

BIRGIT



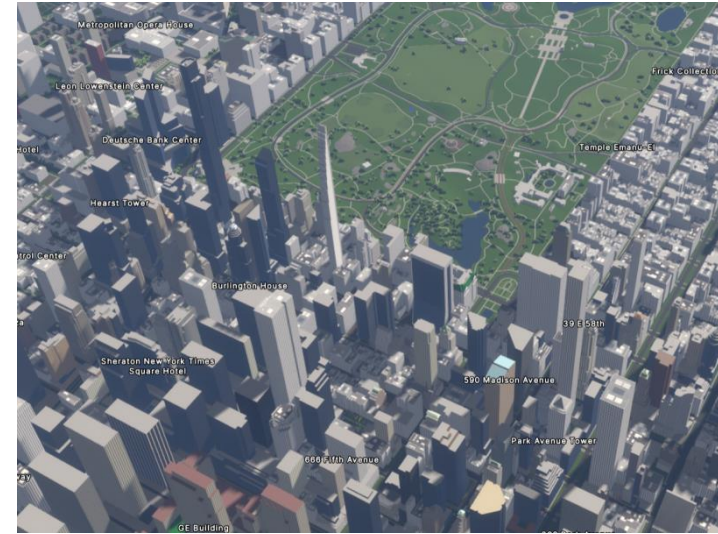
3D GIS, stadsmodeller och digitala tvillingar



Medfinansieras av
Europeiska unionen

Varför 3D?

- Världen är i 3D
- X-, Y- och Z-axeln



Figurer – centrala New York på 2D-karta och som 3D-modell (båda baserade på Open Street Maps)

Bättre förståelse av objektformer och rumsliga relationer

Många analyser är endast möjliga i 3D (t.ex. buller, översvämningar)

Digitala modeller av den byggda miljön

Olika tekniker för att skapa 3D-modeller

3D-information:

- Geometrisk
- Topologisk
- Semantisk

Abstraktion – begränsa modellens komplexitet, t.ex. inre delar



https://static.turbosquid.com/Preview/2018/11/07__08_45_37/1.jpgF16C9D5E-43CF-473A-9052-87F6D4FCEF1DZoom.jpg

Hämta 3D-data

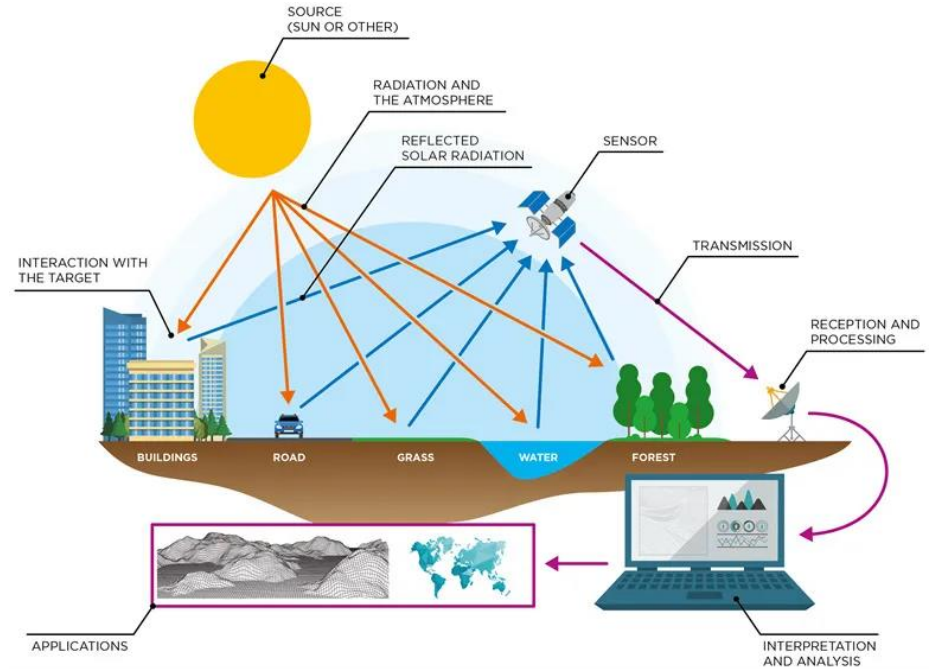
Traditionella metoder – stationära
laserskannrar

Fjärranalys – laser, radar, mobil
kartläggning

Fotogrammetri – digitala bilder,
flygfotografering

Utvinning från 2D-fotavtryck

Konvertering från arkitektoniska modeller



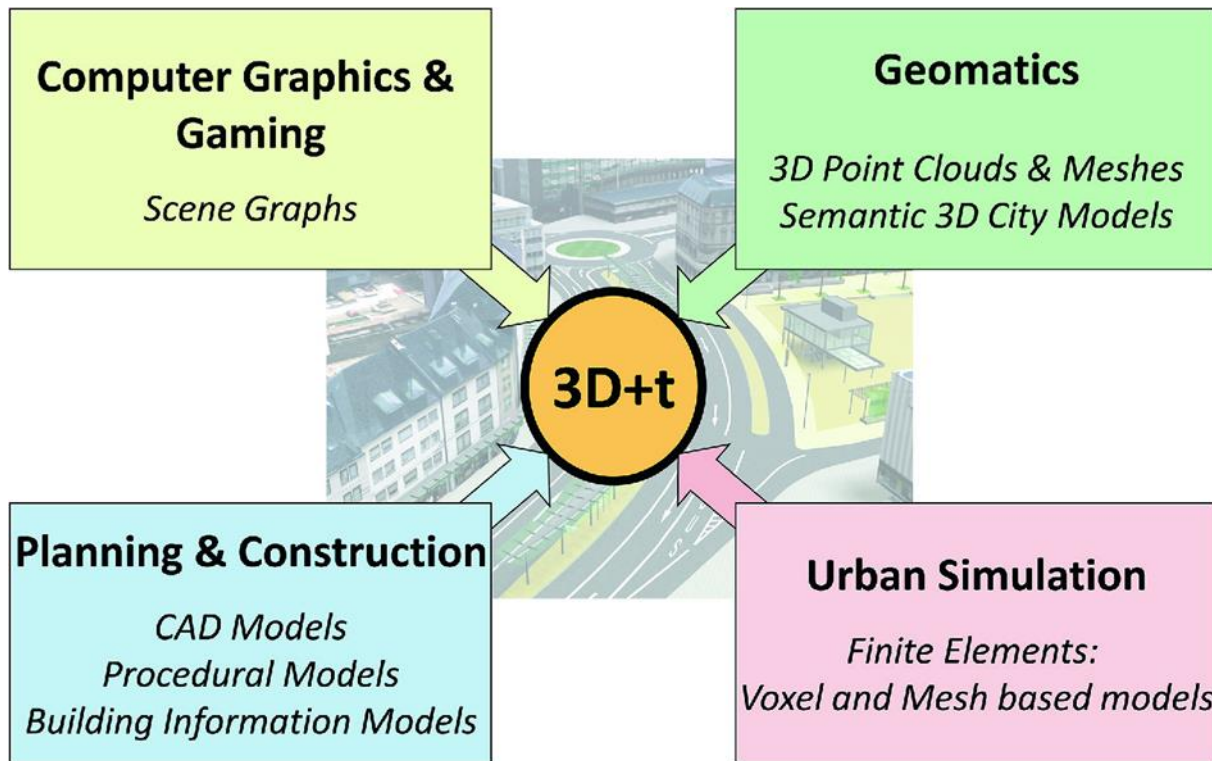
Fjärranalys. Källa: <https://i0.wp.com/geolearn.in/wp-content/uploads/2022/09/Remote-Sensing-Process.jpg>

Olika 3D-representationer

Flera sätt att visa 3D-information

Olika områden och branscher

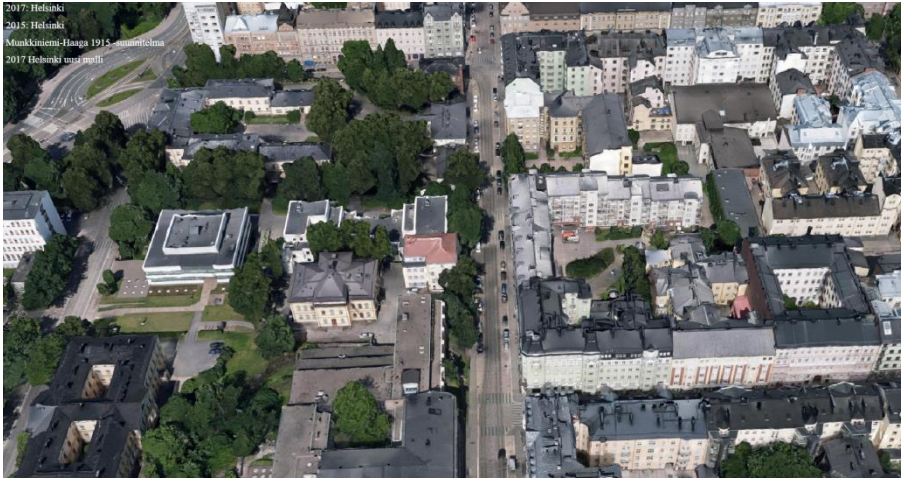
- Grafiska högupplösta modeller
- Modeller med hög detaljnivå
- GIS-relaterade modeller
- 3D voxel rastrar



Kolbe & Donaubaue (2021): Semantic 3D City Modelling and BIM in: W. Shi et al. (eds.), Urban Informatics, The Urban Book Series

3D-modeller med avancerad grafik

3D-modeller med fokus på
högkvalitativ visualisering



<https://kartta.hel.fi/3d/mesh/>

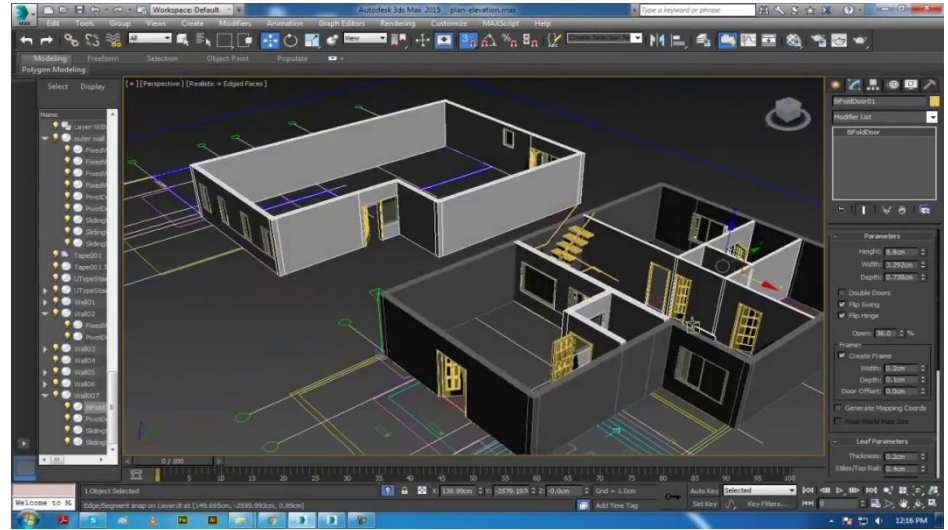


[3d-environment-design-for-game-3d-model-low-poly-animated-fbx-uasset.jpg](https://cgtrader.com/3d-environment-design-for-game-3d-model-low-poly-animated-fbx-uasset.jpg)
(2688×1512) (cgtrader.com)

Vanlig som spelmiljö
Några stadsmodeller

AEC-industrimodeller

- Fokus på detaljer
- Småskalig (endast en byggnad)
- Massor av objektinformation
- CAD- och BIM-modeller



Uppåt: 3D-modell i AutoCAD

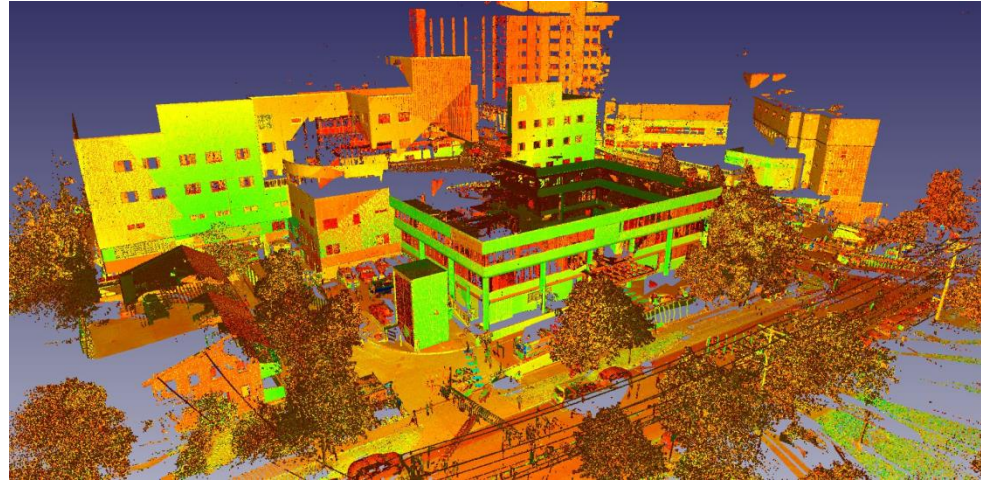
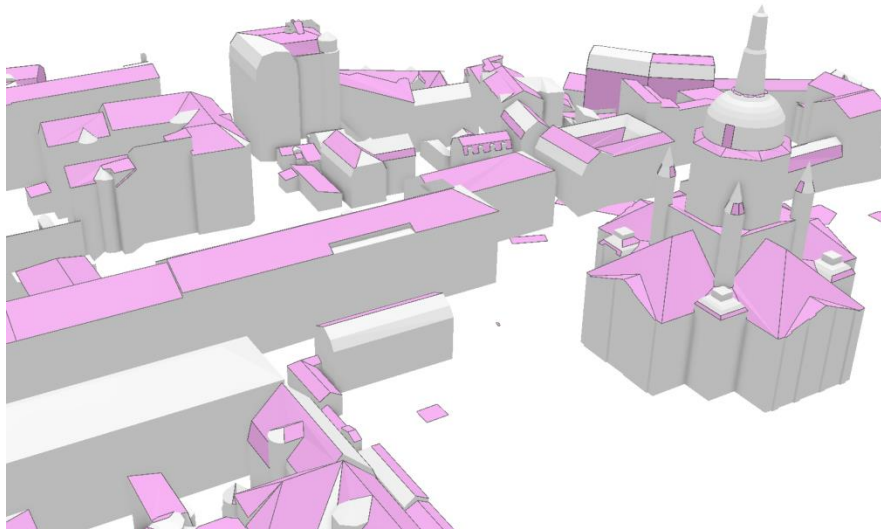
<https://cougardrafting.com/wp-content/uploads/2020/05/maxresdefault2.jpg>

Vänster: BIM-modell

<https://www.ckvango.com/wp-content/uploads/2015/11/bim-modeling-rendering.jpg>

Geomatiska / GIS-modeller

- 3D-punktmoln
- 3D-meshar
- Semantiska stadsmodeller – enskilda objekt och egenskaper



Uppåt: punktmoln från laserskanning

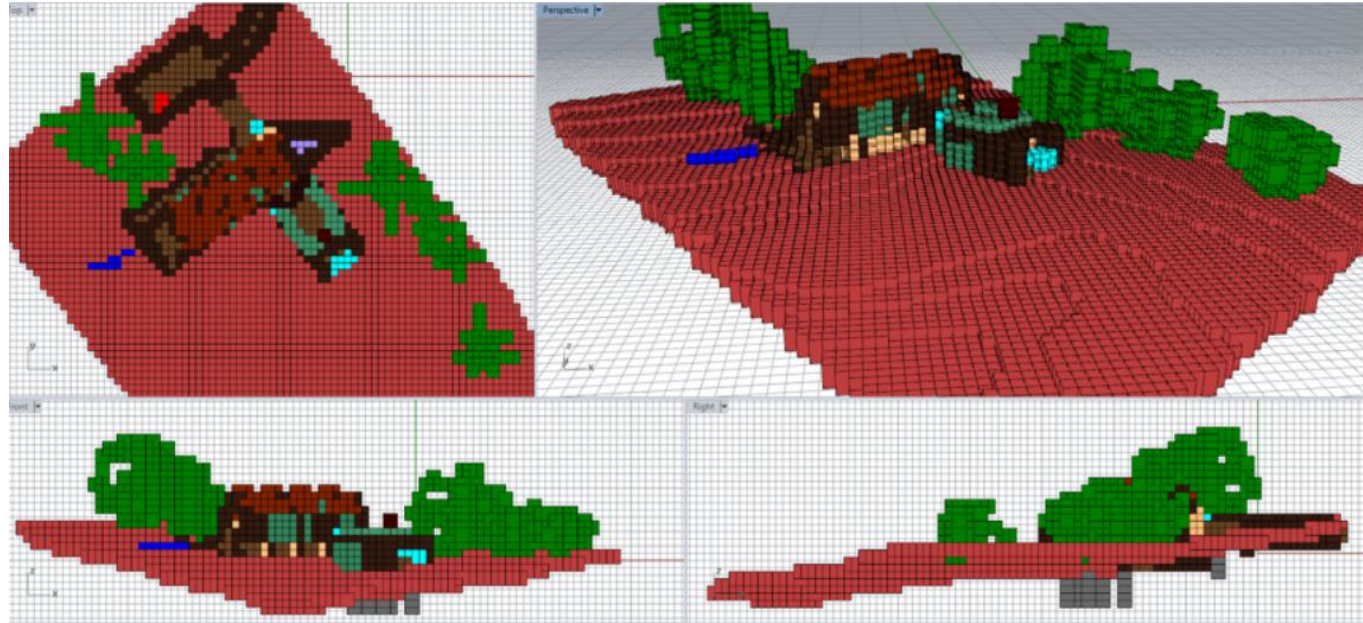
<https://www.laserscanning.com.au/files/2014/04/6736-Image-3.jpg>

Vänster: Stockholms semantiska stadsmodell

Hämtad från: [Dataportalen \(stockholm.se\)](http://Dataportalen(stockholm.se))

3D raster = voxelmodell

- Voxel är 3D parallellt med 2D pixel i en rasterkarta
- Voxelmodellerna är 3D-ekvivalenta med 2D-rastrar
- Precision baserat på rutnätets storlek



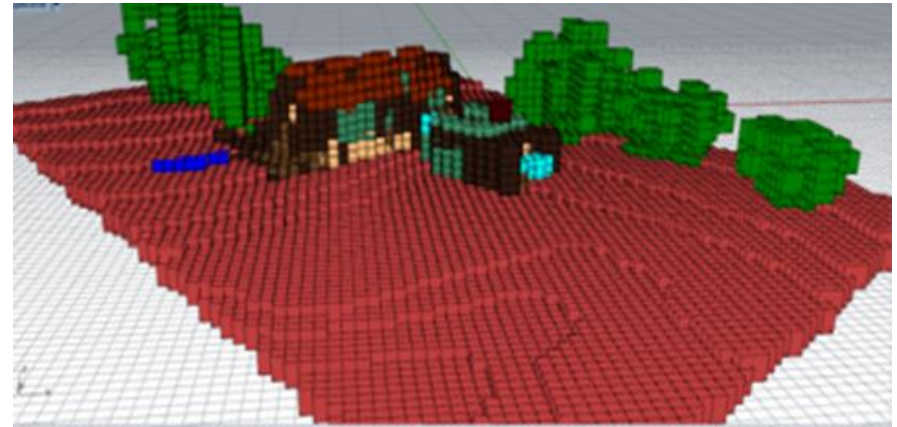
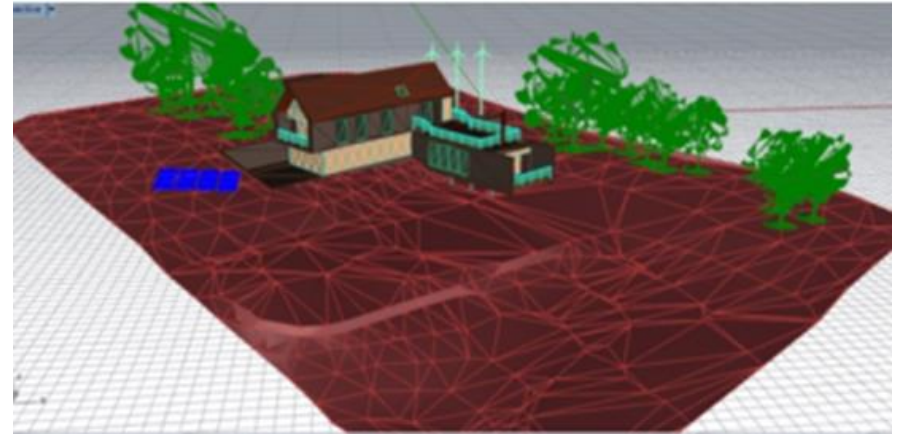
Från: Oori, Ledoux och Peters (2020–2022: 3D modelling of the built environment, sida 31

- Distribution och simulering av kontinuerliga variabler (t.ex. vindhastighet, lufttemperatur)

Reality-mesh stadsmodeller I

Om voxlar inte är lämpliga:

- Uppdelning av ytor i trianglar = meshing
- Fastställda egenskaper, t.ex. minsta vinklar – även ändliga elementmetoden
- Figurer – jämförelse av meshes (övre) och voxlar (nedre) för samma objekt



Från: Ohori, Ledoux och Peters (2020–2022): 3D modelling of the built environment, sida 31

Reality-mesh stadsmodeller II

- Triangulära meshmodeller är snabba och kostnadseffektiva att skapa
- Första generationens stadsmodeller
- Google Earth (engelska)

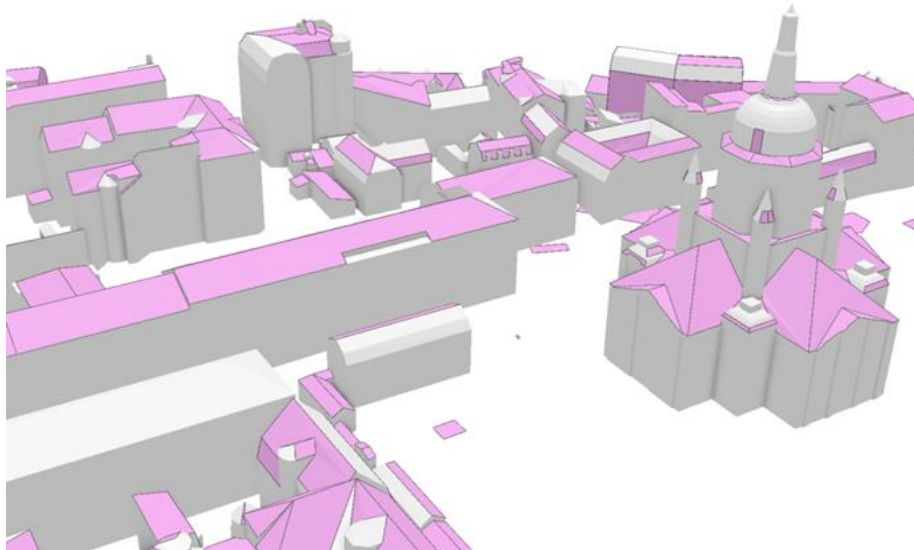


Uppåt: Reality-mesh av Helsingfors stadsmodell
Från: Oori, Ledoux och Peters (2020–2022): 3D modelling of the built environment, sida 91

Vänster: Mesh-baserad modell från Google Earth
Exempel på Prag, [Google Earth](#)

Vad är den semantiska stadsmodellen?

Modell med framstående objekt som representerar verkliga saker: husen, gatorna, träden och annat

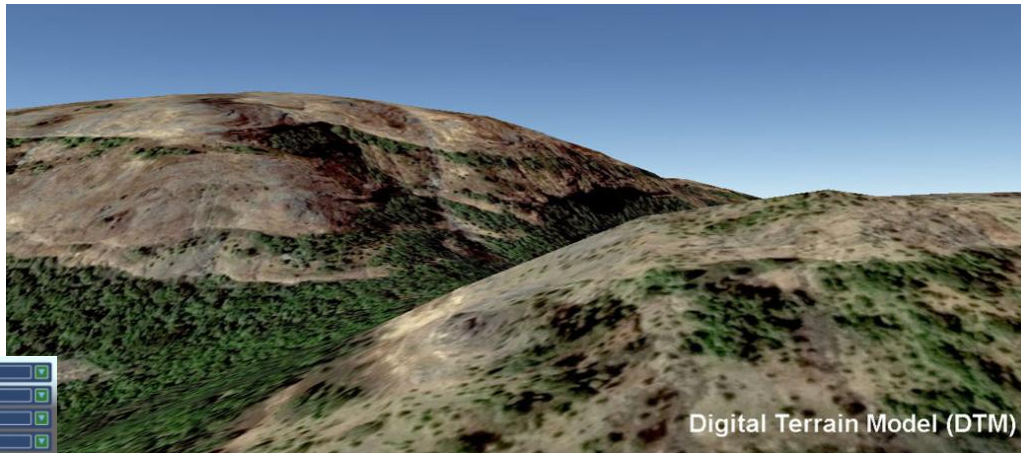


Uppåt: från Helsinki3D_Kalasadama_Digital_Twins
<https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d>

Vänster: Stockholms semantiska stadsmodell
Hämtad från: [Dataportalen \(stockholm.se\)](https://dataportalen.stockholm.se)

Objekt i de semantiska modellerna

- Naturföremål – digital terrängmodell, vegetation, vattenförekomster...



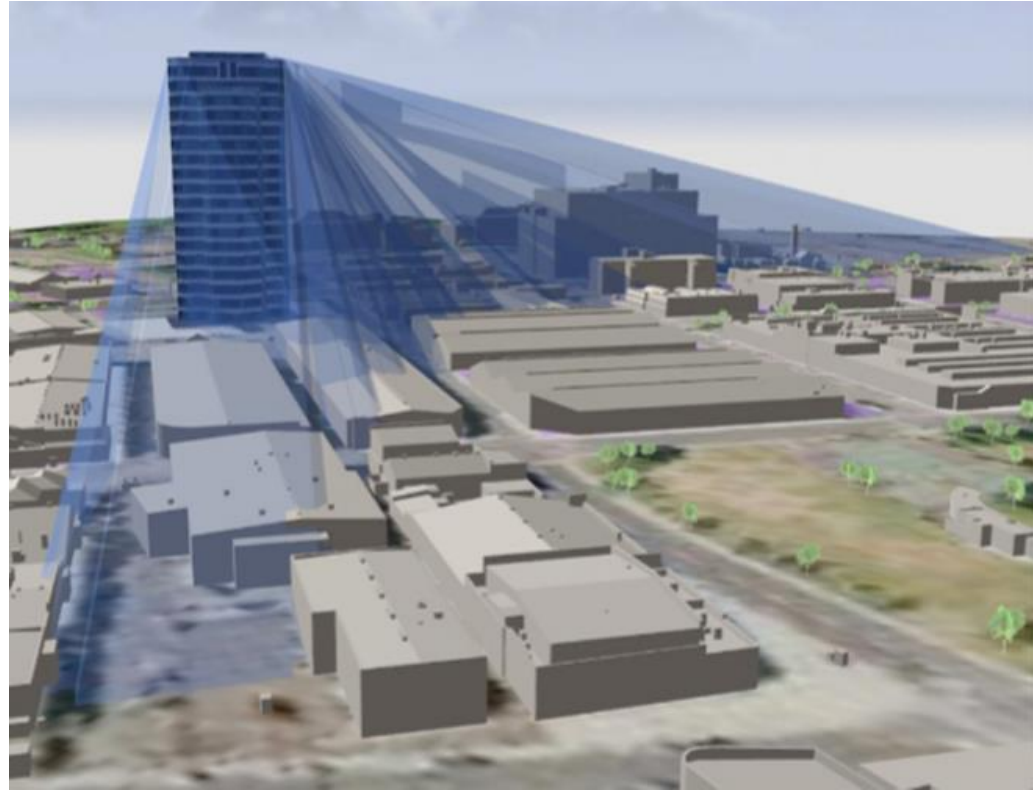
Konstgjorda objekt och växtlighet, Källa: Biljecki et al (2015)
Applications of 3D City Models: State of the Art Review

Digital terrängmodell, DTM. Källa: <https://pigeonis.in/wp-content/uploads/2017/07/digital-terrain-model-dtm-1024x569.jpg>

- Konstgjorda föremål – hus, broar, gatumöbler...
- Alla objekt kan ha attribut

Skapande av stadsmodeller I

- 3D-modeller – efterföljare till 2D-kartor
- Möjligt att öka beräkningskapaciteten
- Världen är 3D – 3D-modeller mer realistiska än 2D
- Vissa analyser är inte möjliga i 2D, t.ex. skugganalyser eller luftföroreningar



Shadowcast analys, 3D nödvändigt för det, från: Applications of 3D City Models: State of the Art Review

Skapandet av stadsmodeller II

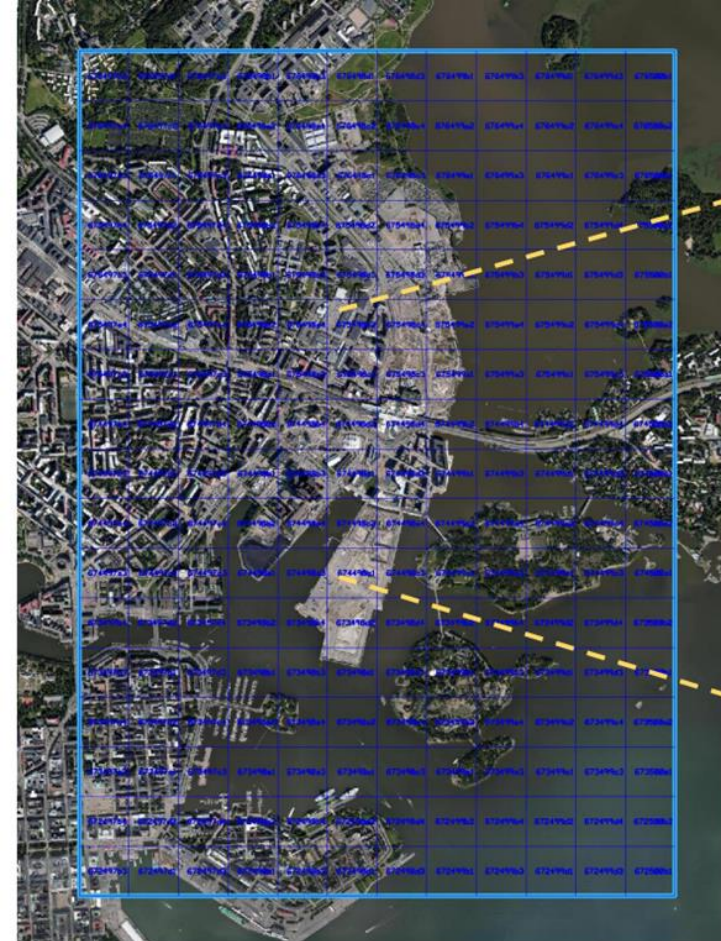
Kombination av

- Flygbilder (fotogrammetri)
- punktmoln (LiDAR)
- 2D-data (cadastres)

Data som sammanställts med hjälp
av specialiserad programvara

Följt av kontroll och manuell
justering

Tiling av flygbilder i Helsingfors stadsmodell, från: Projektet Kalasatama digitala tvillingar



3D-stad från flygfoton I

- 2D-bilder från olika synvinklar
- Delvis överlappande
- Automatiskt kombineras och trianguleras



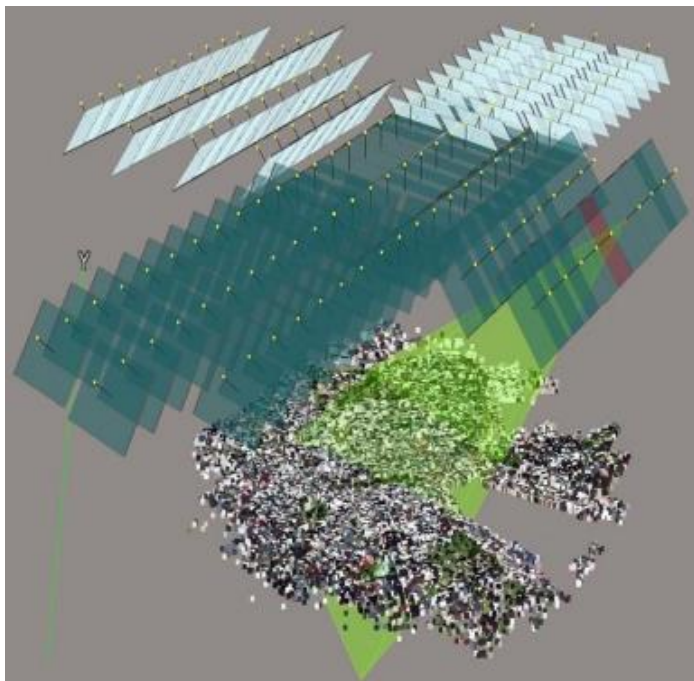
Vertikal och sned flygfotografering (ovanför)
och bearbetning i nät 250x250 meter (höger)

Källa: Projektet Kalasatama Digital Twins. Slutrapporten från
pilotprojektet KIRA-digi, 2019



3D-stad från flygfoton II

- Kombinering genom att hitta gemensamma egenskaper i de överlappande bilderna (nedan)



- Markkontroll punkter (höger)

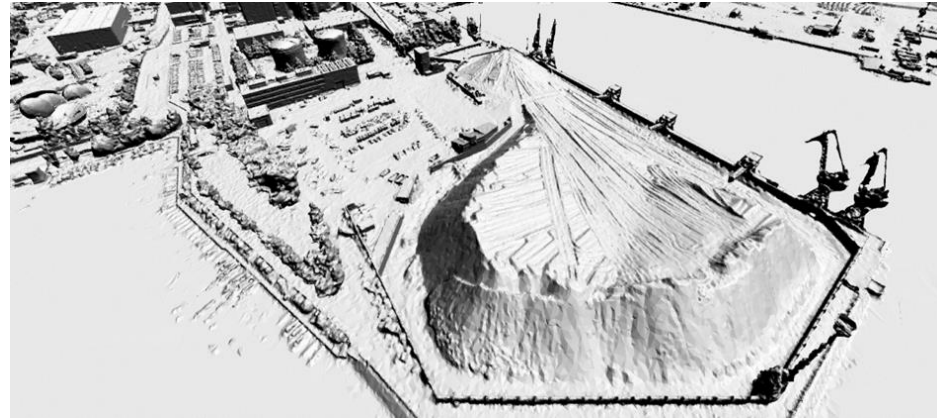
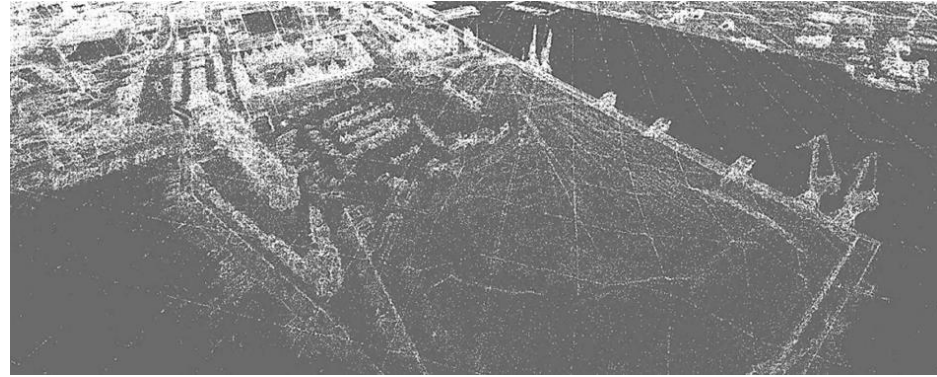
Källa: The Kalasatama Digital Twins Project. The final report of the KIRA-digi pilot project, 2019



Exempel på Helsingforsmodellen

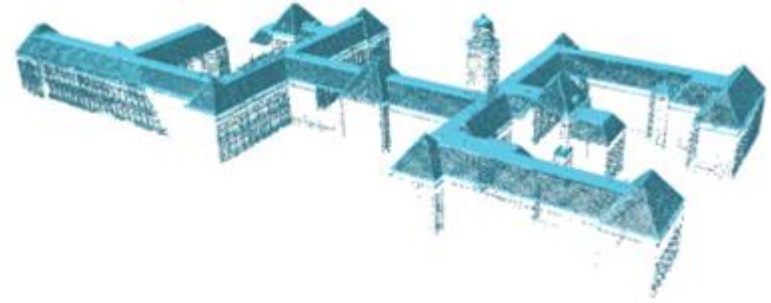
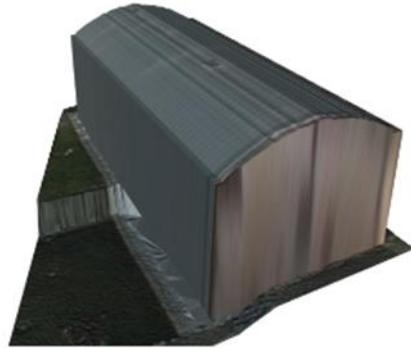
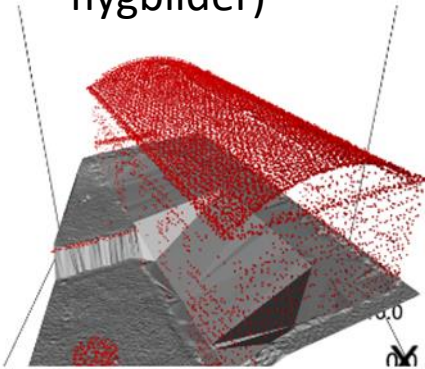
Tre steg i skapandet:

- 1) punktmoln från flygbilder (höger upp)
- 2) maskmodell utan synliga trianglar (höger ner)
- 3) Slutlig fotorealistisk modell (vänster ner)

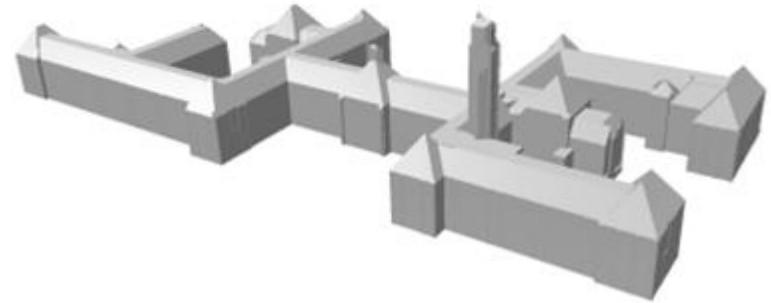


3D stad från laserskanning I

- Mesh-modeller även från punktmoln (höger a) ett punktmoln, (b) rekonstruerad byggnad
- Kan vara fotorealistiskt (nedåt)
- Mindre områden, mer detaljer (jämfört med flygbilder)



(a)



(b)

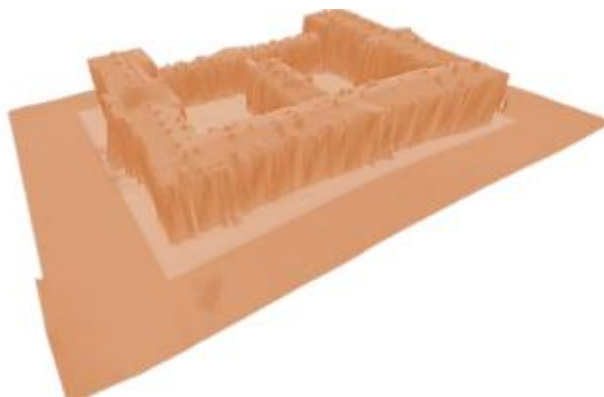
Källa: 3D Book (vänster),
<https://www.rock.estate/blog/a-tour-of-3d-point-cloud-processing> (höger)

3D stad från laserskanning II

DTM – höjd av byggnadens bas

DSM – byggnadshöjd och takform

2D-karta – byggnadens bas



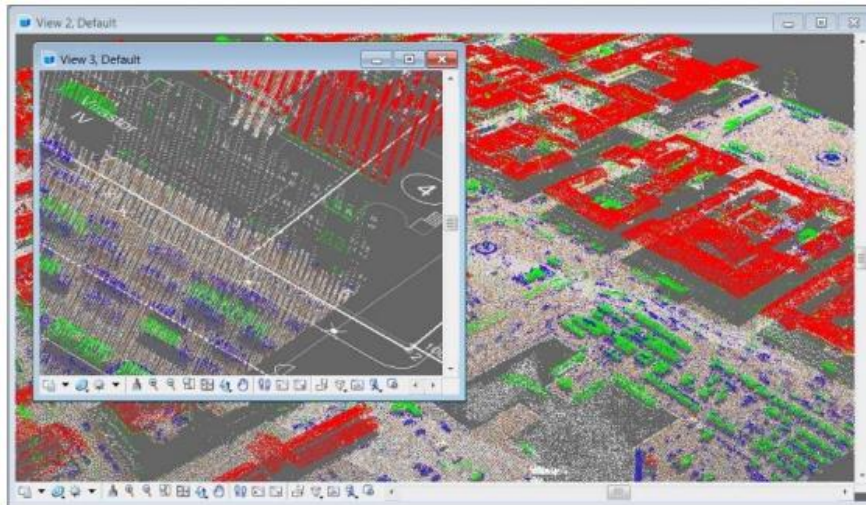
Surface model



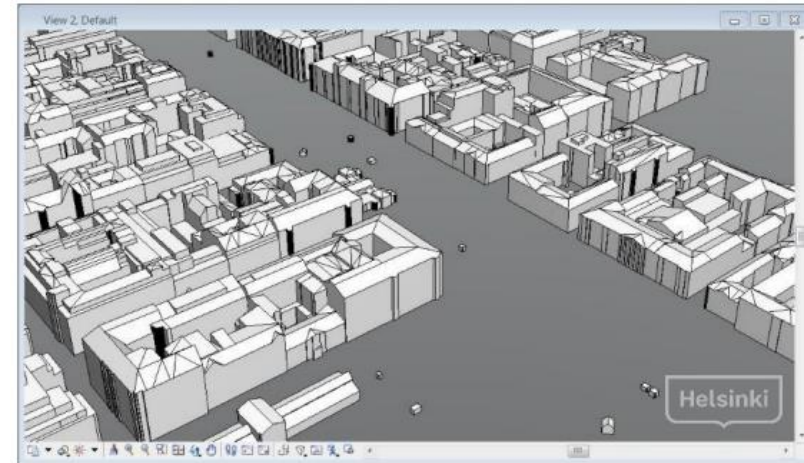
- DTM och DSM – modell för digital terräng och yta (upp)
- Terräng- och ytmodeller från ett byggnadsområde (vänster)

3D stad från laserskanning III

Baskarta och punktmoln för ett område (ner)
Takformer av byggnader från data (höger upp)
Geometrier av skapade 3D-byggnader (höger ner)



Källa: The Kalasatama DT Project



Slutlig 3D-semantisk modell

- Lägga till semantisk info = attribut
- Finns t.ex. i kadaster



Exempel på grafisk semantisk modell av Stockholm – centrum och bostadsområde

<https://smartstad.stockholm/2020/03/09/over-100-000-byggnader-i-stockholm-som-3d-modeller-i-stadsbyggnadskontorets-nya-databas/>

Abstraktion i 3D-modeller

- Ta bort onödiga delar, t.ex. interiörer
- Semantiska modeller – hög abstraktionsnivå, unika ID
- Meshmodeller – låg abstraktion, mindre datorutrymme, snabbare att skapa och läsa, billigare



[Helsinki 3D | City of Helsinki](https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d)

<https://www.hel.fi/en/decision-making/information-on-helsinki/maps-and-geospatial-data/helsinki-3d>

Exempel på 3D-stadsmodeller I

- Semantiska modeller - främst offentlig sektor
- Höggrafikmodeller – ofta kommersiella, Open Street Map
- Första gratis modellen – Berlin 2015



[VisualizationBerlin – 3DCityDB Database](#)

Exempel på 3D stadsmodeller II

Många städer
erbjuder 3D-modeller
för visning

Data vanligtvis inte
gratis att ladda ner

Undantag:

[Cities/regions around
the world with open
datasets \(tudelft.nl\)](http://tudelft.nl)



Semantisk modell av Zagreb, Kroatien

[ZG3D: 3D model Grada Zagreba \(gdi.net\)](http://gdi.net)

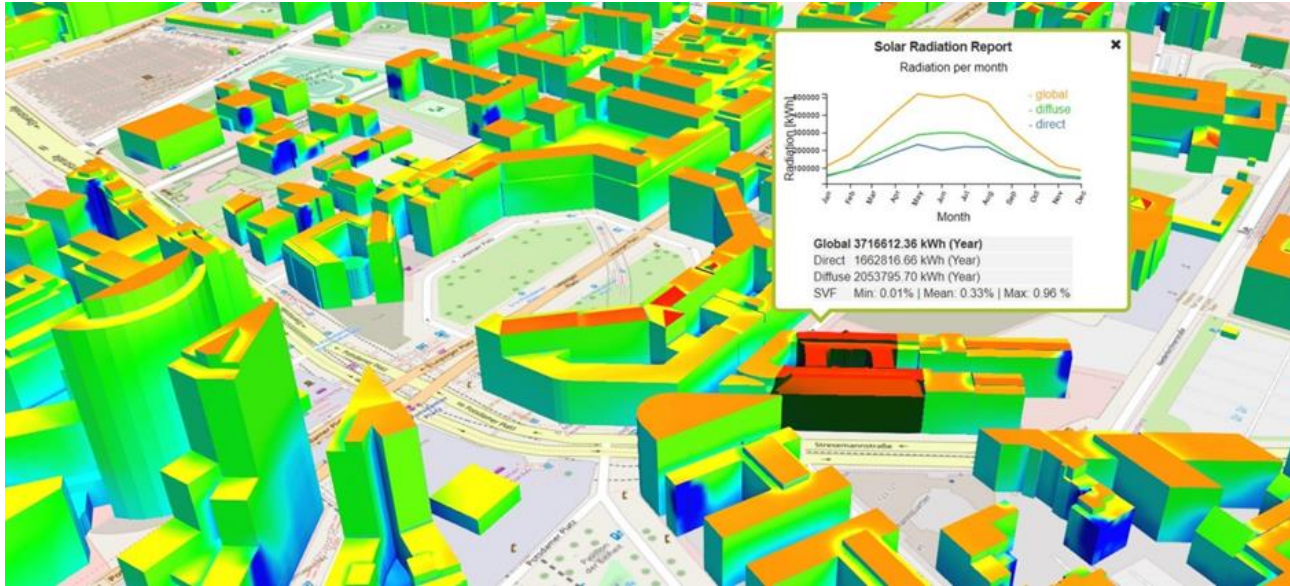
Applikationer som använder semantiska 3D-modeller

- Visualisering & stadsplanering (se figur)
- Utsökningar – beror på LOD och detaljen av semantisk information
- Analyser och simuleringar – ge ny semantisk information
- Scenariosimulering



Källa: The Kalasatama DT Project

Analys av solstrålning



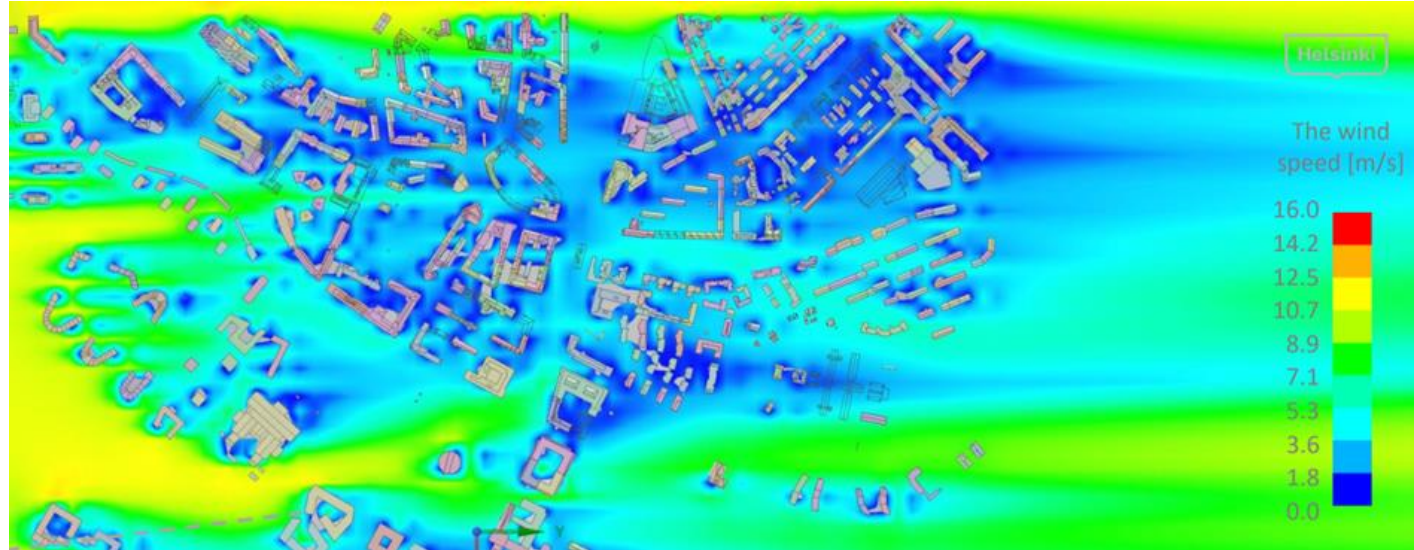
Möjlighet till många analyser:

- Solenergiproduktion
- Bästa tak för solceller
- % av hushållens förbrukning som täcks av solenergi
- El-kostnad

[3d-stadtmmodell_solarpotenzialanalyse-aspect-ratio-20-9-3.jpg \(2310x1040\) \(vc.systems\)](#)

Analys av vindhastighet

- Minskning av vindhastigheten i det nyligen planerade grannskapet
- Uppskattning av termisk komfort under varma somrar
- Spridning av luftföroreningar



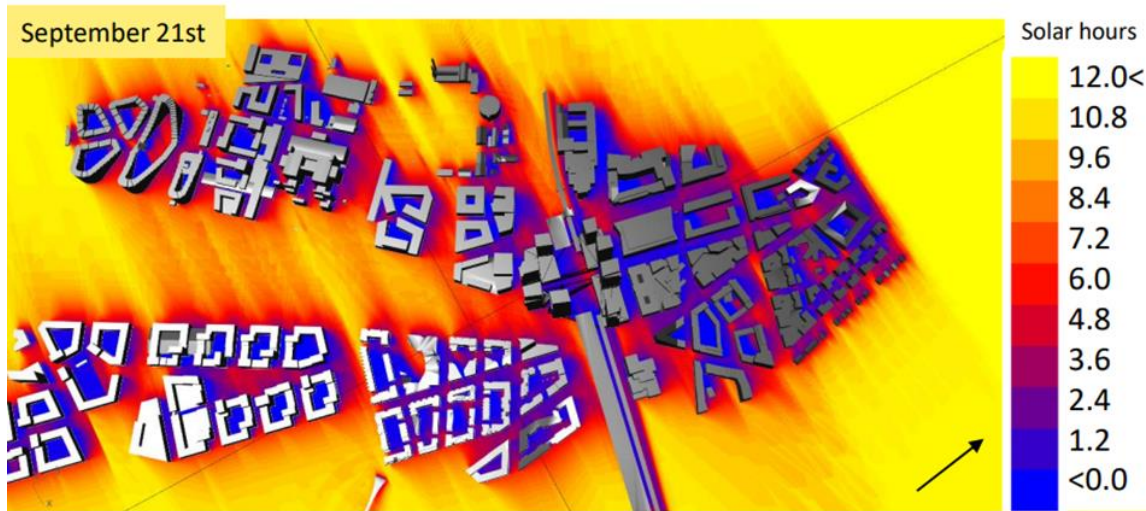
Stimulering av vindintensiteten på gatunivå i Helsingfors
Vinden blåser från bildens vänstra sida i 15m/s

Källa: The Kalasatama DT Project

Solsken- och skugg analys

- Stadsplanering

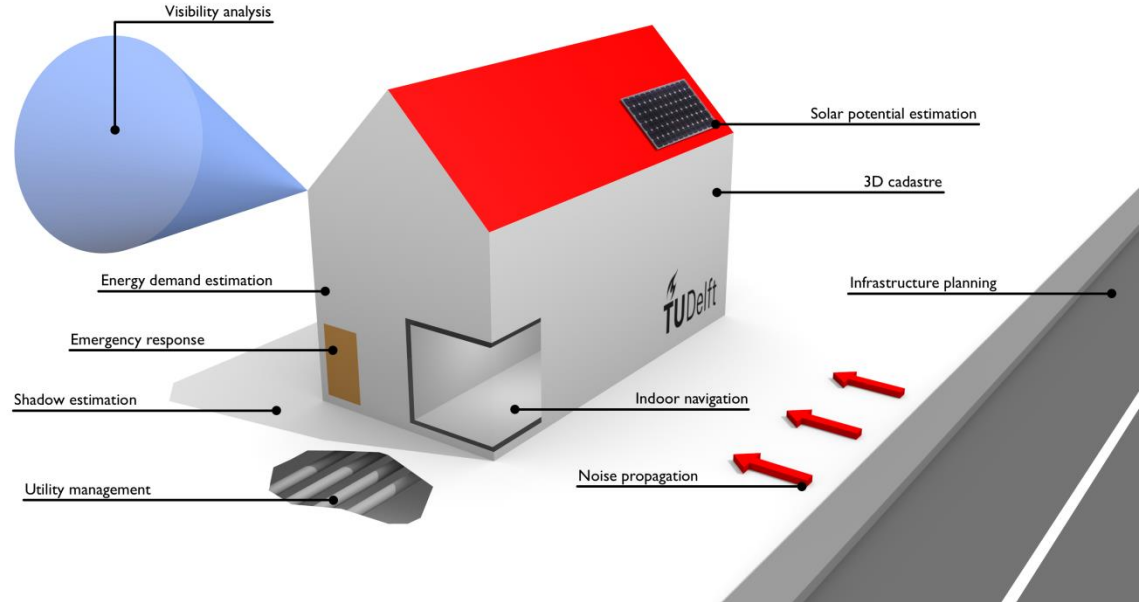
September 21st at 16:00



- Solsken (upp) och skuggning av planerade byggnader (vänster) vid höstdagjämning
- Liknande beräkningar för vilken tid på året som helst
- Provning av byggnadens utformning och placering

Andra tillämpningar

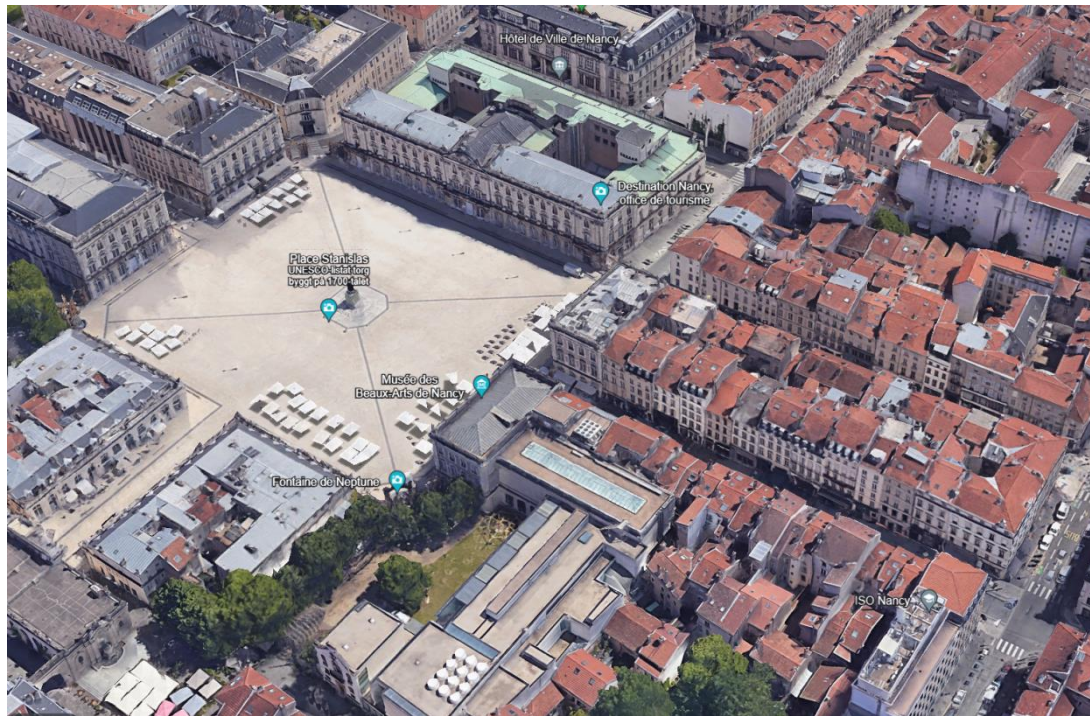
- Kraftiga regnhändelser och översvämningar
- Digitala tvillingar, smarta städer
- Datakvalitet och harmonisering är grundläggande
- Biljecki et al. (2015): Applications of 3D City Models: State of the Art Review



[Applications of 3D city models | CityJSON](#)

Semantiska 3D-stadsmodeller

- Ge geografisk, topografisk och semantisk information om objekt
- Interaktioner mellan objekt
- Hierarkisk sönderdelning i mindre delar (t.ex. byggnadsväggfönster)
- Kan vara komplex och täcka stora områden

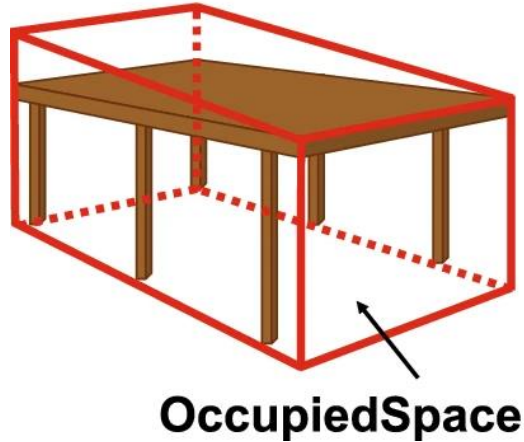


En hel del semantisk information kan läggas till i en 3D-modell
3D-modell av Nancy, Frankrike, Google Earth

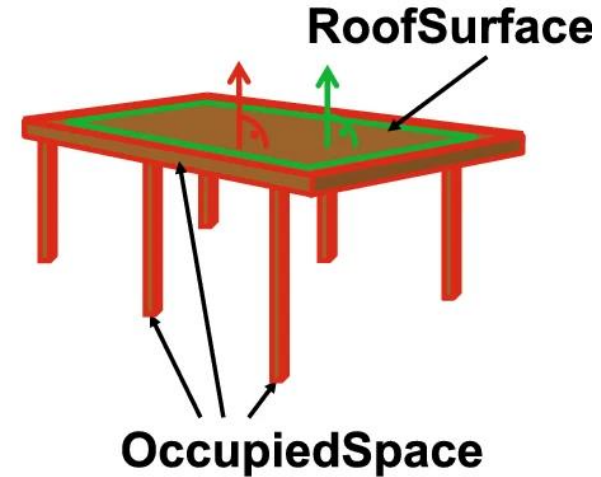
CityGML-standard

- CityGML är öppen datamodell av Open Geospatial Consortium (OGC)
- Syftar till att representera semantiska 3D-modeller
- Nuvarande version är 3.0, godkänd 2021

Carport in LOD1



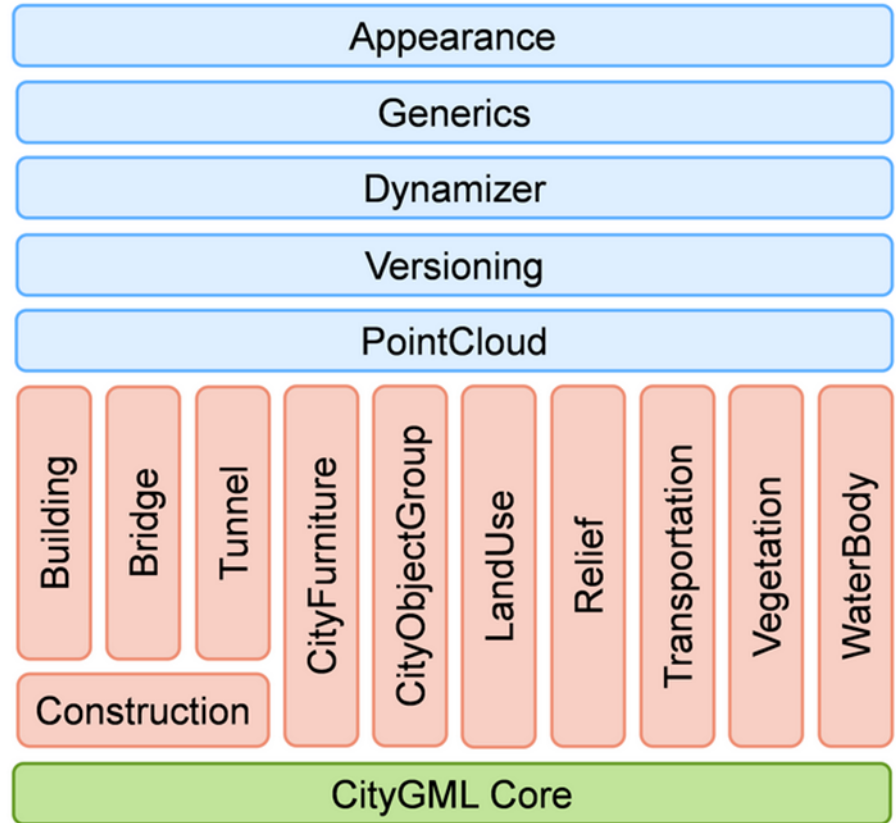
Carport in LOD2/3



Representation av en carport som OccupiedSpace i olika LODs. Från: [CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications](#)

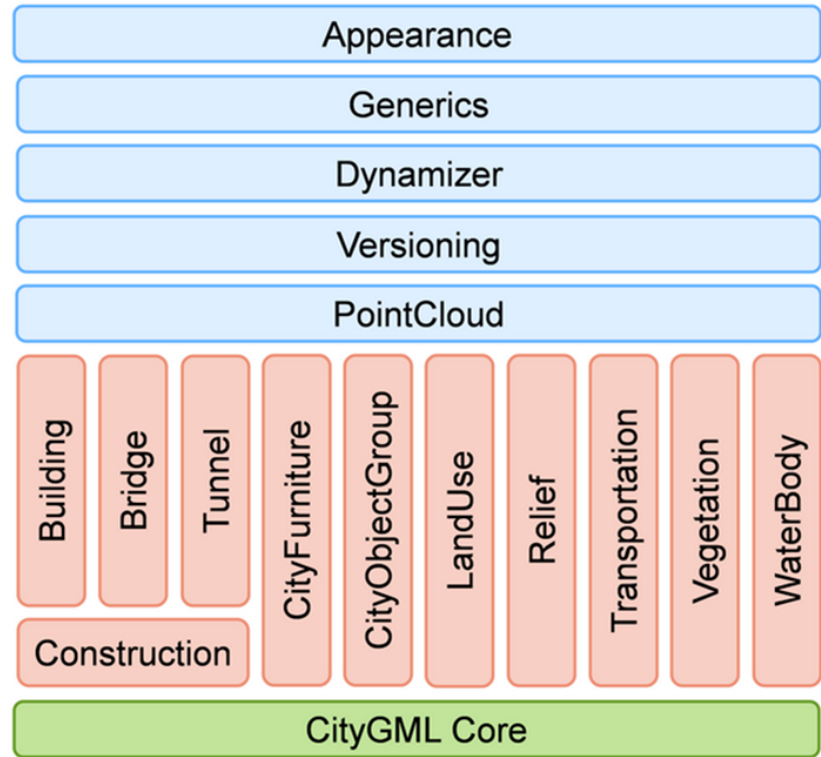
CityGML konceptuell modell (CM)

- Gemensamma stadsobjekt bör beskrivas på samma sätt i alla modeller
- CityGML definierar klasser av de viktigaste objekten, hur man sönderdelar dem och användbara attribut
- Dessa klasser definieras i CityGML Conceptual Model



Klassmoduler i CM

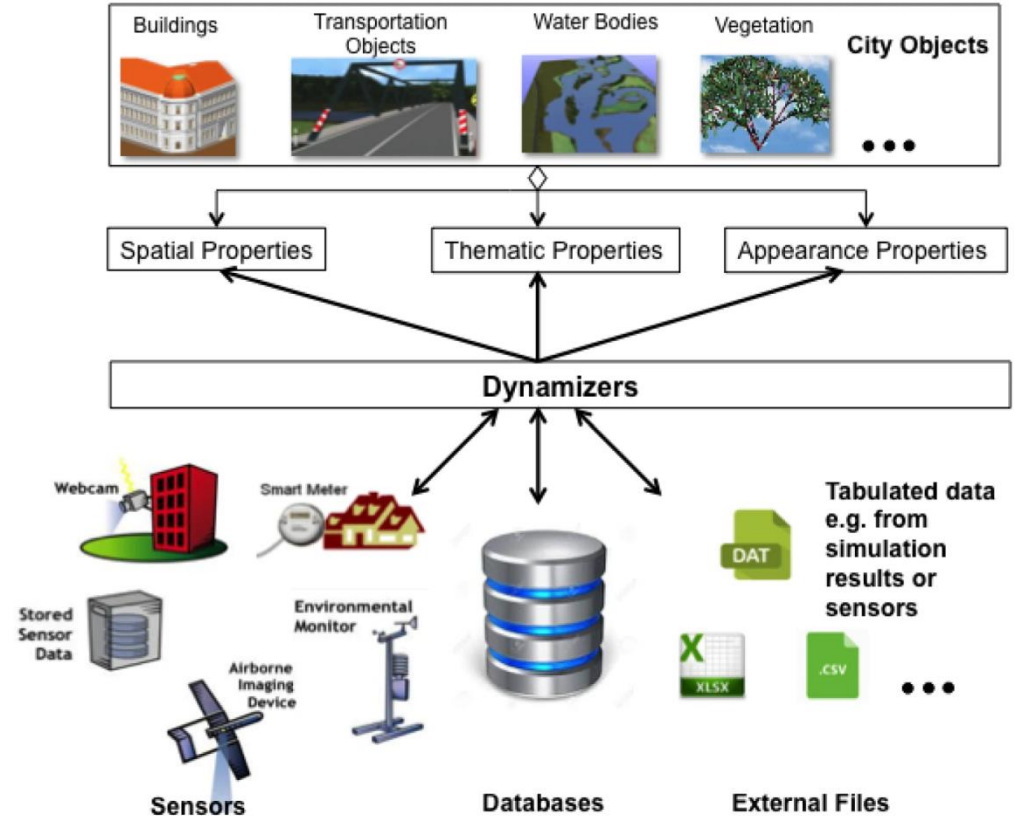
- Tilläggsklass-moduler, visas vertikalt i rosa
- Modulerna är specifika tematiska klasser av de viktigaste objekten
- Alla tilläggsmoduler behöver inte ingå i en 3D-modell



CityGML konceptuell modell, [CityGML - Open Geospatial Consortium \(ogc.org\)](http://citygml.org)

Specifika aspektmoduler i CM

- De fem blåfärgade vertikala modulerna i CM
- Lägger till specifika modelleringsaspekter, t.ex. texturer, färger, tid, modellversioner...
- Kan användas tillsammans med alla förlängningsmoduler



Konceptuell representation av Dynamizers som gör det möjligt att förbättra egenskaperna hos stadsobjekt, från: [CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications](#)

Datakvalitet

Stadsmodeller är komplexa stora dataset

Datakvalitet är en avgörande fråga

- Noggrannhet
- Fullständighet
- Användbarhet
- Överensstämmelse
- Unikhet



Semantisk 3D-modell från Zagreb, Kroatien. Skärmdump från ArcGIS Pro.

Kodningar av CityGML

GML – Geography Markup Language

CityGML är namn både för:

- XML-baserad GML-kodning
- konceptuell datamodell

Skapat av Open Geospatial Consortium (OGC)

CityGML 3 gör det möjligt att koda data i XML, JSON eller databasscheman

Three encodings:

- XML-based →



- JSON-based →



- SQL-based →

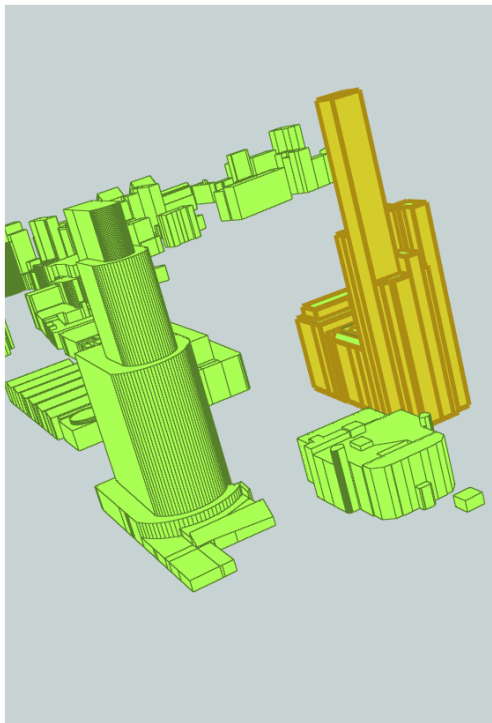


Inspire 3D-byggnader

Influerad av CityGLM,
men förenklad

Sträva efter att garantera
interoperabilitet mellan
rumsliga data och tjänster
från olika EU-länder

Krav i EU-direktiv (t.ex.
buller och
energiprestanda)



Property	Value
Feature Type	BuildingPart
Coordinate System	EPSG:28992
Dimension	3D
Number of Vertices	606
Min Extents	92930.945999999996, 435425.1972, 0.0
Max Extents	93029.243000000002, 435500.67200000002, 135.50008840000001
Attributes (12)	
beginLifespanVersion (encoded: utf-16)	2013-01-15T00:00:00
conditionOfConstruction.owns (encoded: utf-16)	false
conditionOfConstruction.xsi_nil (encoded: utf-16)	true
fme_geometry (string)	fme_aggregate
fme_type (string)	fme_area
geometry3DLoD2.BuildingGeometry3DLoD2.horizontalGeometry...	1.0
geometry3DLoD2.BuildingGeometry3DLoD2.horizontalGeometry...	m
gml_id (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c52542f52
gml_original_coordinate_system (encoded: utf-16)	EPSG:28992
inspireId.IdentifierLocalId (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c52542f52
inspireId.IdentifierNamespace (encoded: utf-16)	EUJRC.BU
xml_type (string)	xml_area
IFMEMultiArea (123 Parts)	
Name (encoded: utf-16)	geometry3DLoD2.BuildingGeometry3DLoD2.geometryMultiSurface
Geometry Traits (1)	
Part 0: IFMEPolygon	
Name (encoded: utf-16)	surfaceMember
Geometry Traits (1)	
gml_id (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c52542f52-1
Linear Boundary	True
Convex	True
Orientation	Right Hand Rule
Boundary: IFMELINE (4 Coordinates)	(92971.863129999998, 435461.86729999998, 32.190855839999998, ...)
Closed	Yes
Coordinates (4)	
0	92971.863129999998, 435461.86729999998, 32.190855839999998
1	92983.949670000001, 435471.02470000001, 32.190962329999998
2	92983.949670000002, 435471.02470000001, 32.19067957
3	92971.863129999998, 435461.86729999998, 32.190855839999998
Part 1: IFMEPolygon	
Name (encoded: utf-16)	surfaceMember
Geometry Traits (1)	
gml_id (encoded: utf-16)	fme-gen-778f112c-1978-4-ca9-a52d-f1c52542f52-2
Linear Boundary	True
Convex	True
Orientation	Right Hand Rule
Boundary: IFMELINE (5 Coordinates)	(92983.949670000002, 435471.02470000001, 32.190962329999998, ...)
Closed	Yes

Inspire Buildings GML visas med Data Inspector. Från: [Converting CityGML to INSPIRE 3D Buildings \(Annex III\) \(safe.com\)](#)

Definitionen av en digital tvilling

/ dig•i•tal twin /

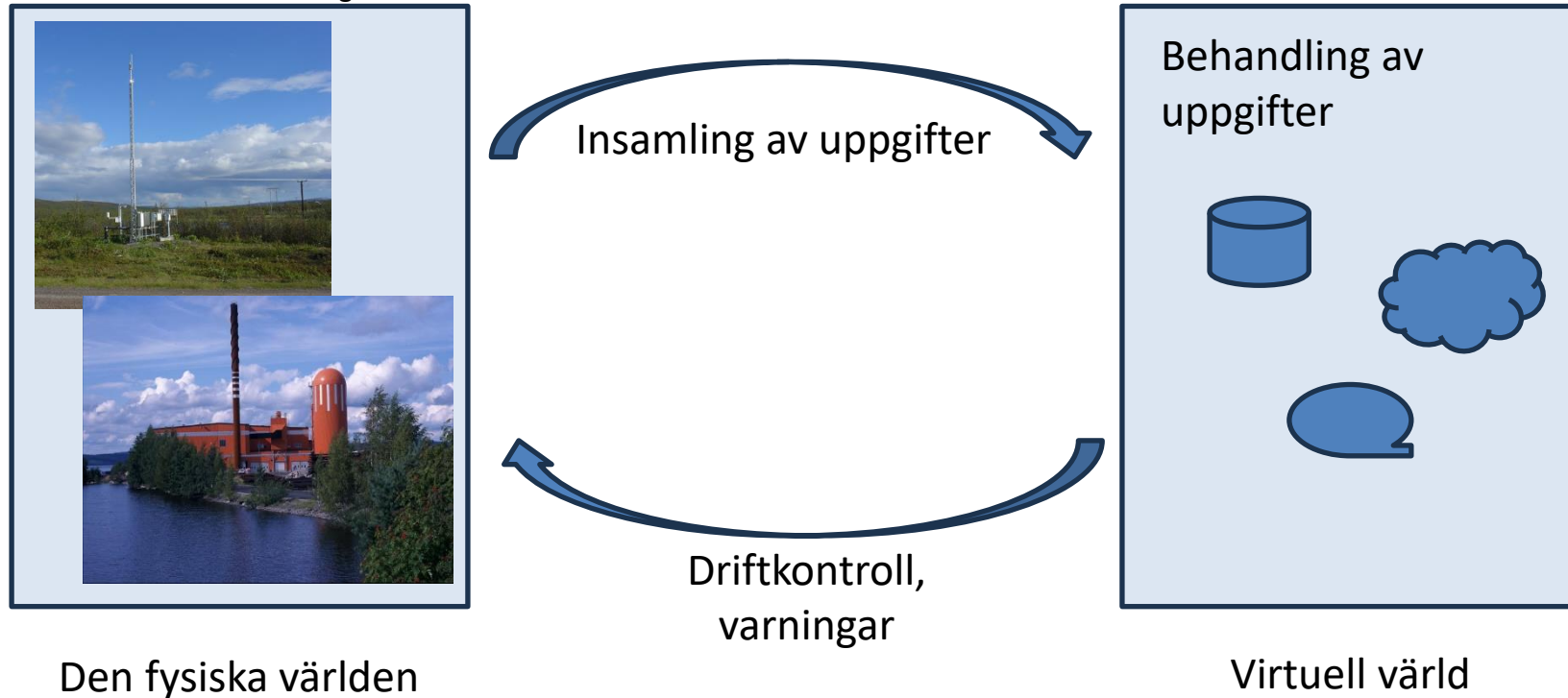
noun

1. A digital twin is a virtual representation of real-world entities and processes, synchronized at a specified frequency and fidelity.

- Digital twin systems transform business by accelerating holistic understanding, optimal decision-making, and effective action.
- Digital twins use real-time and historical data to represent the past and present and simulate predicted futures.
- Digital twins are motivated by outcomes, tailored to use cases, powered by integration, built on data, guided by domain knowledge, and implemented in IT/OT systems.

Sammankoppling av fysiska och virtuella världar

Källor: smhi.se och vbenergi.se



Viktiga komponenter i digitala urbana tvillingar

Insamling av uppgifter

- Historiska data – inom arkiv (i bästa fall)
- 3D-data – börjar visas men långt ifrån fullständig representation
- Realtidsdata – sensornätverk finns tillgängliga
- Uppgifter om medborgarna – Några pilotstudier har genomförts

Behandling av uppgifter

- Konstruktion och design – ofta manuell (CAD/BIM, markanvändningsplanering, ...)
- Simuleringar och förutsägelser – används ofta för trafikflöden, dagvatten, vatten och avloppsvatten
- Optimering – särskilda programvarupaket

Driftkontroll

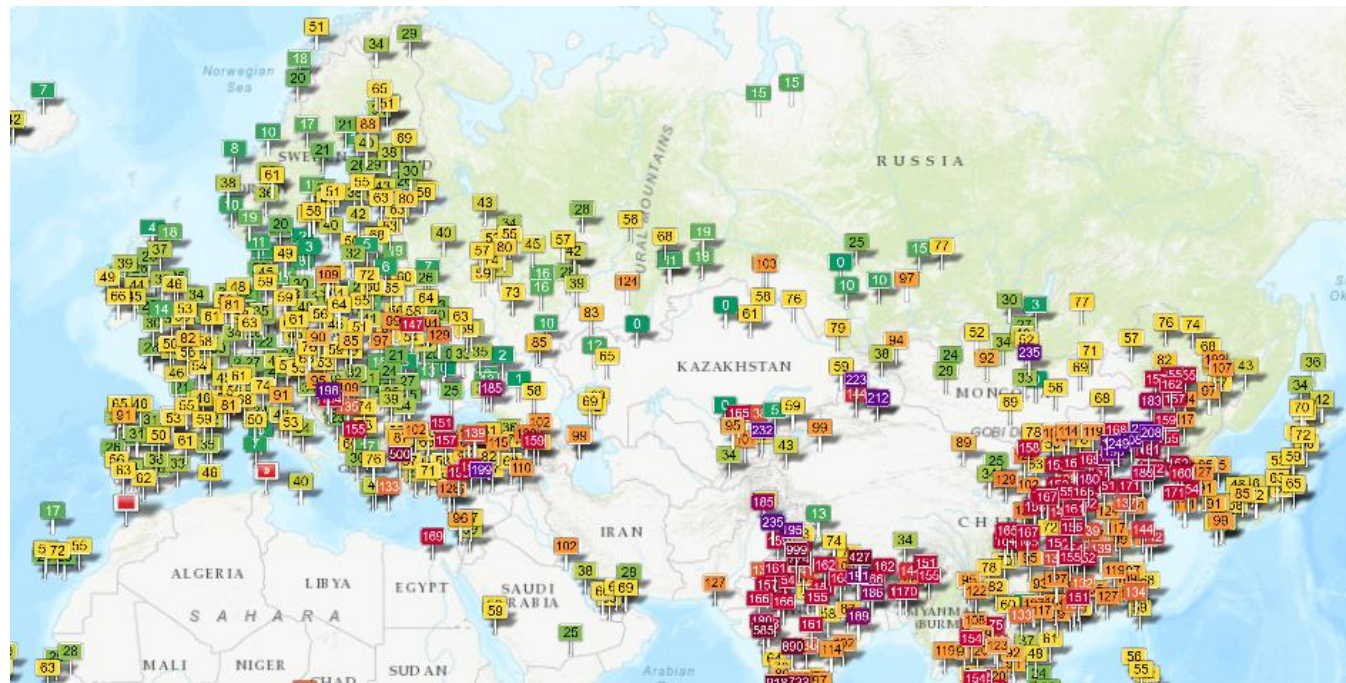
- OC – används inom trafik- och elsektorerna

Historisk karta över Berlin omkring 1739



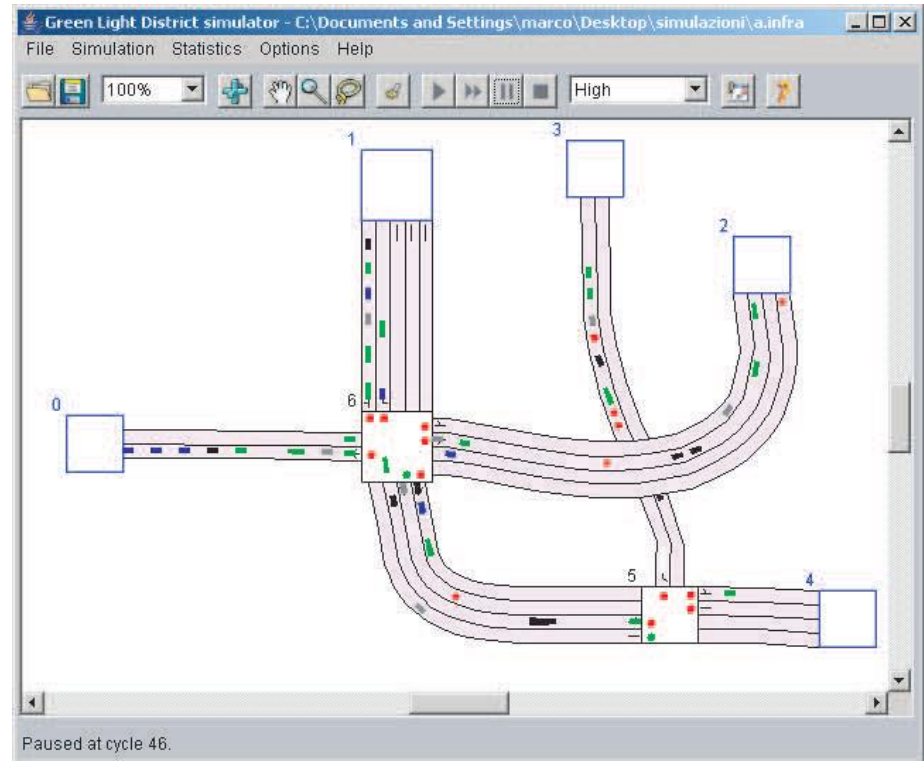
Källa: <https://www.exberliner.com/berlin/historical-maps-of-berlin-from-1600-to-1920/>

Luftkvalitetsindex i realtid



Källa: <https://waqi.info/>

Simuleringar och prognoser

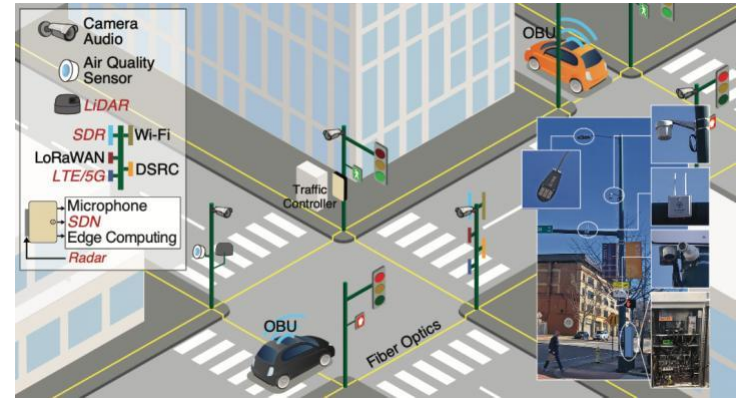


Källa: Mamei M, Zambonelli F, 2006. Urban Traffic Control with Co-fields. DOI: 10.1007/978-3-540-71103-2_14

Driftkontroll



Källa: <https://wsdot.wa.gov/travel/operations-services/traffic-management-centers-tmcs>



Källa: <https://cities-today.com/chattanooga-to-trial-energy-saving-adaptive-traffic-control-systems/>

Digital Twins City Center (DTCC) i Göteborg (SE)

- Forskningsprojekt,
<https://dtcc.chalmers.se/>
 - Stadsplanering och design
 - Arkitektonisk och strukturell design
 - Digitalt byggande
 - Modellering och simulering på distriktsnivå
 - Modellering och simulering på stadsnivå



https://www.youtube.com/watch?v=9FkXvKvD3OU&embeds_referring_euri=https%3A%2F%2Fdtcc.chalmers.se%2F&embeds_referring_origin=https%3A%2F%2Fdtcc.chalmers.se&feature=emb_imp_woyt

Digitala tvillingar i Karlskrona, Norrtälje och Huddinge

R&I-projekt som genomförs av svenska kommuner och en arkitekt (Sydväst arkitektur och planering)

- Planering av markanvändning
- Stadsutveckling
- Landsbygdsutveckling



Figur 1 Karlskrona kommun utvecklar en digital realtidstvilling.

Källa: Digital tvilling och analysverktyg, Smart Built Environment, Rapport U9-2021-17

<https://www.smartbuilt.se/media/bzcf4q0w/digital-tvilling-och-analysverktyg.pdf>

Digitala tvillingar i byggbranschen

Källa: buildingSMART International, 2020. Enabling an Ecosystem of Digital Twins.

<https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/05/Enabling-Digital-Twins-Positioning-Paper-Final.pdf>



Stationer för övervakning av luftkvaliteten

- Endast PM10-sensor i detta specifika fall
- A/D-omvandlare och sensorstyrenhet i låda
- Vanligtvis GSM-anslutning till åtkomstpunkten i sensornätverket

Bild: Östra Sveriges Luftvårdsförbund.

https://oslvf.se/matningar_och_vaderstationer/

