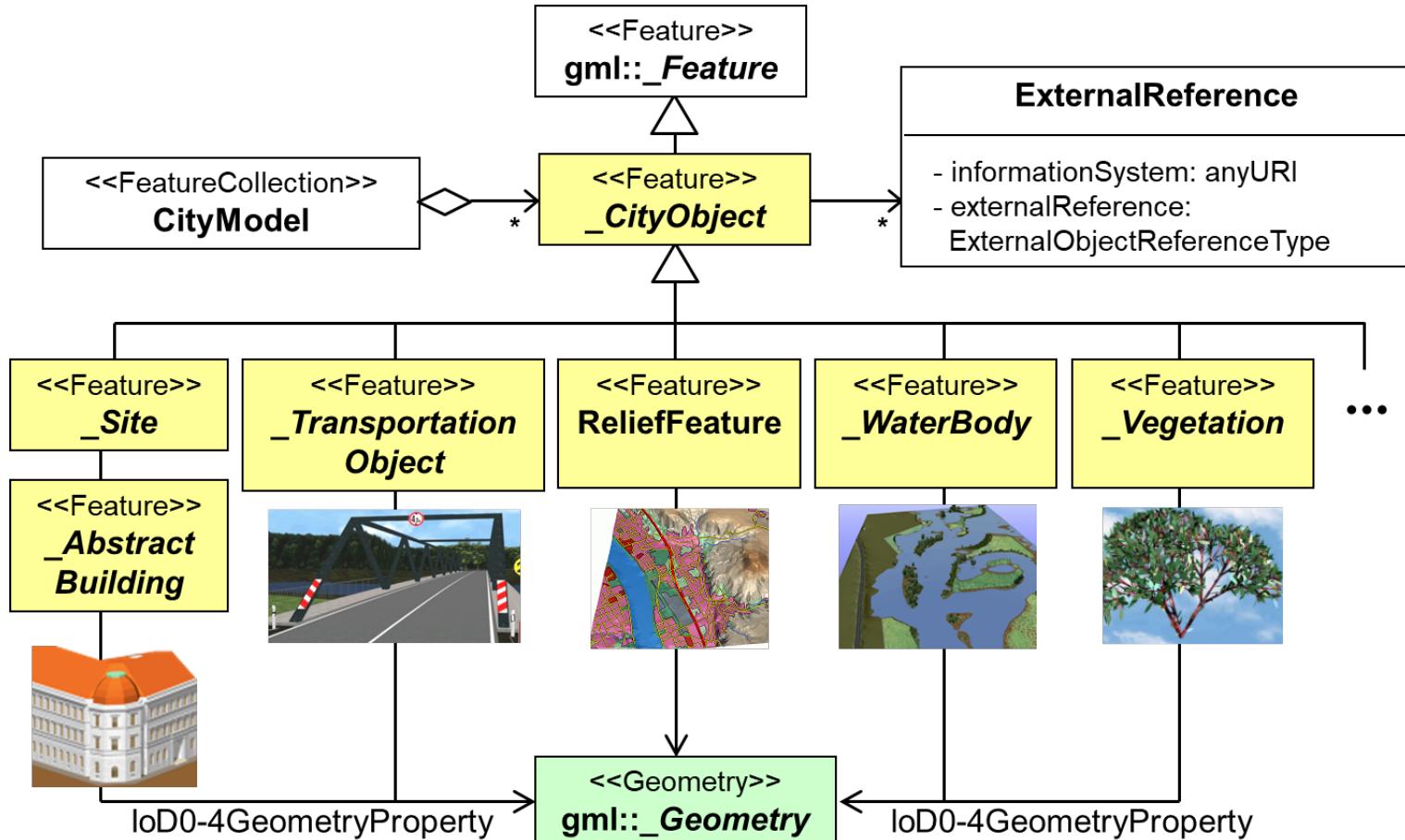
(2) Modularnost

- Opredeljuje modele prostorskih entitetov po tematskih področjih
- Vsak modul je v standardu posebej opredeljen (UML razredni diagram in opis)
- Tudi znotraj posamezne ravni podrobnosti (LOD) je dopustno več specifikacij



Vir: CityGML 3.0.0, OGC

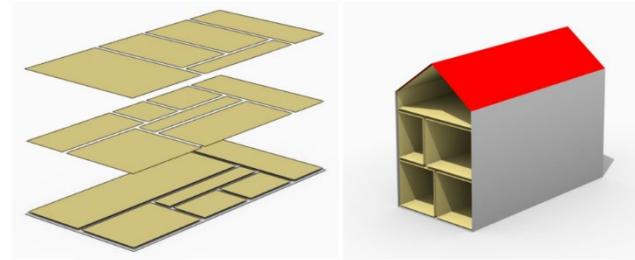




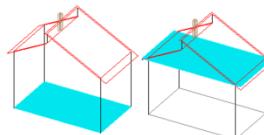
Vir: CityGML 3.0.0, OGC

(3) Različne ravni podrobnosti

- LOD0: model terena s projekcijo 3D-objektov na teren
- LOD 1: enostavni 3D geometrični objekti
- LOD 2: značilne oblike 3D-objektov
- LOD 3: podrobni modeli 3D-objektov



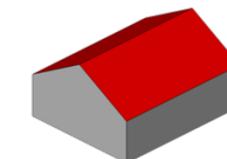
LOD0



LOD1



LOD2



LOD3



Vir: CityGML 3.0.0, OGC

(4) Možnost vključevanja v NPPI

- Objektno usmerjeno modeliranje:
 - *modelira se prostorske objekte z vsemi lastnostmi – ne le geometrijo*
- Ustrezen format zapisa podatkov za izmenjavo
- Obvezna podpora OGC spletnim storitvam
- Možnosti povezovanja z drugimi (zunanjimi) podatkovnimi viri



Vir: CityGML 3.0.0, OGC in 3D Geoinformation TU Delft

(5) Realistična vizualizacija

- Eksplisitne 3D oblike objektov (ploskve, prostornine);
- Jasna opredelitev temeljnih razredov prostorskih objektov;
- Minimalen nabor obveznih vsebin/atributov
- Možnost razširitve osnovnega podatkovnega modela



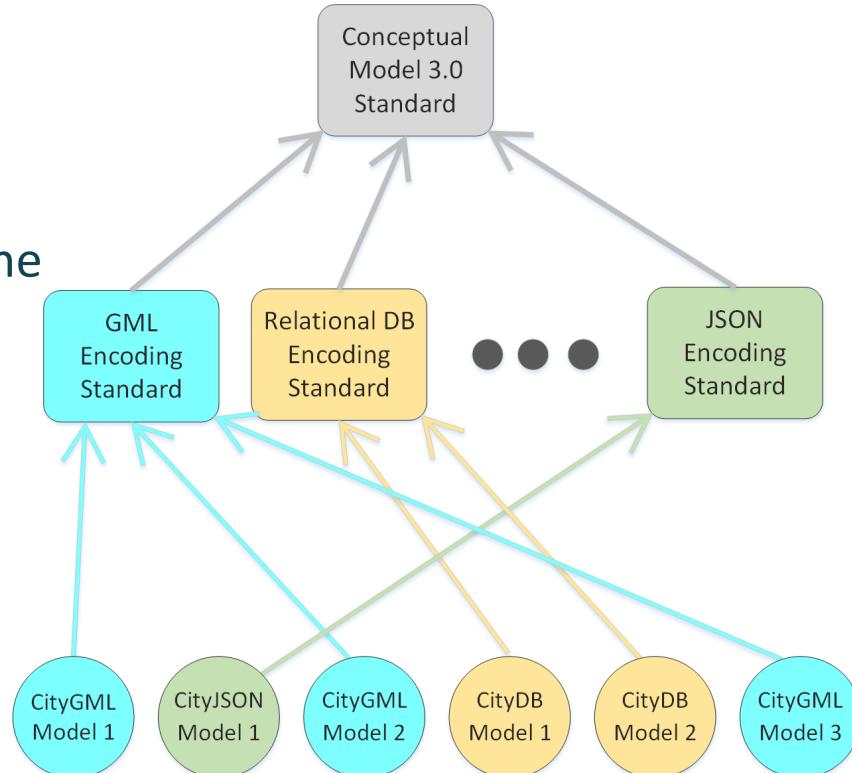
Vir: CityGML 3.0.0, OGC

3D modeliranje in CityGML



Geometrija in topologija

- CityGML je **koncepcionalni model** in predvideva različne oblike kodiranja podatkov
- Osnovni geometrični gradniki so skladni s ISO 19107
- Standard je odprt do različnih oblik kodiranja, npr.:
 - *CityGML, ki je osnovan na GML/XML*
 - *CityJSON (temelji na GeoJSON)*
 - *3DCityDB ...*

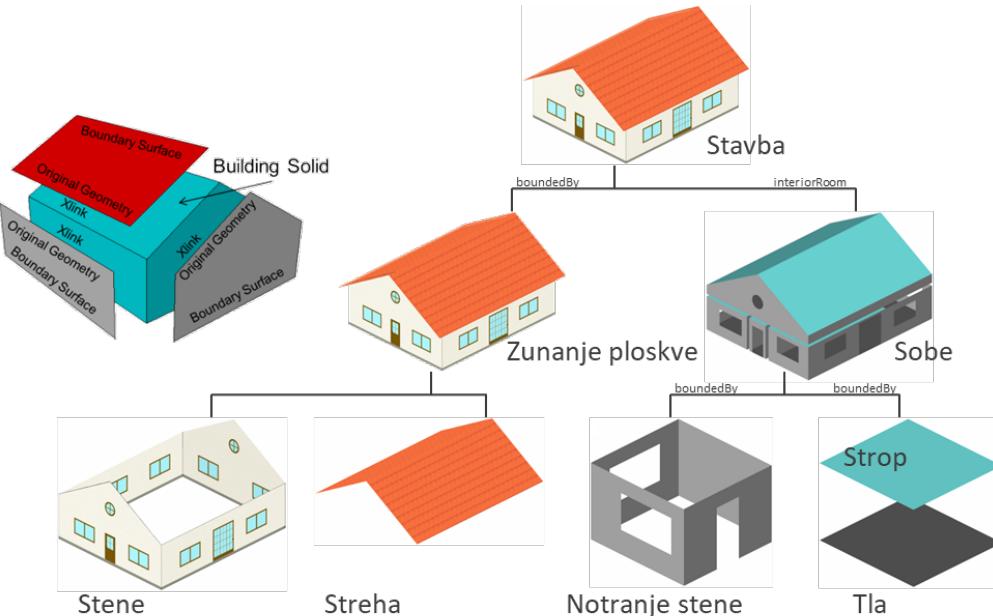


Glej: <https://github.com/opengeospatial/CityGML-3.0Encodings>

Vir: CityGML 3.0.0, OGC

Semantika

- Možnost pripisovanja različnih informacijskih vsebin:
 - pripisovanje atributov posameznim geometrijskim elementom
 - pripisovanje/povezovanje posebnih podatkov prostorskim entitetam



Vir: CityGML 3.0.0, OGC

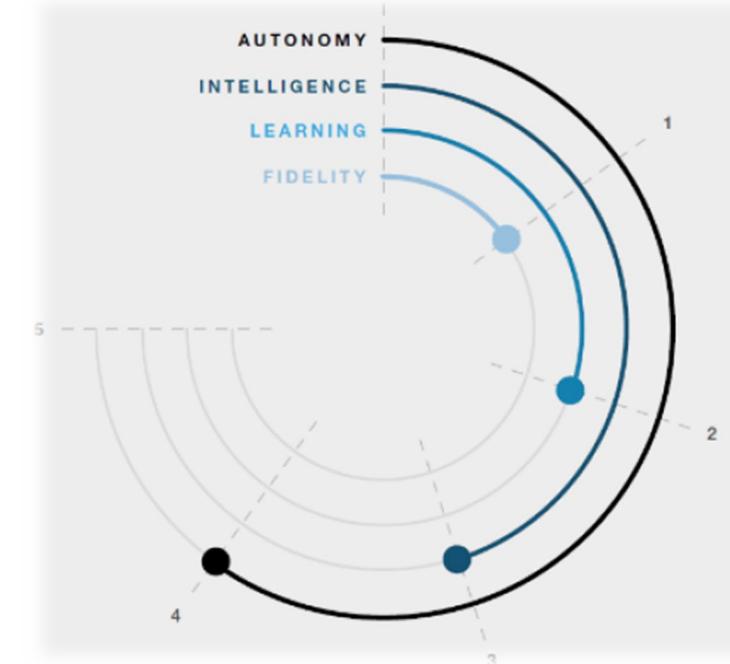
Možnost nadgradnje osnovnega podatkovnega modela



Vir: CityGML 3.0.0, OGC in Kolbe, 2023

Kdaj 3D/4D model postane digitalni dvojček?

- **0. stopnja:** zajem realnih podatkov (oblaki točk, načrti, fotogrametrični podatki ipd.)
- **1. stopnja:** 2D ali 3D podatkovni modeli (objektno orientirani, z ali brez metapodatkov)
- **2. stopnja:** Povezava modela s statičnimi podatki
- **3. stopnja:** Obogatitev modela s podatki iz realnega časa (IoT, senzorji)
- **4. stopnja:** obojestranski pretok podatkov in integracija
- **5. stopnja:** samodejne operacije in vzdrževanje



ELISE, 2021

3.

Primeri izbranih rešitev

3D modeli mest in pokrajin v Švici

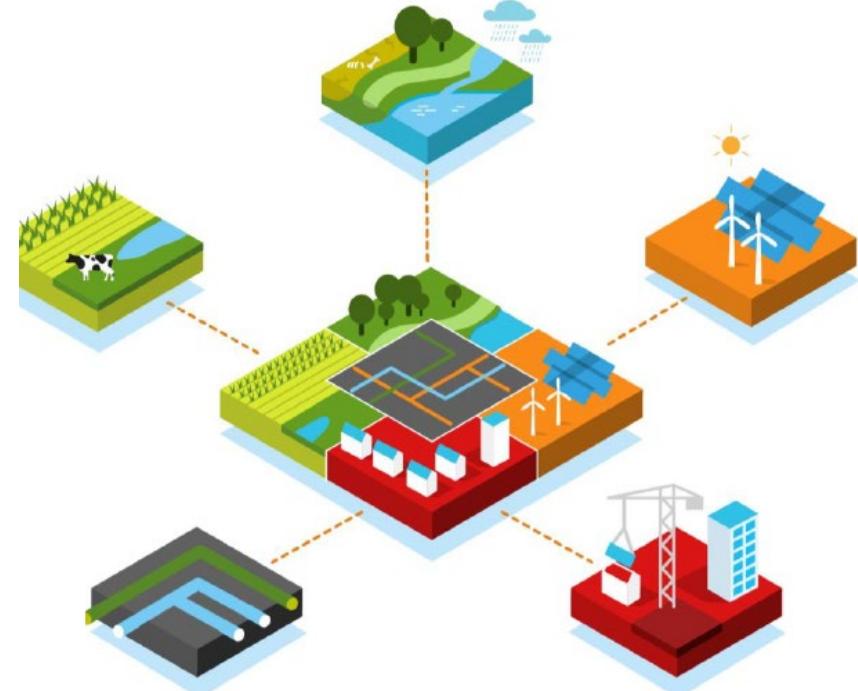
- 3D topografski podatkovni model za celotno državo
- Osnova za različne uporabniške domene



Vir: Streilein A., (2023): A decade of the 3D digital landscape model in Switzerland. EuroSDR workshop.

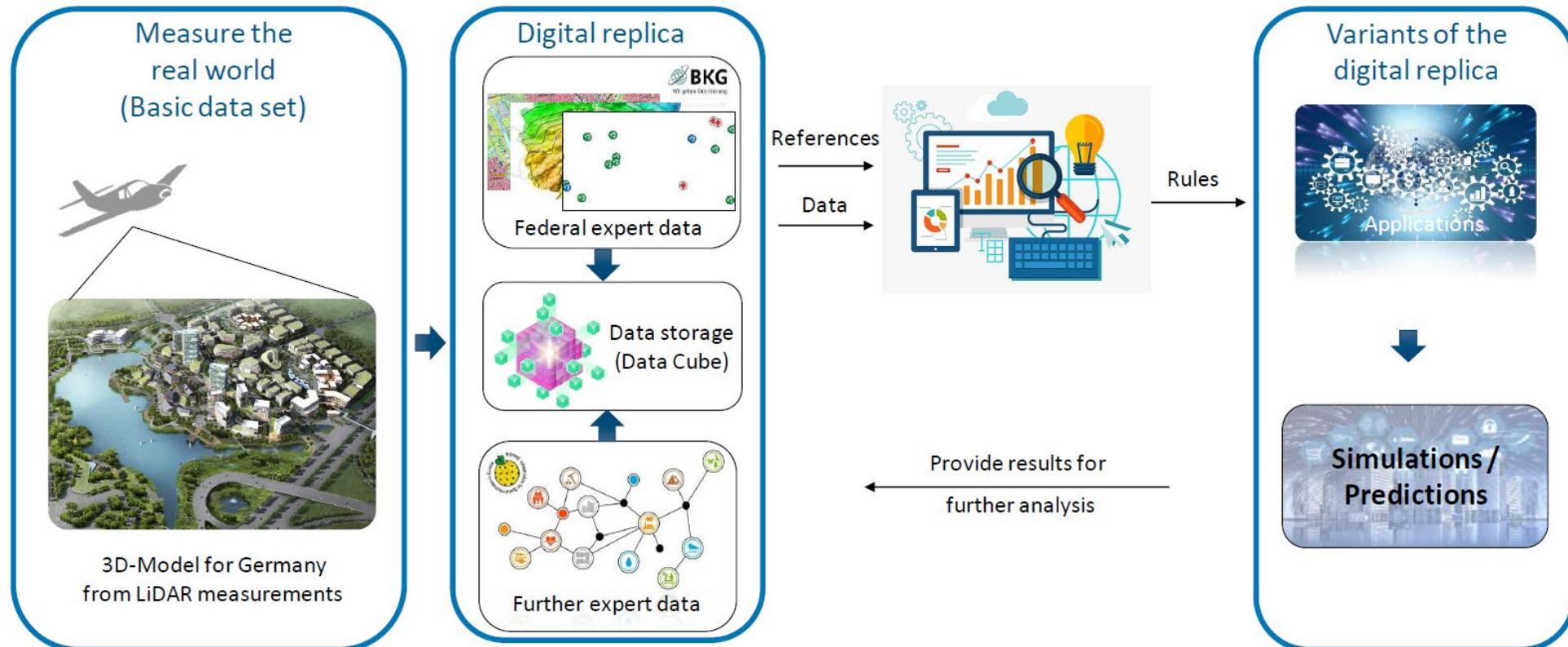
Nizozemska: nacionalni digitalni dvojček

- 3D modeli mest in pokrajin že na voljo
- **Infrastruktura za povezovanje podatkov**
- Prednostna področja:
 - Prilagajanje podnebnim spremembam
 - Kmetijstvo
 - Gradnja, stanovanska politika
 - Energetika
 - Gospodarska javna infrastruktura



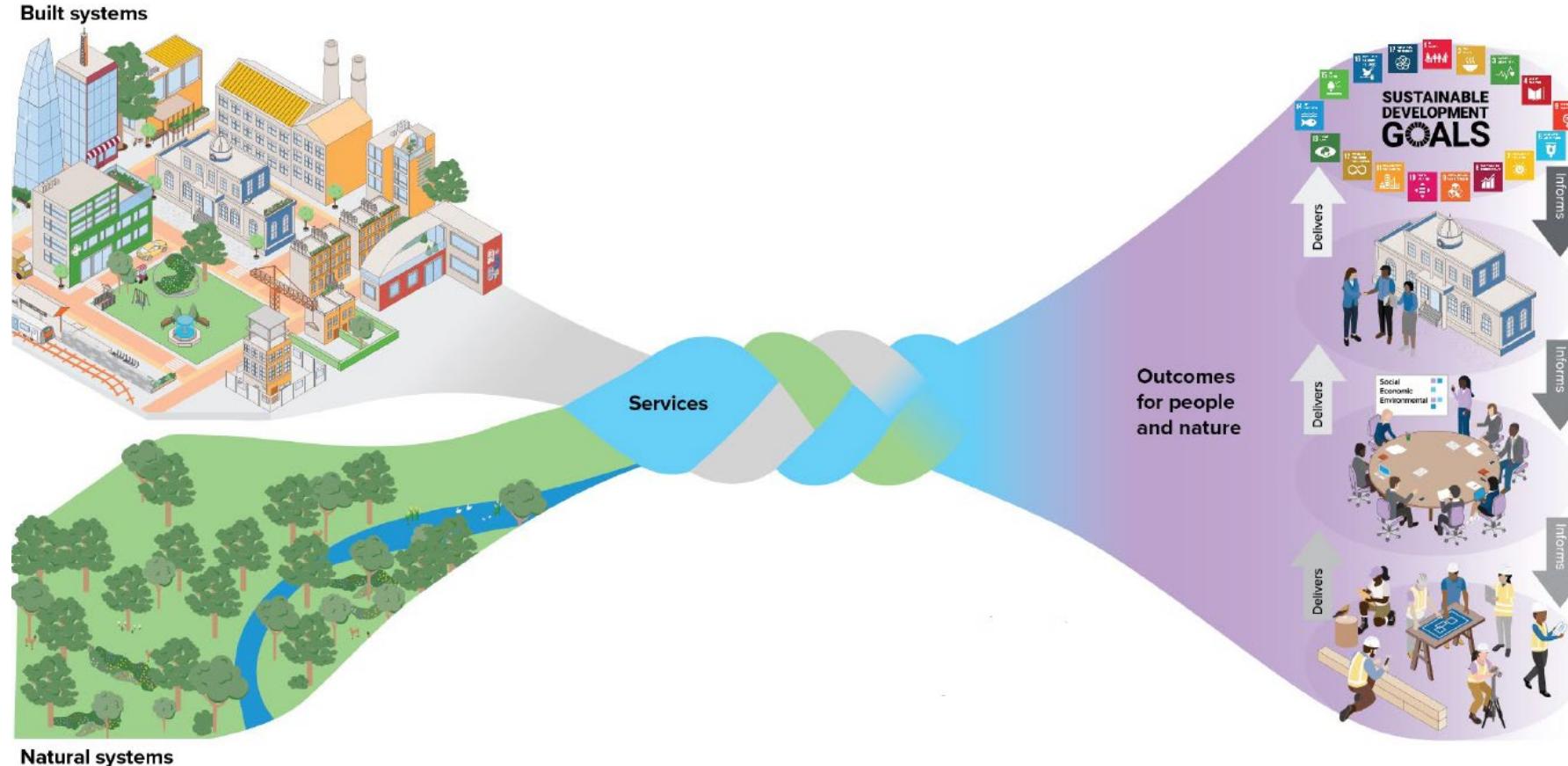
Vir: Bruin, J. (2023): Digital Twin of physical living environment. EuroSDR workshop.

Nemčija: nacionalni digitalni dvojček



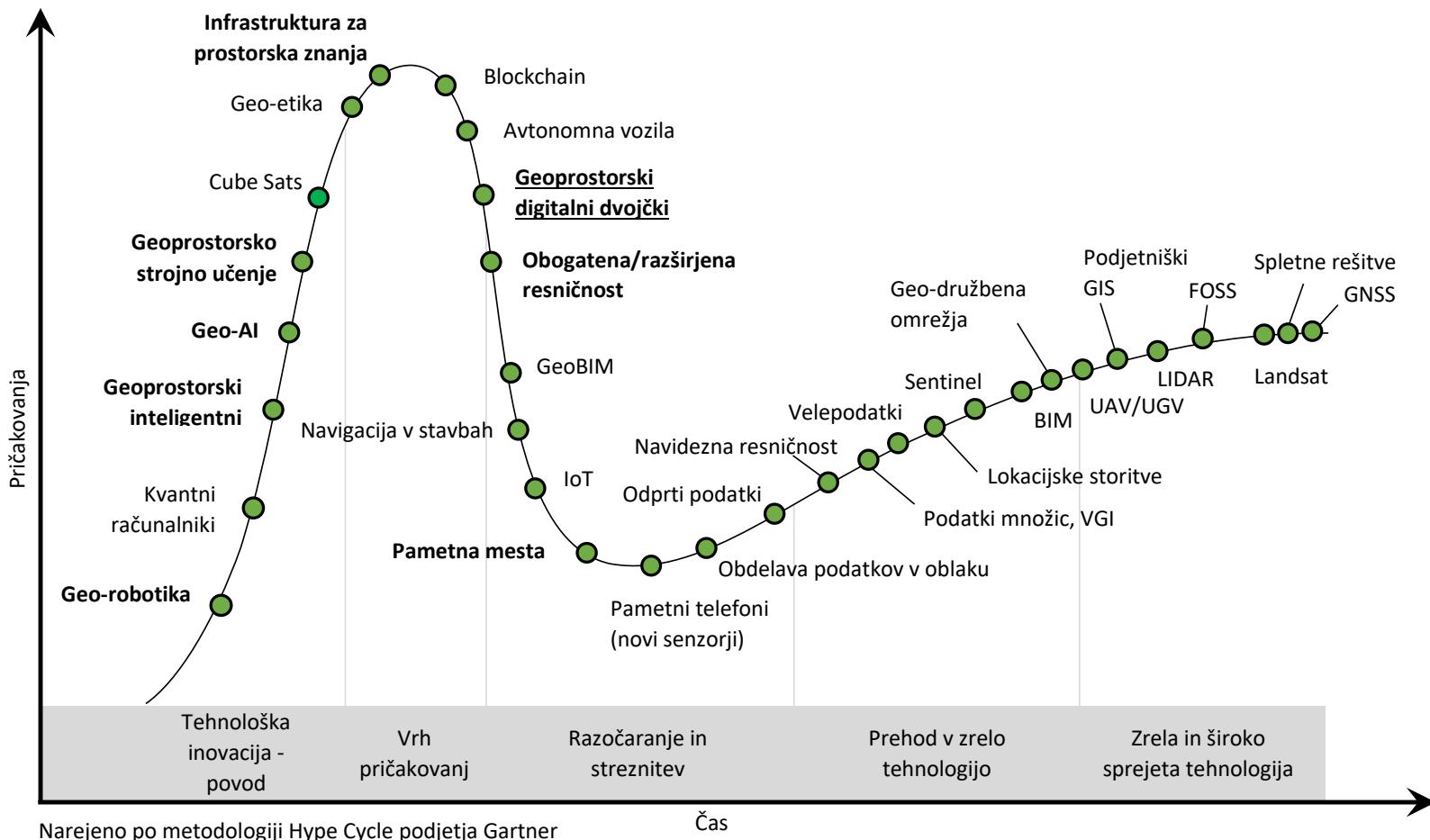
Vir: Knöfel, M. (2023): A Digital Twin for Germany. EuroSDR workshop.

Velika Britanija: nacionalni digitalni dvojček



Vir: Enzer, M. (2023): National Digital Twin Programme. EuroSDR workshop.

Razvojna krivulja geoprostorskih tehnologij



Dodatni zanimivi viri

Spletna stran EuroSDR: <http://www.eurosdr.net/>

Spletna stran OGC: <https://www.ogc.org/>

Kobe, T. (2023). Od 3D modelov mest do digitalnih dvojčkov:vabljeno predavanje.
<http://www.geodetskidan.si/>

CityGML: <https://www.ogc.org/standard/CityGML/>

CityGML – concept: <https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html>

CityGML – encoding: <https://docs.ogc.org/is/21-006r2/21-006r2.html>

GeoJSON: <https://docs.ogc.org/cs/20-072r2/20-072r2.html>

CityJSON: <https://www.cityjson.org/specs/2.0.0/>



**Skupna infrastruktura
prostorskih informacij**

GEOPROSTORSKI DIGITALNI DVOJČKI

dr. Anka Lisec

UL FGG, e-naslov: anka.lisec@fgg.uni-lj.si