



STRATEGIC PLANNING  
**GOVERNANCE**  
스마트시티 표준화 전략 및 세계 구축

**TECHNOLOGY STANDARDS**  
스마트시티 도메인별 기술표준 및 서비스 시험표준 개발

**CAPABILITY DEVELOPMENT**  
스마트시티 표준화 역량개발 및 국제협력

스마트시티 국제표준화 기반 조성 (R&D)

# SMART CITY STANDARDS

## ISSUE 13



Korea Agency for  
Infrastructure Technology  
Advancement

Laying the foundation for international  
Standardization of Smart cities



스마트시티 국제표준화  
기반조성(R&D)

D1.1 스마트시티 거버넌스 체계 및 프레임워크 개발 - 한국건설기술연구원, 가천대학교

D1.2 통합플랫폼 등 공공서비스 표준화 및 표준 인덱스 개발 연구 - 스마트 도시협회, 성균관대학교

D1.3 스마트시티 포트폴리오-프로그램-프로젝트 프로세스 표준화 - 한양대학교

D1.4 스마트시티 데이터 상호운용성 확보 및 가이드라인 정립 - 한국정보통신기술협회

D2.1 스마트교통-에너지 연계분야 표준지침개발 - 한국지능형교통체계협회, 한국교통대학교, 홍익대학교, 한국전기연구원

D2.2 스마트에너지-빌딩 연계분야 표준지침개발 - 스마트에너지협회, 한국기계전기전자시험연구원

D2.3 스마트시티 공간정보 분야 표준지침개발 - 한국정보통신기술협회, 안양대학교

D2.4 스마트 ICT분야 표준지침개발 - 한국전자기술연구원, 연세대학교

D3.1 스마트시티 표준화 역량강화 프로그램 - 한국정보통신기술협회

D3.2 스마트시티 품질 평가체계 구축 및 인증 - 한국정보통신기술협회

D3.3 스마트시티 국제표준화를 위한 협력프로그램 - 한국정보통신기술협회

## OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard

## Helsinki 3D+ Project Part 1

The Kalasatama Digital Twins Project  
- Helsingin kaupunki

### Smart City

Laying the foundation for international  
Standardization of Smart cities

스마트시티 국제표준화  
기반조성(R&D)

### Digital Twins

CityGML City Information Model

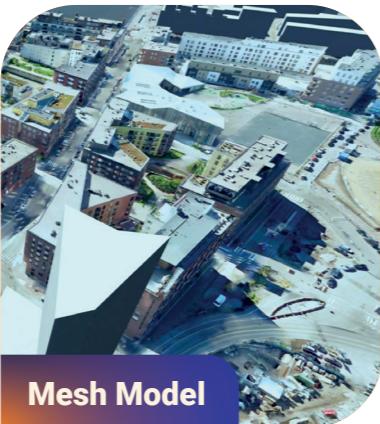
Twin Models as Open Data

# Table of Content

1. THE STARTING POINT OF THE PROJECT	4
2. THE OBJECTIVES OF THE PROJECT	8
Intermediate Objective 1: Production of the Twin Models	11
Reality Mesh Model	12
Data Collection for the Mesh Mode	14
Preparatory Work for Modelling the Mesh Model	16
CityGML City Information Model	22
CityGML Thematic Modules and Classes	24
CityGML Buildings	28
CityGML WaterBodies & Bridges	44
The CityGML Terrain Model	50



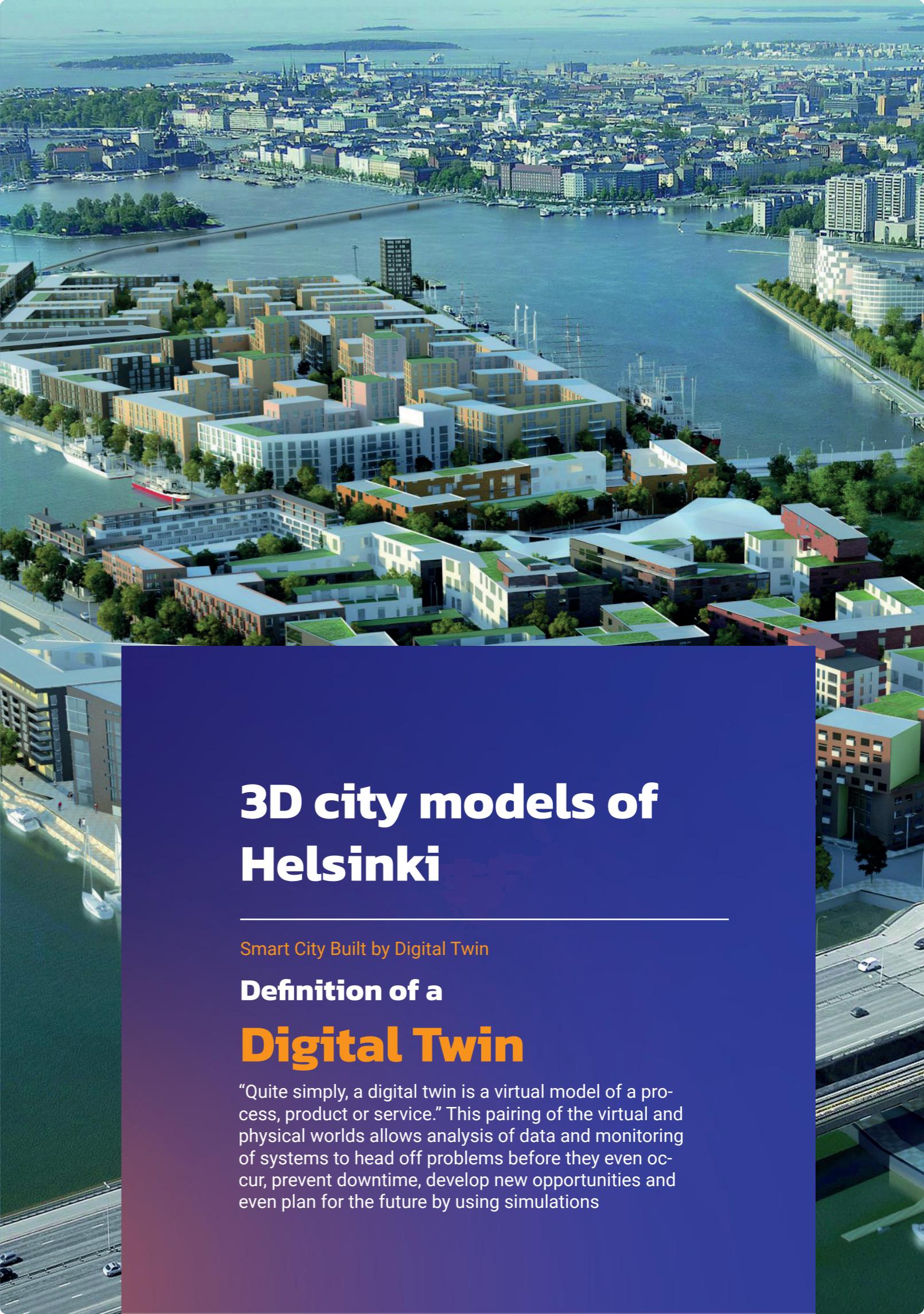
Digital Twin  
Definition of a Digital Twin  
Production of the Twin Models



Mesh Model  
Reality Mesh Model  
Data Collection for the Mesh Model



CityGML  
CityGML City Information Model  
CityGML Thematic Modules and Classes



## 3D city models of Helsinki

Smart City Built by Digital Twin

Definition of a

### Digital Twin

"Quite simply, a digital twin is a virtual model of a process, product or service." This pairing of the virtual and physical worlds allows analysis of data and monitoring of systems to head off problems before they even occur, prevent downtime, develop new opportunities and even plan for the future by using simulations





# THE STARTING POINT OF THE PROJECT

"간단히 말해 디지털 트윈이란 어떤 프로세스나 제품, 서비스의 가상 모델을 말한다." 이러한 가상 세계와 물질 세계의 조합은 데 이터 분석과 시스템 모니터링 가능케 하여 문제가 발생하기 전에 문제점을 해소하고 다운타임을 방지하고 새로운 기회를 창출하고 시뮬레이션을 통해 미래에 대한 계획을 세울 수 있게 한다.

Bernard Marr/2017년 포브즈

디지털트윈이라는 개념은 새로운 것이 아니다. 디지털트윈은 물리적 대상의 디지털 표현을 일컫는 것으로 30년 이상 CAD(Computer-Aided Design)에 사용되어왔다. 예를 들어 컴퓨터 지역을 표현한 헬싱키의 첫 번째 3D 도시 모델은 1987년에 만들어졌다.

가트너(Gartner)는 그림 1과 같이 디지털트윈을 2019년의 전략 기술 Top 10 중 하나로 3년 연속 선정한 바 있다.

Bolton, McColl-Kennedy, Cheung, Gallen, Orsingher, Witell, Zaki(2018)는 디지털 트윈을 "실시간 데이터를 이용해 이해, 학습, 추론이 가능하도록 물리적 대상이나 시스템을 그 생애주기 동안 동적으로 가상 표현하는 것"으로 정의한다. 이들은 디지털트윈이 제4차 산업혁명에서 중요한 역할을 할 것으로 보고 있다.

## Top 10 Strategic Technology Trends for 2019:

### Digital Twins

Digital twins – digital representations of people, processes and things – will become more connected, providing a rich and real-time view of company processes and assets. Enterprise architecture and technology innovation leaders must plan for a diverse environment with integration challenges.

**"a dynamic virtual representation of a physical object or system across its life-cycle, using real-time data to enable understanding, learning and reasoning"**

TOP 10 strategic technology trends for 2019 by Gartner [<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019/>]

## Top 10 Strategic Technology Trends for 2019



[gartner.com/SmarterWithGartner](http://gartner.com/SmarterWithGartner)

Source: Gartner  
© 2018 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.  
Gartner is a registered trademark of Gartner, Inc. or its affiliates. PR\_499538

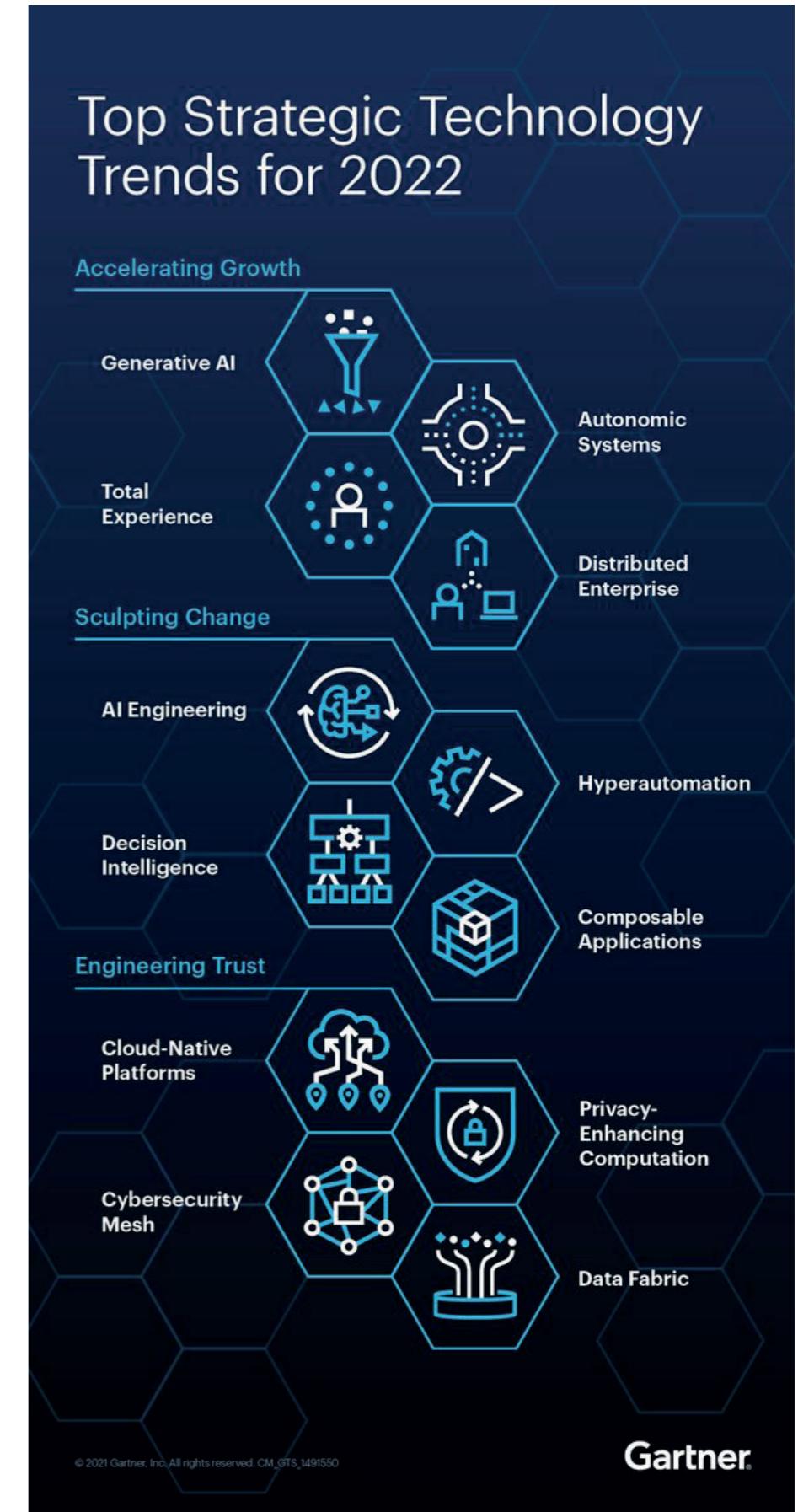
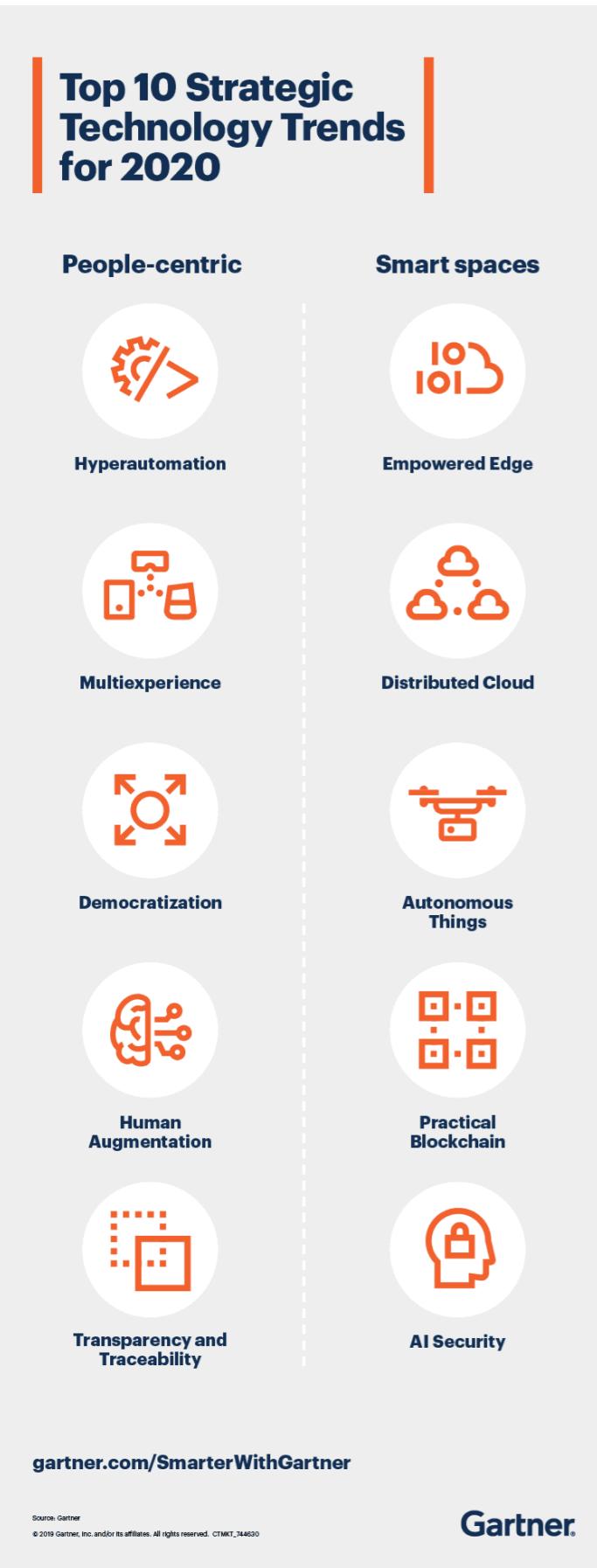
Gartner

그러나 디지털트윈을 도시 모델로 사용하는 것은 전혀 새로운 개념이다. 디지털트윈은 제품/장비/플랜트 설계에 수십 년간 사용되어왔다. NASA에서 근무하는 John Vickers에 따르면 디지털트윈의 최종 비전은 모든 것을 가상 환경에서 먼저 제작해 시험하고 제작하는 것이다. 이 정의는 여전히 적절하다.

디지털트윈을 도시 개념에 적용하는 것은 산업 설계보다 더 큰 비전이다. 예를 들어 스마트 시티와 디지털트윈이라는 개념은 사물인터넷, 디지털트윈과 실세계 간 상호작용, 센서 시스템, 현재 환경과 계획 도시 환경의 시뮬레이션 및 분석, 유지보수 및 관리시스템, 비상계획 수립과 경영, 생산체인의 구축 등 다양한 측면에서 서로 연결되어 있다.

헬싱키 칼라사타마 프로젝트에서 디지털 트윈은 고품질 3D 도시 모델을 오픈 데이터로 모든 운영자들에게 제공한다. 프로젝트팀은 이러한 도시 모델 플랫폼이 다양한 제품 개발, 연구, 교육, 혁신을 촉진할 것이라고 믿는다

# TOP STRATEGIC TECHNOLOGY TRENDS FOR 2020-2022 | Gartner



# THE OBJECTIVES OF THE PROJECT

## Intermediate objectives

### Digital Twin City Models

The general objective of the project was to produce high quality digital twin city models of the Kalasatama area and to share the models as open data.

This intermediate objective applies the basic idea of digital twins: "design, test and build first digitally."

이 프로젝트의 일반 목표는 칼라사타마 지역의 고품질 디지털트윈 도시 모델을 생성하고, 이 모델을 오픈 데이터로 공유하는 것이었다. 이 모델은 건축 환경의 전체 생애주기를 설계하고, 시험, 적용, 정비하는 플랫폼 역할을 한다. 이 프로젝트의 진행 상황은 5가지 중간 목표로 구분할 수 있었다. 프로젝트의 첫 번째 목표는 도시 모델을 생성하는 것이었다.

프로젝트의 두 번째 목표는 3D 도시 모델을 오픈 데이터로 공유하는 것이었다. 도시 모델 응용프로그램은 수백 가지가 있었지만 적당한 규모의 상세 개발 플랫폼이 없었기 때문에 개발은 답보 상태에 머물러 있었다. 이 프로젝트에서 두 번째 마일스톤의 목표는 이 병목현상을 없애는데 도움을 주고 오픈 소스 툴을 통해 플랫폼을 개발할 수 있게 하는 것이다.

세 번째 목표는 메인 파트너인 스마트 칼라사타마 프로젝트(Smart Kalasatama Project)와의 협력에 중점을 두는 것이다. 디지털트윈은 혁신과 개발의 플랫

폼인 스마트 칼라사타마 프로젝트의 일환이다. 프로젝트에서 칼라사타마에서의 활동과 주민와의 상호작용을 위한 온라인 플랫폼은 3D 모델 플랫폼에서 구축되었다.

네 번째 목적은 3D 도시 모델을 모델링하고, 시험, 활용하는 최신 방법을 시험해 보는 것이었다. 특히, CityGML 모델을 이용한 시뮬레이션과 분석은 현재 개발 단계를 수행하고 있다. 이 중간 목표는 디지털 트윈의 기본 아이디어: "디지털 방식으로 설계, 시험, 제작한다(Design, Test and Build First Digitally)"에 적용된다.

다섯 번째 목표는 도시 프로세스 및 서비스 생산에 디지털트윈을 적극 활용하는 것이다. 기존 도시 구조에 대한 정확한 최신 모델과 미래 계획이 있다면 3D 기술을 토대로 프로세스, 실무 및 서비스를 개발할 수 있을 것이다.

PRODUCTION OF THE TWIN MODELS

1

SHARING THE TWIN MODELS AS OPEN DATA

2

TWIN MODELS AS A SMART DEVELOPMENT PLATFORM

3

TWIN MODELS AS A SIMULATION PLATFORM

4

TWIN MODELS IN CITY PROCESSES

5

Intermediate objectives of The Kalasatama digital twins project





## 트윈 모델의 생성

이 프로젝트의 주된 목표는 칼라사타마 지역의 고품질 디지털트윈 도시 모델을 생성하는 것이다. 디지털트윈은 건축 환경의 전체 생애주기 동안 스마트시티 개발을 위한 설계/시험/적용/서비스 플랫폼 역할을 한다.



# Production of the Twin Models

디지털트윈은 최신 모델링 기술 및 응용프로그램을 이용해 CityGML 표준 기반 시맨틱(Semantic) 도시 정보 모델 및 현실 메시 모델로 생성되었다. 칼라사타마 트윈모델은 이 프로젝트를 위해 별도의 작업으로 생성된 것으로 소스 데이터, 콘텐츠, 정확도는 이전에 모델링된 헬싱키 3D 도시 모델보다 더 우수하다.

현실 메시 모델은 항공사진을 토대로 도시의 현실과 일치하는 시각적 지오메트릭 모델(Visual Geometric Model)을 만들어 내는 사실적 도시 모델이다. 대도시의 경우에도 메시 모델(Mesh Model)을 생성하는 것이 비용 효율이 높다. 모델의 최종 생성 과정이 고도로 자동화된 컴퓨팅에 근거하기 때문이다. 그러나 도시 차원의 모델을 계산하는데는 효율적인 컴퓨터 팜(Computer Farm)에서 계산하더라도 몇 개월은 걸릴 것이다. 메시 모델의 강점은 그 시각적 정보에 촬영 당시 거의 움직이지 않는 모든 항목이 포함되어 있다는 것이다. 현실 메시 기술은 매우 상세한 3D 모델을 전달할 수 있다. 모델 생성에 가장 중요한 제약조건은 소스 데이터의 정확도와 컴퓨팅 파워의 가용성으로 결정된다.

CityGML 모델은 Global OGC(Open Geospatial Consortium) 표준(CityGML v2.0)에 따른 시맨틱 도시 정

보 모델(Semantic City Information Model)이다. 유럽 대륙의 몇몇 주요 도시들이 CityGML 모델을 생성하였고, 싱가포르와 뉴욕에서도 CityGML 모델을 사용한다. 핀란드의 국가지리조사기관에서 국가 건축 환경을 3D 모델링할 때도 CityGML을 사용했다.

CityGML 모델의 강점은 개방형 글로벌 표준이자 개방형 정보 모델이고, 응용프로그램 도메인 확장(Application Domain Extension; ADE)를 갖고 있고 정보 모델 환경을 만드는데 수많은 오픈 소스 툴을 사용할 수 있다는 것이다. 게다가 대학, 연구기관, 주, 도시, 다양한 유저群体 응용프로그램 등 광범위한 글로벌 개발자들의 지지를 받고 있다.

프로젝트에 앞서 두가지 모델(현실 메시 모델(Reality Mesh Model)과 도시 정보 모델(City Information Model))에 가장 중요한 소스 데이터를 2017년부터의 항공 이미지와 포인트 클라우드 데이터 세트, 항공 촬영 및 레이저 스캐닝 뿐만 아니라 레이저 스캐닝 및 공간 데이터를 통해 이미 수집해왔다. 이 프로젝트의 첫 번째 목표는 모델 생성 프로세스와 계획 건축물의 모델링에 중점을 두었다. 이는 디지털트윈을 사용하는데 있어 필수 원칙이다.



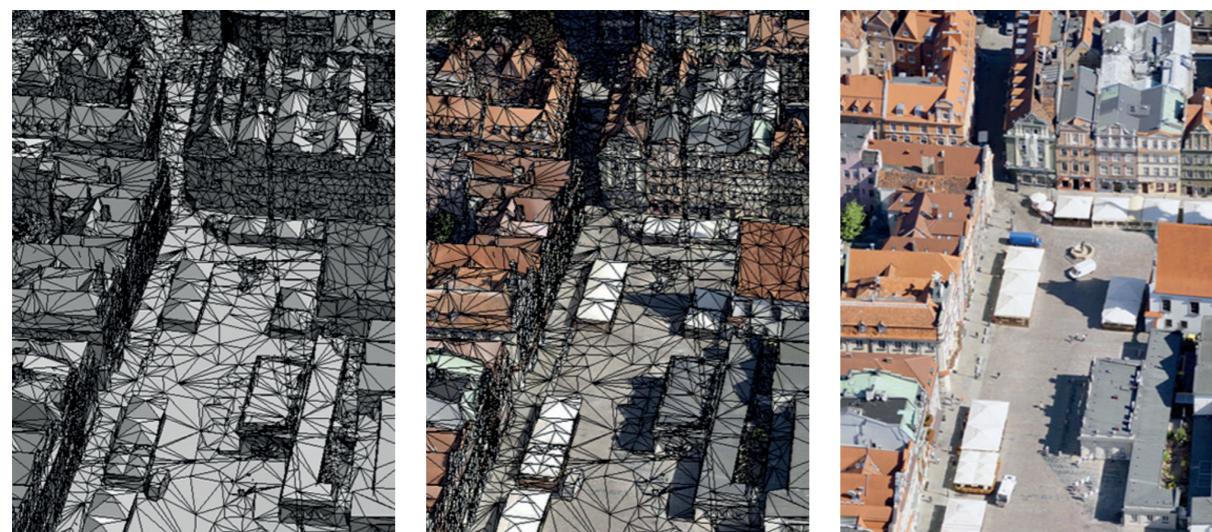
# Reality Mesh Model

## 현실 메시 모델

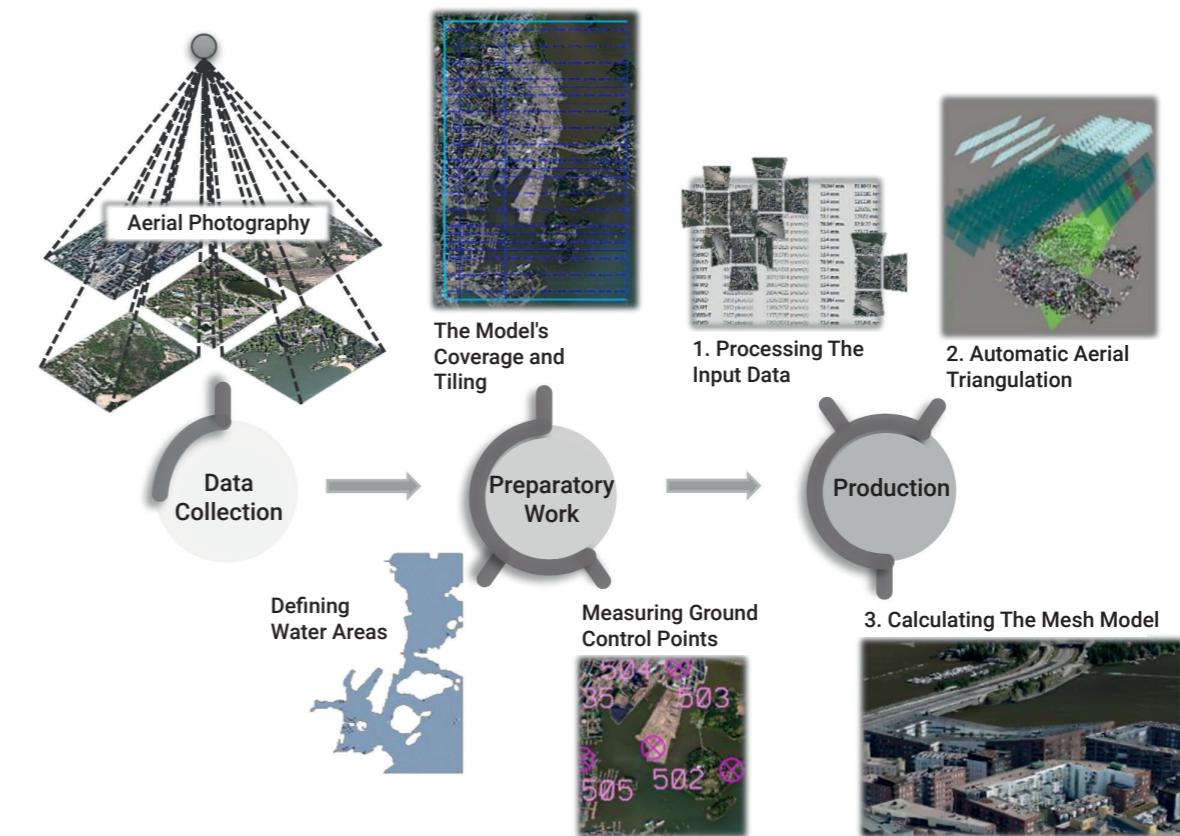


Polska3d.pl - modele miast 3D  
MGGP Aero. <http://polska3d.pl/>

일반적으로 메시 모델은 모델링 대상 객체의 형상을 만들고 표현하는 다양한 모델링 프로그램에 사용된다. 또한 메시 모델은 객체를 시각화하거나 객체의 설계에 대한 기본 모델을 생성할 필요가 있을 때 주로 사용된다.



현실 메시 모델은 균일한 표면의 삼각형으로 이루어진 모델이다. 본질적으로 메시는 균일한 삼각형, 사각형 또는 다각형 네트워크로 구현할 수 있는 지오메트릭 모델의 표면을 일컫는다. 이 프로젝트에서는 삼각형 메시 모델을 만들었다. 삼각형 메시 모델은 삼각형 평면으로 구성되어 있으며, 이 삼각형은 다시 면과 꼭짓점으로 이루어져 있다. 각 표면의 꼭짓점(이하 접합점이라 한다) 역시 인접한 평면에 속하기 때문에 전체 삼각형 메시는 균일한 표면을 생성한다. 삼각형 메시 구조는 그림과 같다. 메시 모델은 실제 객체 형상을 일정 수준의 정확도로 근사화한 것이다. 현실 메시의 형상 정확도는 삼각 네트워크의 밀도에 따라 달라지므로 삼각형의 크기에 따라서도 달라진다. 모델에서 삼각형이 작을수록 모델은 더 구체적이다.



Source: The Kalasatama Digital Twins Project - Helsingin kaupunki

## The production work flow of the mesh model

### 메시 모델의 생성 작업 흐름도

### Data Collection, Preparatory Work and Production

### Mesh Model

In calculating the mesh model, the source data consists of several partially overlapping photographs of the object to be modelled, and the resulting model looks realistic, which makes it possible to speak of both a photogrammetric and a photorealistic model. The production of the reality mesh model can be divided into three phases: data collection, preparatory work and production.



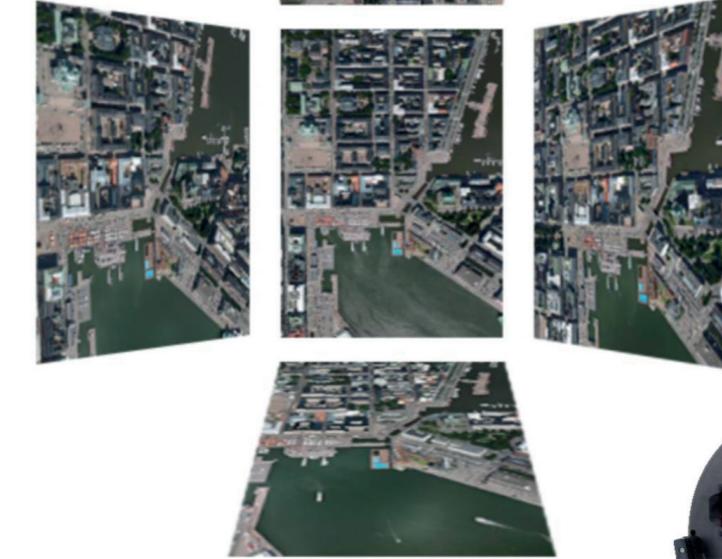
## Data Collection for the Mesh Model

### Aerial Photography

#### 항공 촬영

메시 모델에 대한 데이터 수집은 항공 촬영부터 시작 한다. 칼라사타마 메시 모델에 대한 소스 데이터는 2017년 여름에 찍은 항공사진이었다. 항공 촬영은 교정된 측정 카메라 5대로 이루어진 UltraCam Osprey Prime II 5카메라 이미징 시스템을 사용해 Blom Map 으로 수행되었다. 카메라 5대 중 하나는 연직 촬영 카메라였고 다른 4대는 경사 촬영 카메라였다. 경사 항공 이미지는 45도 각도로 찍었기 때문에 건축물의 파사드 등 수직 표면의 해상도가 정밀해졌다. 항공 촬영 블록의 커버리지 비율은 비행의 측면 커버리지가 60%이었고, 길이 커버리지가 80%이었다. 항공 촬영은 고도 약 1.2 km의 항공기에서 수행되었다. 이미지

칼라사타마 지역에 대한 메시 모델을 생성하기 위해 항공사진 촬영은 약 12제곱 킬로미터로 제한되었다. 칼라사타마 모델링 지역에는 2,083장의 항공사진이 사용되었다. 또한 각 이미지에는 ETRS-GK25 /N2000 좌표계를 이용한 장소 및 위치 정보가 있었다.



UltraCam Osprey Prime II five-camera system used for vertical and oblique aerial photography  
Vexcel Imaging, [https://ultracam.files.wordpress.com/2014/04/ucop\\_2.png](https://ultracam.files.wordpress.com/2014/04/ucop_2.png)  
<https://www.vexcel-imaging.com>

## Aerial Photography

New perspectives on 3D aerial mapping

Aerial camera collecting nadir & oblique imagery.  
The UltraCam Osprey Prime II large format aerial camera collects photogrammetry-grade nadir and oblique images simultaneously, enabling unprecedented flight collection efficiency at industry-leading image and data quality.

# Preparatory Work for Modelling the Mesh Model

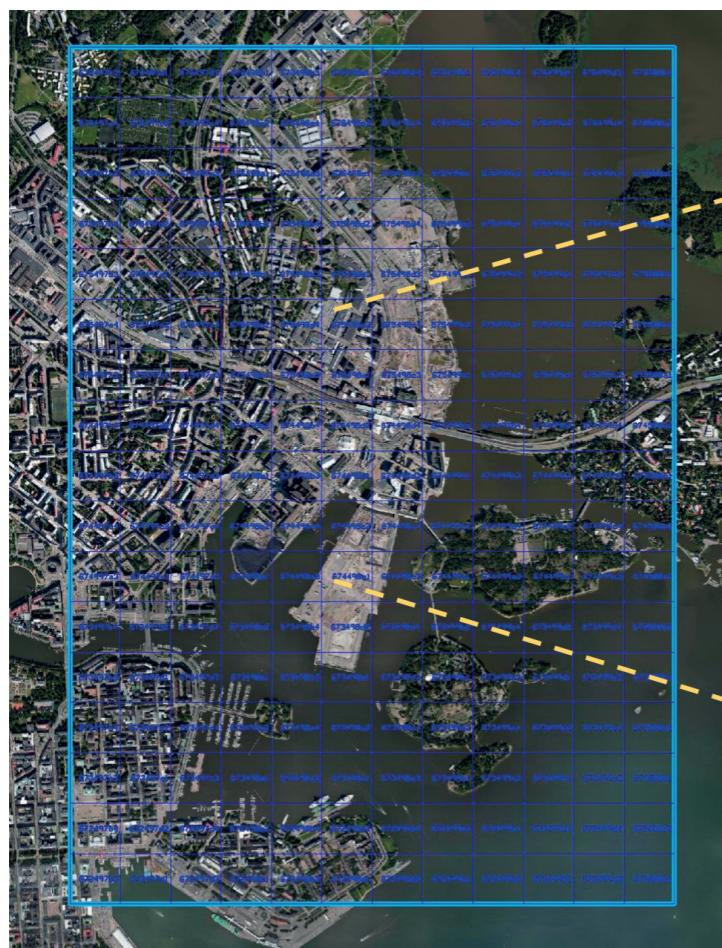
메시 모델을 모델링하기 위한 준비 작업

## Model Coverage and Tiling

### 모델 커버리지와 타일링

메시 모델은 도시 전체를 거의 자동으로 촬영하여 3D 모델을 제작할 수 있는 3D 모델링 응용프로그램을 사용해 생성되었다. 그러나 대규모 3D 모델을 컴퓨터 하려면 엄청난 그래픽 처리 컴퓨팅 파워 뿐만 아니라 컴퓨터 메모리가 필요하다. 따라서 컴퓨팅은 프로세스 부담을 줄이기 위해 작은 지역에서 행해진다. 그러려면 3D 모델링 지역을 타일링하여, 즉 더 작은 지역으로 나누어서 한 번에 하나씩 생성하는 것이 좋다.

메시 모델에 대한 소스 데이터의 일부는 프로젝트 지역과 타일링의 지역 경계였다. 이를 아래 그림에 나타내었다. 프로젝트 지역은 헬싱키시 맵 디비전에 따라 250x250m 섹션으로 타일링되어 매핑되었다. 이 분해능을 사용하는 것이 좋은 점 한 가지는 기준 맵 및 공간 데이터 세트와 호환된다는 것이다.



The boundaries of the Kalasatama area and its division into 250 x 250 m sections (close-up on the right). The mesh model was produced inside the blue cropping

## Ground Control Points

### 지상 기준점

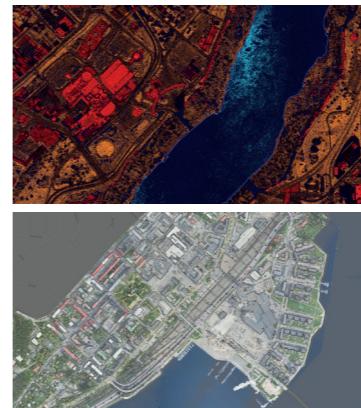
지상 기준점을 측정하는 것은 중요한 단계이다. 기준점의 정확도는 생성된 3D 모델의 정확도와 상관관계를 갖기 때문이다. 지상 기준점의 위치는 지상 기준점에 의해 형성된 메시 모델이 전체 지역을 다룰 뿐만 아니라 모델링된 지역을 완전히 둘러쌀 수 있도록 수동으로 결정해야 한다.

지상 기준점 측정 프로세스는 MicroStation 및 TerraScan 소프트웨어 프로그램으로 수행되었고 다음과 같이 진행되었다. 첫째, X와 Y좌표가 정사 이미지와 기본 맵을 사용해 측정되었기 때문에 MicroStation으로 적당한 위치를 검색했다. 지상 기준점의 위치를 선택할 때는 정사 사진으로 구별하기 쉽고 인지할 수 있는 객체(도로, 기타 표지 등)를 활용했다. 둘째, 분류된 포인트 클라우드를 사용해 TerraScan으로 지상 기준점의 Z좌표를 측정했다. MicroStation을 통해 TerraScan은 지상 포인트나 건축물 포인트 등 원하는 포인트 클라우드 클래스를 매끄럽게 볼 수 있었다.

MicroStation  
The CAD Leader  
for Infrastructure  
Design  
The Original DGN.  
<https://www.bentley.com/en/products/brands/microstation>



TerraScan - TerraSolid, <https://terrasolid.com/products/terrascan/>  
TerraScan is the main application in the Terrasolid Software family for managing and processing all types of point clouds.



## Waterbodies

### 수역

메시 모델의 자동 계산은 이미지로부터 접합점을 식별하는 것에 근거한 것으로 투명/반사/이동 객체의 3D 모델링은 별도의 모델링 기준 없이는 가능하지 않다. 예를 들어, 대규모 수역 표면의 사진 측량 3D 모델링은 실패하는 것이 대부분이다. 수면의 결을 확실하게 결정할 수 없고 접합점을 정의하기가 불가능하기 때문이다.

칼라사타마 메시 모델 프로젝트에서 모델링해야 할 수역은 기본 맵으로 디지털화되었고, 정사 이미지와 최종 생성물, 솔리드 벡터는 제로 레벨(Zero Level)로 설정되었다. 물 벡터 데이터를 통해 메시 모델의 표면 지오메트리를 정확하게 모델링할 수 있었다. 이미지에서 접합점을 찾을 수 없는 경우에는 벡터 데이터에 따라 3D 모델을 생성할 수 있다.



15 ground control points and waterbodies in Kalasatama

# Production of the Mesh Model

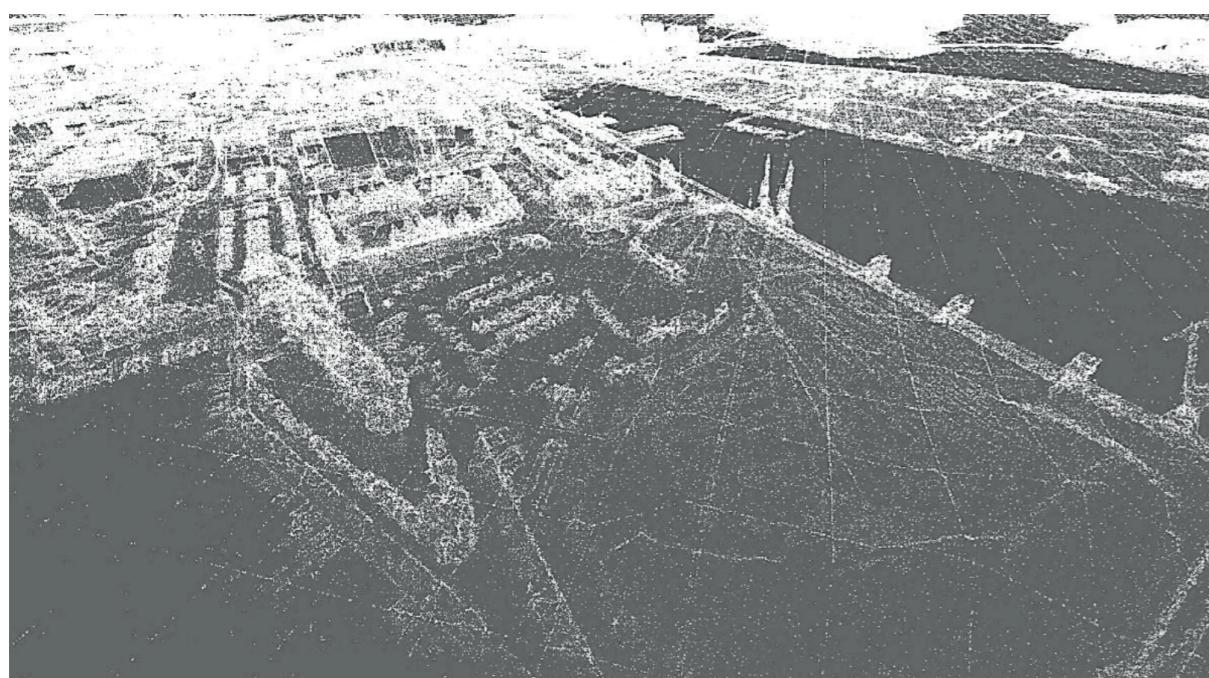
## 메시 모델의 생성

칼라사타마의 메시 모델은 헬싱키시의 자체 자원과 컴퓨팅 파워가 우수한 컴퓨터로 생성되었다. 칼라사타마 메시 모델을 생성하는데는 실제 3D 모델을 생성하는데 필요한 모든 단계가 포함되었으며 ContextCapture 소프트웨어 응용프로그램을 이용해 수행되었다. 생성 단계는 세 가지로 나눌 수 있다. 즉, 입력 데이터 처리, 자동 항공삼각측량, 모델 계산이다. 자동 항공삼각측량, 즉, 번들 블록 조정은 사진 측량 모델링에서 가장 중요한 단계이다. 항공 자동삼각측량의 목적은 자동 방법 및 다수의 알고리즘을 이용해 이미지의 외부 표정에 대한 해를 구하고 이미지를 선

택된 좌표계로 변환하는 것이다. 항공삼각측량에는 이미지 블록 형성, 접합점 선정, 접합점에 대한 입력 값의 결정, 접합점 매칭, 번들 블록 조정, 조밀한 이미지 매칭 등의 생성 체인이 포함된다.

항공삼각측량에서는 균질한 품질과 균일한 패턴을 제공하기 위해 전체 이미지 블록을 동시에 처리하는 것이 중요하다. 항공사진의 위치 및 표정 정보는 이미지 블록의 절대 표정에 대한 해를 풀 수 있을 정도로 충분히 정확하지 않을 수도 있다. 그렇기 때문에 이미지 블록을 대상 좌표계에 연결하는데 지상 기준점을 사용한다. 자동 방법으로 이미지에서 찾은 접합점은 지상 기준점과 함께 삼각측량의 시작점 역할을 한다.

# 3DM



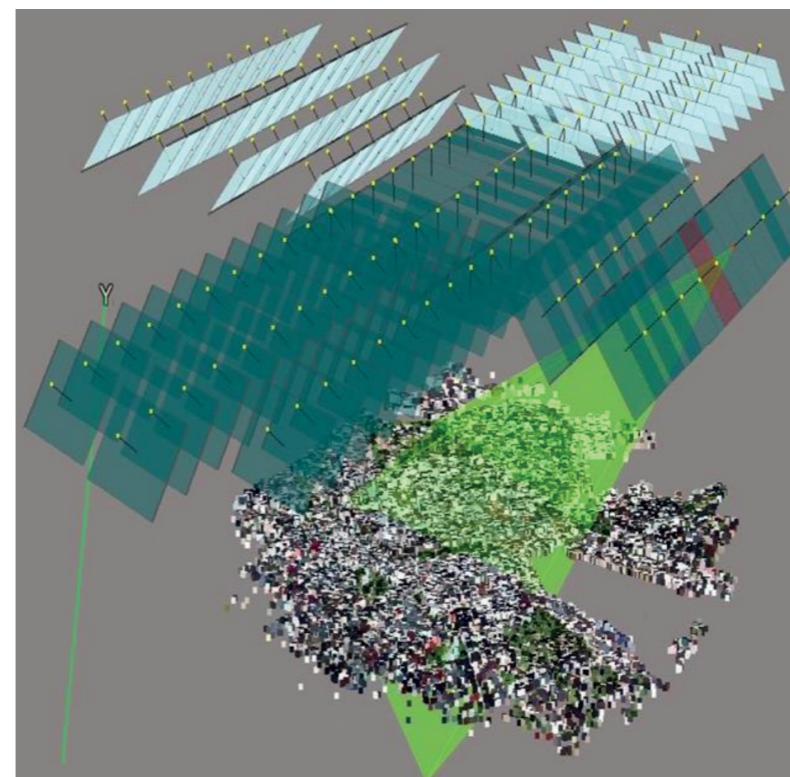
A point cloud formed from the tie points found in the aerial images

## Processing the Source Data

**The actual production of the mesh model began with the creation of the Kalasatama project in ContextCapture and bringing in more than 2,000 photos with position and orientation information.**

## Automatic Aerial Triangulation

**The aerial triangulation was performed using all 2,083 aerial photos.**



Automatic aerial triangulation binds images together by finding common features in the images

## 소스 데이터 처리

메시 모델의 실제 생성은 ContextCapture에서 칼라사타마 프로젝트를 생성하여 위치 및 표정 정보가 포함된 2,000개 이상의 사진을 가져오는 것부터 시작되었다. 그 다음, 충분한 갯수의 항공사진을 이용해 측정된, 이전에 정의된 지상 기준점을 프로젝트로 가져왔다. 이후, 항공삼각측량에 필요한 모든 입력 데이터를 준비했다.

## 자동 항공삼각측량

항공삼각측량은 2,083장의 항공 사진을 사용해 수행되었다. 항공 삼각측량은 이미지에서 공통 특징을 찾아내서 모든 이미지를 연결한다. 이러한 공통 특징(접합점)은 삼각측량의 결과로 생긴 수많은 포인트의 포인트 클라우드가 된다. ContextCapture에서 항공삼각측량은 응용프로그램의 사용자에 따라 달라지는 것은 아니며, ContextCapture Engine 모듈에서 닫힌 이벤트로 자동 항공삼각측량의 다양한 단계에 대한 해를 구한다.

## PRODUCTION OF THE TWIN MODELS - Mesh Model



Mesh model without visible triangle faces



The final product of the model calculation is a photorealistic mesh model.  
The shadows captured in the aerial images are one part of the final mesh model



### 모델 계산

최종 메시 모델 결과물을 생성하려면 상당한 컴퓨팅 파워가 필요하다. 이런 이유로 메시 모델은 프로세스를 줄이기 위해 나누어서 계산하는 것이 좋다. 모델링 대상 지역을 타일링을 이용해 더 작은 지역으로 나누어서 한 번에 한 개 타일을 모델링할 수 있게 하였다. 칼라사타마 모델의 계산에서는 수면적의 벡터 데이터를 사용해 모델링된 현실과 일치하는 물 면적을 정의했다.

메시 모델의 계산은 몇 가지 처리 단계로 된 자동 방법을 이용해 ContextCapture 소프트웨어로 수행하였다. 그럼에도 모델의 정확도와 품질을 위해 운영자는 계산에 원하는 설정값을 선택하여 모델의 계산 단계에 영향을 미칠 수 있었다. 일단 메시 모델이 완성되면 품질 검사는 육안 검사로, 모델의 좌표를 측정하여, 또는 모델을 레이저 스캐닝 데이터와 비교하여 수행할 수 있다.

**Observations** 논평: 모델링은 상당히 수월 했다. 모델링 응용프로그램의 사용자는 다양한 설정값, 다양한 준비 작업, 품질 평가를 정의하기만 하면 되었기 때문이다. 모델링의 성공 여부는 소스 데이터의 품질, 정확도, 양에 따라 크게 달라진다.

칼라사타마의 사실적 메시 모델은 실세계를 매우 정확히 복제했다. 사진 촬영 당시 정지해 있었던 모든 객체를 모델에서 찾을 수 있기 때문이다. 칼라사타마 모델의 최적 가치거리는 모델링에 사용된 항공 이미지의 정확도에 근거했을 때 약 100m이다. 게다가 모델에는 나무, 관목, 구조물 등 지상에 있는 거의 모든 객체가 포함되어 있다. 따라서 이 모델은 객체의 외관, 기하구조, 치수, 부피에 관한 정보를 이용하는 다양한 분석 및 시뮬레이션에 매우 적합했다.

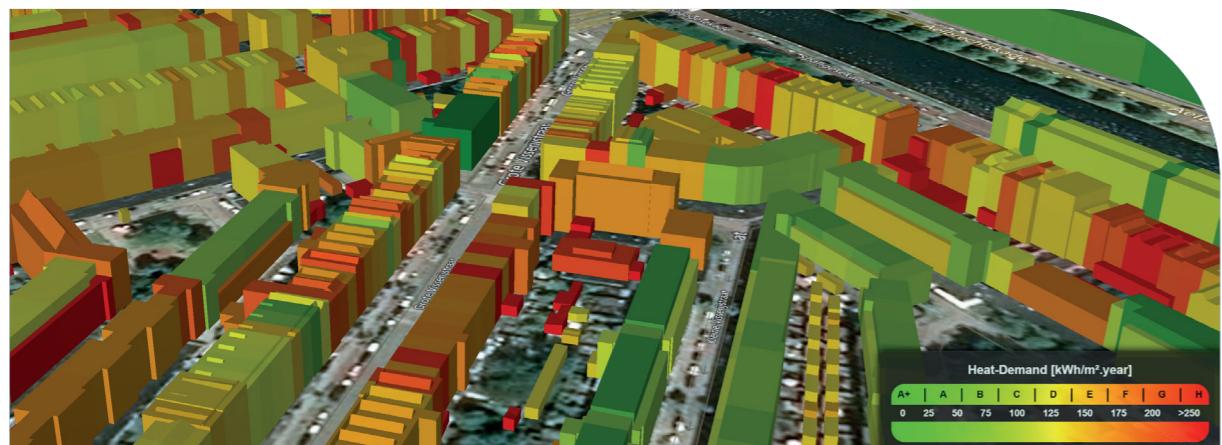
모델을 효과적으로 사용하려면 다른 2D 또는 3D 데이터를 공유하면 된다. 그러면 가능한 최상의 사례에서 제대로 기능하는 하이브리드 모델이 된다. 계획 건축 프로젝트를 칼라사타마 메시 모델에 추가해왔다. 이는 다음의 영상에서 확인할 수 있다. [https://youtu.be/c4SoR2SME\\_4](https://youtu.be/c4SoR2SME_4).

## Model Calculation

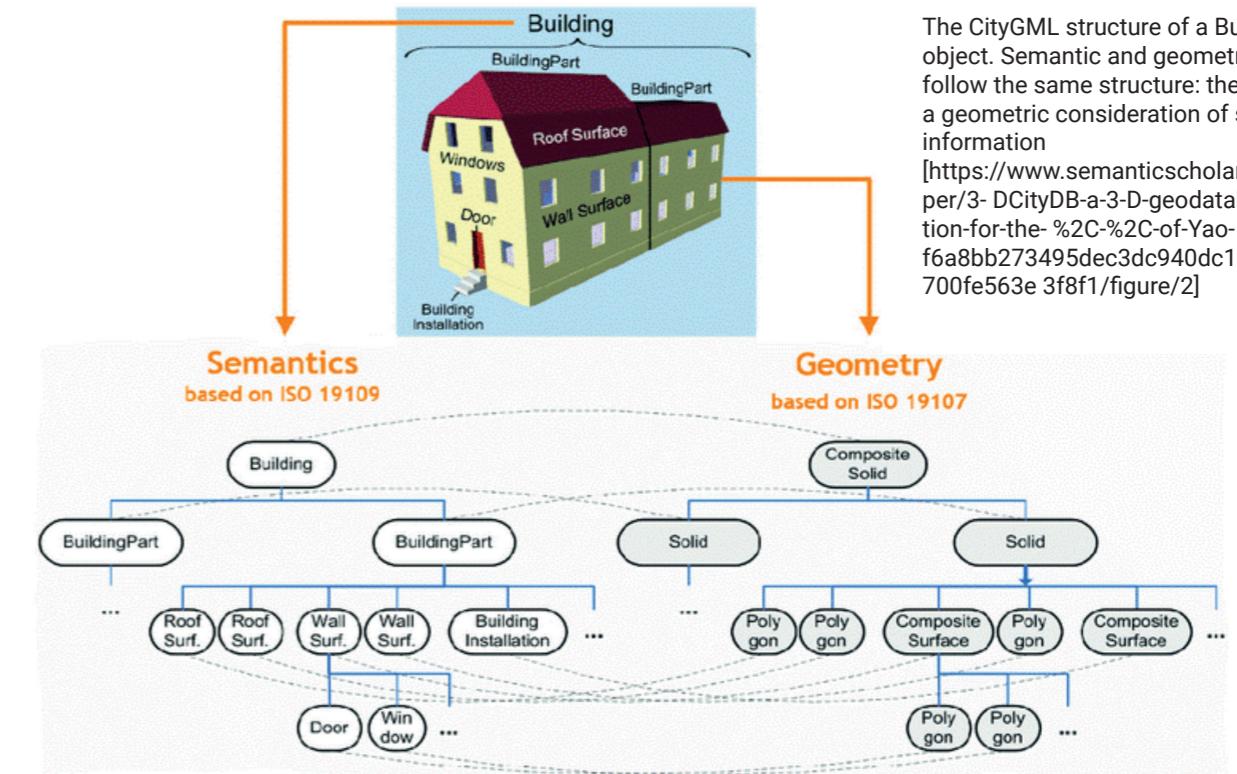
# CityGML City Information Model



## 3D CITY INFORMATION MODEL



CityGML is an open, international standard set by the OGC (Open Geospatial Consortium) for 3D city information modelling, storage and transfer. For details see: <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.



The CityGML structure of a Building object. Semantic and geometry data follow the same structure: there is always a geometric consideration of semantic information  
[<https://www.semanticscholar.org/paper/3-DCityDB-a-3-D-geodatabase-solution-for-the-Yao-Nagel-f6a8bb273495dec3dc940dc1ec-700fe563e3f8f1/figure/2>]

## CityGML 도시 정보 모델

CityGML은 3D 도시 정보 모델링, 저장 및 전송에 대하여 OGC(Open Geospatial Consortium)에서 정한 개방형 국제 표준이다.

자세한 내용은 다음을 참조한다. <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.

시맨틱 3D 도시 정보 모델(CityGML City Information Model)은 전통적인 2차원 맵, 레이스터, 공간 데이터에 여분의 치수를 제공한다. 또한 정보 모델링은 '전통적인' 형상 모델만으로는 진척되지 않는 지능형 디지털 트윈으로 가는 단계이다.

CityGML 도시 정보 모델에서 객체는 지오메트리(Geometry), 토폴로지(Topology), 시맨틱 및 외관(Semantics and Appearance)과 관련이 있다. 객체 지오메트리는 점, 선, 다각형 및 이들의 조합으로 이루어질 수 있다. 토폴로지, 정보 콘텐츠, 외관은 객체를 일종의 개별 지오메트리로 기술하는 시맨틱 특징이다.



More information about the CityGML 3.0 standard is available: <https://github.com/opengeospatial/CityGML-3.0>, <https://www.gis.bgu.tum.de/en/projects/citygml-30/>  
In the future the CityGML 3.0 standard will be available here: <http://www.citygml.org/>.

그러나 이러한 것들 역시 지오메트릭 특성을 가질 수 있으며, 대개 시맨틱은 지오메트리와 서로 연결되어 있다. 지오메트리와 시맨틱 정보는 같은 객체를 기술할 때 호환성이 있어야 한다. 예를 들어 시맨틱 측면에서 건축물의 벽에 창이 2개 있는 경우에는 같은 특징을 지오메트리 데이터에 적용해야 한다.

OGC는 2012년 3월에 이 표준의 버전 2.0을 채택했다. 2019년 초에 승인받은 표준 CityGML 정보 모델은 아직도 버전 2.0이다. 이와 동시에 버전 3.0의 개발이 진행중이다. 수많은 개선사항, 확장 및 새로운 기능이 포함되어 새로 업데이트된 CityGML의 버전 3.0은 도시 정보 모델링의 능력을 확대할 것이다.

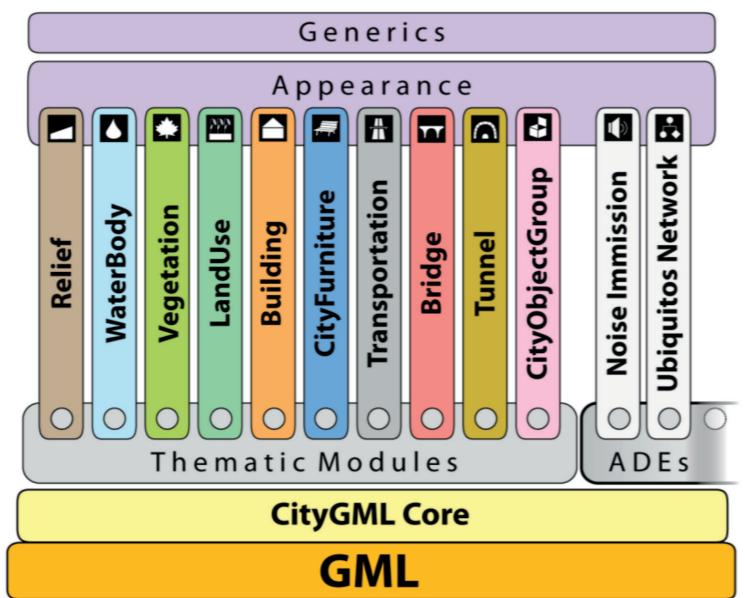
# CityGML Thematic Modules and Classes

## CityGML standard

### Application Do- main Extension (ADE)

The CityGML information model consists of two types of modules: the core module and the extension modules.

CityGML modelled themes include terrain models, buildings, bridges, water and traffic areas, vegetation and street furniture, etc. Appearance can be added to three-dimensional city objects, and this can be any form of visualization.



The CityGML modules [<https://www.virtualcitysystems.de/en/citygml-training/3dcitydb-workshop>]

#### CityGML 테마 모듈과 클래스

CityGML 표준에는 도시 정보 모델에서 가장 중요한 객체와 그 카테고리에 대한 정의가 포함되어 있다. CityGML 정보 모델은 두 종류의 모듈, 핵심 모듈과 확장 모듈로 구성된다. 핵심 모듈에는 CityGML 정보 모델의 기본 개념과 컴포넌트가 들어 있다. 확장 모듈은 새로운 테마 클래스를 도시 정보 모델에 추가할 수 있게 한다.

도시 정보 모델의 가장 중요한 객체는 그 특성에 따라 테마 모듈로 나뉜다. 이렇게 CityGML로 모델링되는 테마로는 지형 모델, 건축물, 교량, 수역 및 교통 지역, 식생과 가로 시설물 등이 있다. 외관은 3차원 도시 객체에 추가할 수 있으며, 이는 어떤 형태의 시각화든 상관없이 가능하다. 외관은 형상, 텍스처, 재료, 테마에 따라 항목을 시각화할 수 있다. CityGML 정보 모델의 응용프로그램 도메인 확장(Application Domain Extension; ADE)은 새로운 항목이나 성질을 정보 모델에 추가할 수 있게 하는 확장 기능이다. ADE는 가령 에너지 정보를 건축물에 추가하는 데도 사용할 수 있다.

헬싱키시 정보 모델의 첫 번째 단계에서는 헬싱키 지역에 있는 모든 건축물이 CityGML로 모델링되었다. 다음 단계에서는 교량, 나무, 수역, 지형 모듈, 다양한 토지 이용 지역 등 다른 도시 객체를 사용해 CityGML 모듈을 도시 정보 모델에 추가할 수 있다. 게다가 앞으로는 ADE 확장 기능을 사용하는 것도 가능해질 것이다.

칼라사타마 도시 정보 모델에서는 기존 건축물, 공사중이거나 계획된 건축물, 교량이 CityGML 데이터베이스로 내보내기 된다. 또한 지상(지형 모델)과 물 면적이 CityGML로 모델링되었다.

## CityGML v2.0 Levels of Detail

### CityGML v2.0 상세 레벨

CityGML은 객체의 지오메트리, 토폴로지, 시맨틱 및 시각적 특성을 5가지 상세 레벨(LoD)로 기술할 수 있게 한다. LoD0에서는 객체가 2차원으로 기술되지만, 객체의 고도를 정확하게 표현할 수 있다. LoD1에서는 건축물이 직사각형으로, 평지붕으로 기술된다.

LoD2에서는 건축물 지붕의 형태와 표면이 구별된다. LoD3 레벨 건축물에는 창, 외부 도어 등 외부 천장과 벽의 건축학적 특징이 포함된다. 가장 진화된 수준인 LoD4에서는 건축물의 실내와 매우 작은 세부항목이 모델링된다. 도시 정보 모델의 다른 테마 객체에 대한 상세 레벨도 정의되어 있지만, 그 정의는 건축물에 대한 것만큼 완벽하지 않다.

LoD0은 가장 개략적인 성과 수준이다. 건축물이 수평 다각형으로 표현되기 때문에 건축물의 계단이나 천장을 식별할 수 있다. 따라서 지형 모델을 사용해 2차원 모델에 지반고를 제공하면 2차원 모델을 LoD0 수준의 모델로 변환하기 쉽다. 지형 모델에서 항공뷰 또는 기본 맵은 텍스처의 역할을 할 수 있다.

LoD3는 LoD2보다 더 상세한 레벨로, 건축물의 도어와 창, 그리고 이보다 더 작은 돌출 부 및 윈록 들어간 부분이 표현된다. 게다가 정확한 텍스처를 모든 표면에 줄 수 있다. LoD3에도 교통 관련 구조물과 식생에 대한 설명이 포함된다.

LoD4에서는 건축물의 실내 특성도 모델링된다. 룸(Room) 카테고리는 그 용도에 따라 건축물의 내부를 구별하고, 클래스에는 등급, 기능, 용도에 관한 정보가 포함될 수 있다.

상세 레벨은 항상 필요성과 목적에 따라 선택하는 것이 좋다. 도시 차원의 3D 모델링은 LoD1 또는 LoD2에서 수행하는 것이 바람직하다. 반자동화된 3D 모델링과 기존의 맵 및 GIS 데이터를 활용하는 것이 최선이기 때문이다. 건축물의 최대 70%를 자동으로 정확하게 모델링할 수 있다. LoD3 또는 LoD4 도시 차원의 모델을 생성하는 것은 현재로서는 타당하지 않다. 더 상세하게 모델링하려면 모든 객체에 대한 더 상세한 정보가 필요하기 때문이다. 도시 정보 모델

을 이용한 가장 일반적인 분석과 시뮬레이션에는 LoD2 모델이면 충분하다.

CityGML 표준이 버전 3.0으로 업데이트되면 위에 기술된 상세 레벨의 개념과 그 용도도 업데이트 될 것이다. 표준 개발시 상세 레벨 개념을 업데이트 할 수 있는 방법은 Kutzner and Kolben (2018)가 작성한 간행물을 간략하게 기술되어 있다. 그 간행물에는 실내를 나타내기 위해 사용된 LoD4를 제거하고 LoD 0-3만 유지하라고 언급되어 있다. 대신에 실내 표현은 LoD 0-3에 직접 통합될 것이다. CityGML v3.0 상세 레벨에 관한 자세한 정보는 Löwner et al. (2016)를 참조한다.



CityGML levels of detail [<http://filip.biljecki.com/phd.html>]

LoD1에서는 객체를 박스 모델로, 즉 평지붕이 있는 건축물이나 교량으로 나타낸다. 박스 모델은 기본 다각형으로부터 생성할 수 있다. 건축물의 경우, 높이는 대개 처마와 지붕마루의 평균으로 결정된다.

LoD2에서는 건축물의 지붕 윤곽과 기타 외부 특징을 더 정확하게 표현할 수 있다. 또한 표면에 표면 텍스처를 줄 수 있다. LoD2 레벨의 도시 모델에는 식생 등 다른 객체 및 테마를 넣을 수 있다.

# Production of the CityGML v2.0 Model

## CityGML v2.0 모델의 생성

칼라사타마 도시 정보 모델은 CityGML 표준에 따라 현재 상태의 건축물, 공사 중이거나 공사가 계획된 개별 모델링된 건축물, 그리고 교량(현재 있는 것과 계획된 것), 지면 및 수로로 구성되어 있다.

### Source Data 소스 데이터

칼라사타마 건축물에 대한 현재 표현(LOD 1과 2)은 전체 도시의 CityGML 정보 모델에 근거한 것이다. 이는 2017년에 생성된 것으로 현재 꾸준히 유지 관리되고 있다. 모델링에 사용된 소스 데이터는 기본 맵에서의 건축물의 풋프린트이고, 레이저 포인트 클라우드(항공 레이저 측량을 통해)와 고유 특성(속성 정보 등)은 시의 레지스터에서 추가된다.

Future buildings 미래 건축물(현재 공사중인 것과 계획 단계에 있는 것)은 몇 가지 데이터 소스(평면도, 지각 이미지, 기존 CAD 모델 등)를 이용해 모델링했다. 실제로 건축물은 3D 모델이 준비된 경우에도 완전히 재모델링되었다. 지오메트리나 청결도에 대한 요구사항을 충족시키지 못했기 때문이었다.

The Bridges 교량에 대한 소스 데이터는 헬싱키시에서 관리하는 "bridge cover"라고 하는 교량 모델 데이터 세트, ALS 포인트 클라우드, 그리고 국가 건축물 대장으로 이루어졌다.

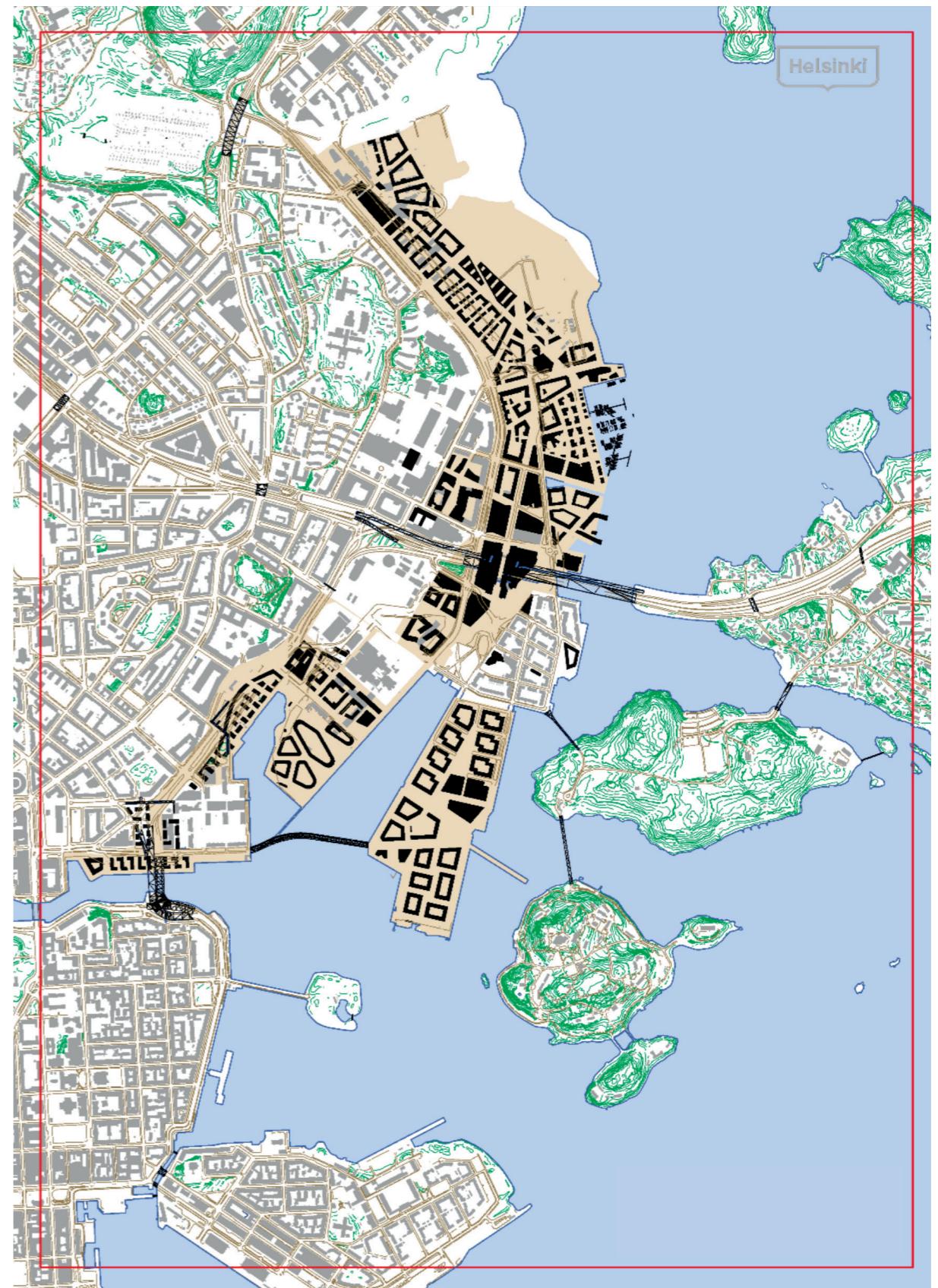
The waterbody 수역(해역)은 기본 맵과 설계 모델로부터 물 면적을 이용해 모델링되었다. 현시점에서는 테마가 데이터베이스에 포함되어 있지 않지만 데이터는 CityGML 호환성이다.

The terrain 지형은 그 위치의 현재 상태에 대한 도시 차원의 경관 모델로, 그리고 삼각형 계획 표면(이것은 CityGML 호환성이지만 데이터베이스에는 없다)으로 생성되었다.

## Source Data

**The source data for modelling are the buildings' footprints on the base map, laser point clouds (via Airborne Laser Scanning, ALS), and unique characteristics (such as attribute information) are added from the municipal register.**

	Buildings, current stage (CityGML)
	Buildings, under construction/planning process (CityGML)
	Bridges, current and planned (CityGML)
	Waterbody (CityGML compatible)
	Terrain, planned (CityGML compatible)
	Terrain, current (CityGML compatible)
	Model's area of coverage



Kalasatama's model's coverage and CityGML themes

# CityGML Buildings

**Buildings are one of the most well-defined themes in the CityGML standard.**

**The geometry must always match the semantics.**

**The main category of the building theme is the AbstractBuilding theme, which is a subclass of the CityObject class.**

[OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard v2.0, <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>].

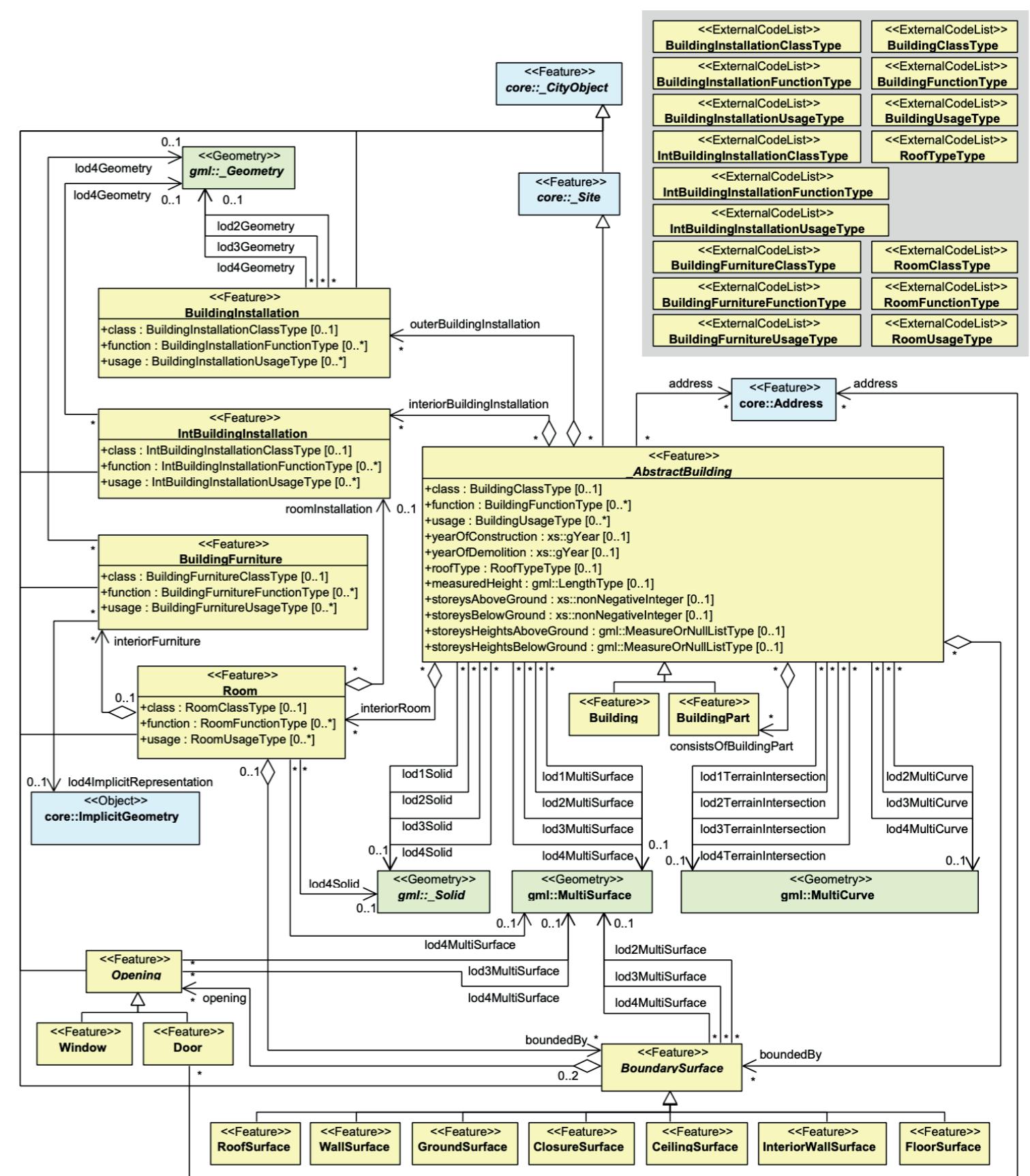
## CityGML 건축물

건축물은 CityGML 표준에서 가장 잘 정의된 테마이다. 건축물 테마에는 건축물 및 건축물 일부에 대한 상세 테마 및 공간 개념이 5가지 상세 레벨(LoD0-4)로 포함되어 있다. 해당 LoD 레벨에 개별 지오메트리를 제공하면 건축물을 다양한 LoD 레벨에서 동시에 표현할 수 있다. 중요한 것은, 지오메트리는 항상 시맨틱과 일치해야 한다는 것이다.

건축물 테마의 메인 카테고리는 AbstractBuilding 테마이다. 이것은 CityObject 클래스의 서브클래스이다. CityObject는 모든 테마 클래스의 기본 클래스이다. AbstractBuilding은 건축물 또는 건축물의 일부 (Building 또는 BuildingPart)를 나타낸다. 수많은 개별 건축물로 이루어진 건축물 단지(대학, 병원 등)는 CityGML 모델에서 CityObjectGroup으로 라벨링 할 수 있으며, 이를 통해 단지 내 주요 건축물을 구별 하는 것이 가능하다.

건축물의 파사드는 의미상 BoundarySurface와 BuildingInstallation로 분리할 수 있다. BoundarySurface는 WallSurface 또는 RoofSurface 등의 기능을 갖는 특별한 외부 부분인 반면, BuildingInstallation은 발코니나 계단이 될 수 있다.

Building과 BuildingPart는 AbstractBuilding 클래스로부터 여러 기능(class, function, usage, yearOfConstruction, yearOfDemolition, roofType, measuredHeight)을 상속받을 수 있다. 게다가 Building과 BuildingParts에 Address를 연결할 수 있다. AbstractBuilding 카테고리에 포함된 기능 외에도 새로운 항목과 속성을 ADE 기능으로 또는 Generics 모듈의 genericsAttribute를 사용해 템플릿에 추가할 수 있다.



UML diagram of CityGML's building model. Prefixes are used to indicate XML namespaces associated with model elements. Element names without a prefix are defined within the CityGML Building module, OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard, Open Geospatial Consortium

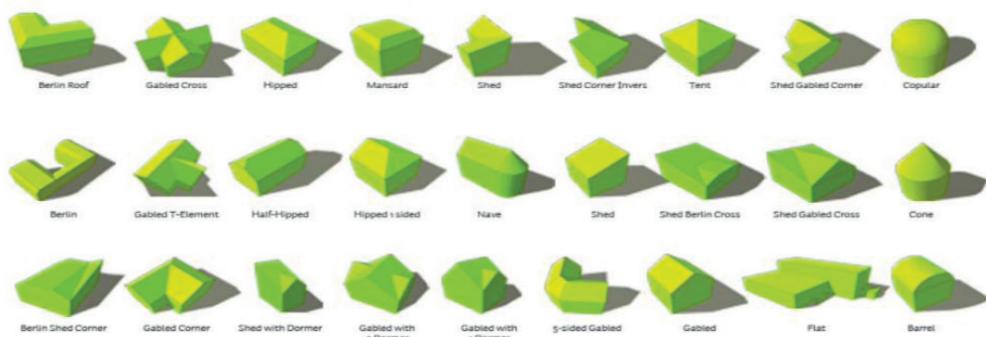
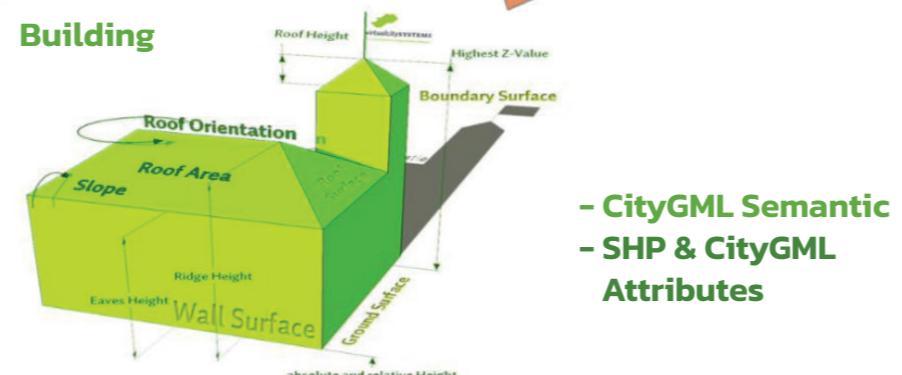
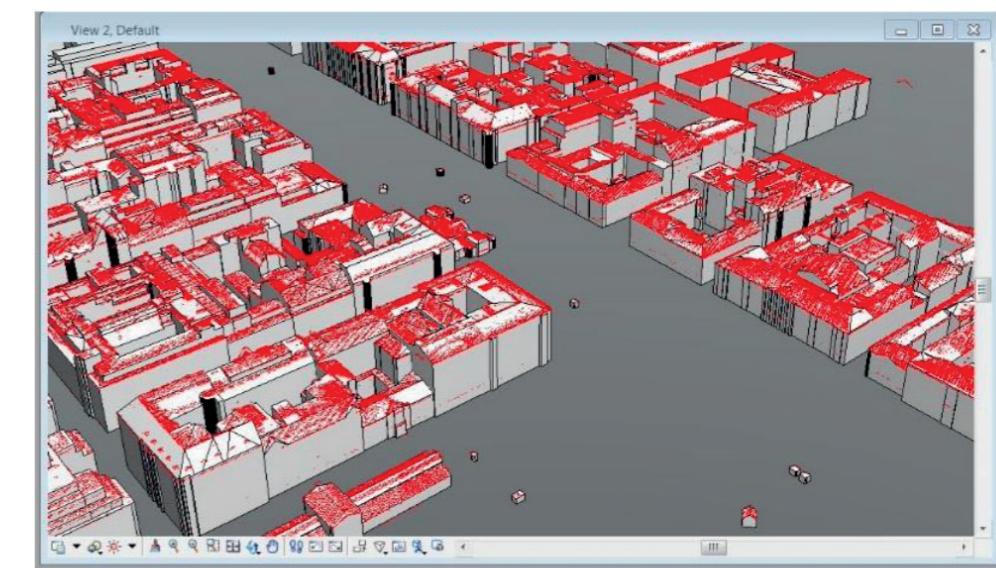
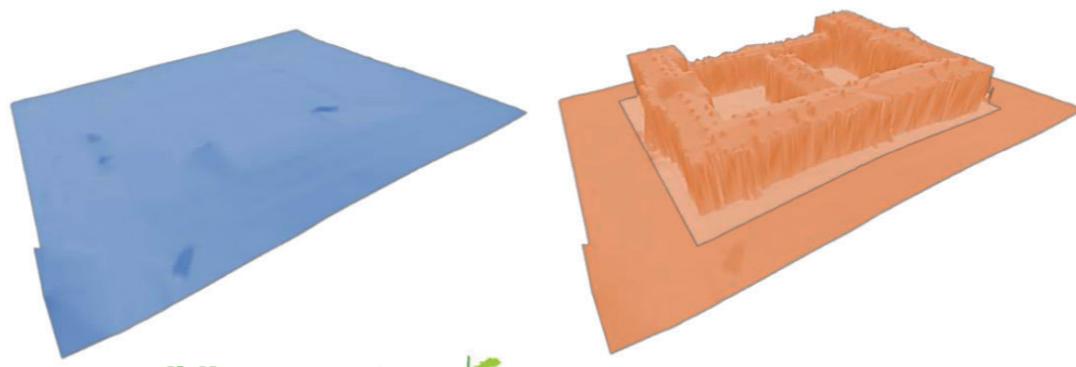
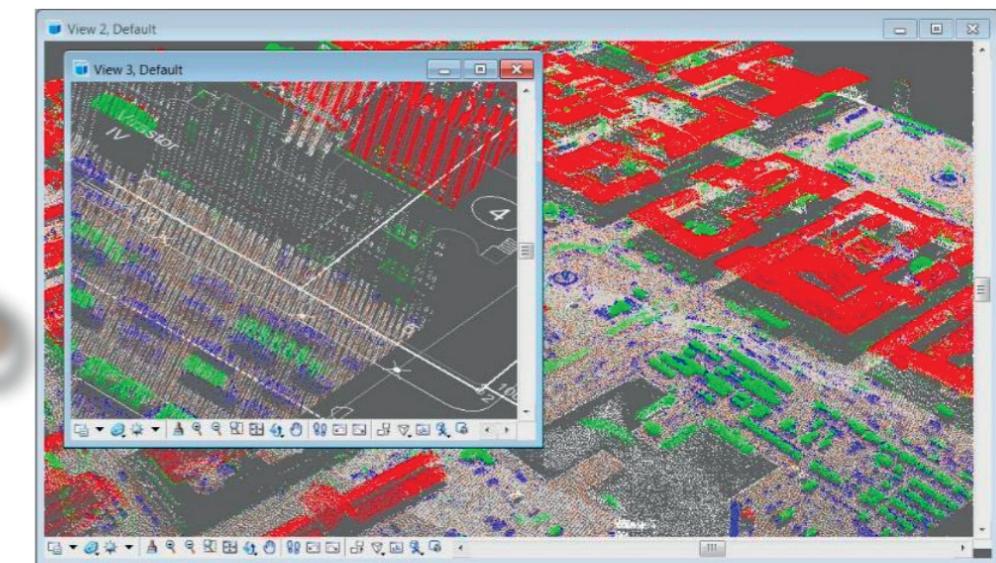
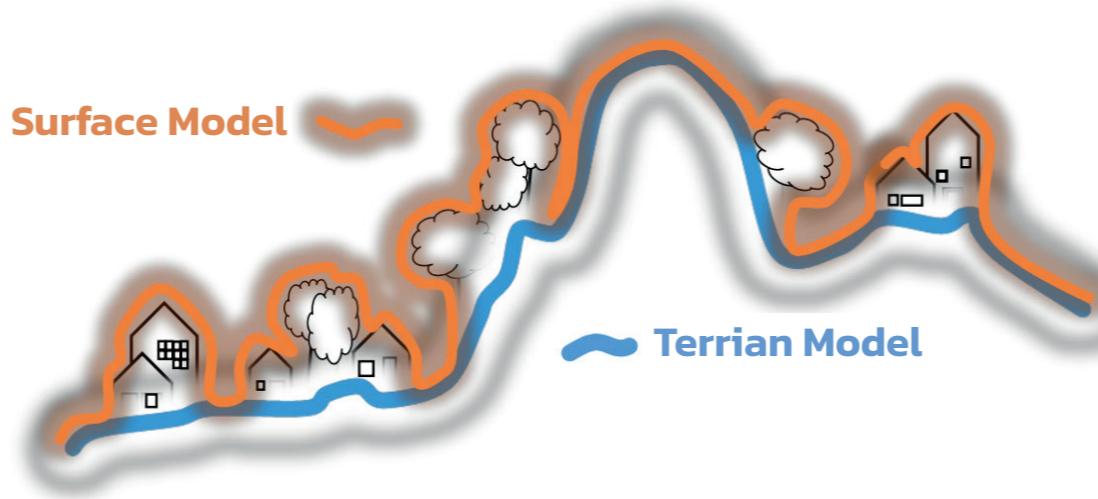
# Modelling the Buildings

## 건축물 모델링

건축물 모델링의 시작점은 건축물의 풋프린트(Footprints), 포인트 클라우드(Digital Terrain Model, DTM), 표면 모델(Digital Surface Model, DSM)이다. 포인트 클라우드(현재 상태)는 레이저 스캐닝(ALS)에 근거한다.

지형 모델은 건축물 풋프린트의 고도 위치를 결정하는데 사용된다(다만, 기본 맵과 설계 모델에 고도 정보가 포함되어 있지 않을 수도 있다). 표면 모델은 건축물의 높이와 지붕 형상을 식별하는데 사용된다.

도시 정보 모델의 건축물에서 건축물 풋프린트는 도시 계획의 기본 맵 및 건축물 풋프린트에 대한 2D 평면도와 동일하다.



→ ↓ (captions read from left to right, top to bottom)

Description of surface and terrain models.  
Base map and point clouds.  
Terrain and surface models from one building area.  
Roof shapes of buildings from point cloud.  
Semantics of the buildings, and roof shape library.  
Geometries of city information modelled buildings.

(표제는 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로 읽는다.)

표면 모델과 지형 모델에 대한 설명

기본 맵과 포인트 클라우드

한 건축물 면적으로부터 얻은 지형 모델과 표면 모델

포인트 클라우드로부터 얻은 건축물의 지붕 형상

건축물의 시맨틱과 지붕 형상 라이브러리

도시 정보로 모델링된 건축물의 지오메트리

[Image:[https://www.virtualcitysystems.de/images/vcs/products/buildingreconstruction/1024px/BREC\\_Rooftypes\\_Attributes\\_EN.png](https://www.virtualcitysystems.de/images/vcs/products/buildingreconstruction/1024px/BREC_Rooftypes_Attributes_EN.png)]

# Maintenance of CityGML Buildings at Helsinki City Survey Services

헬싱키 도시 조사 기관에서의 CityGML 건축물 유지관리

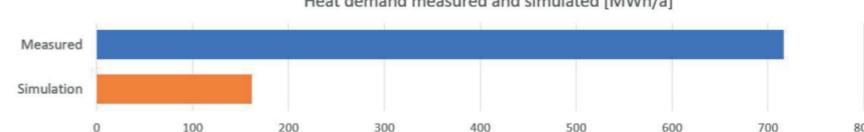
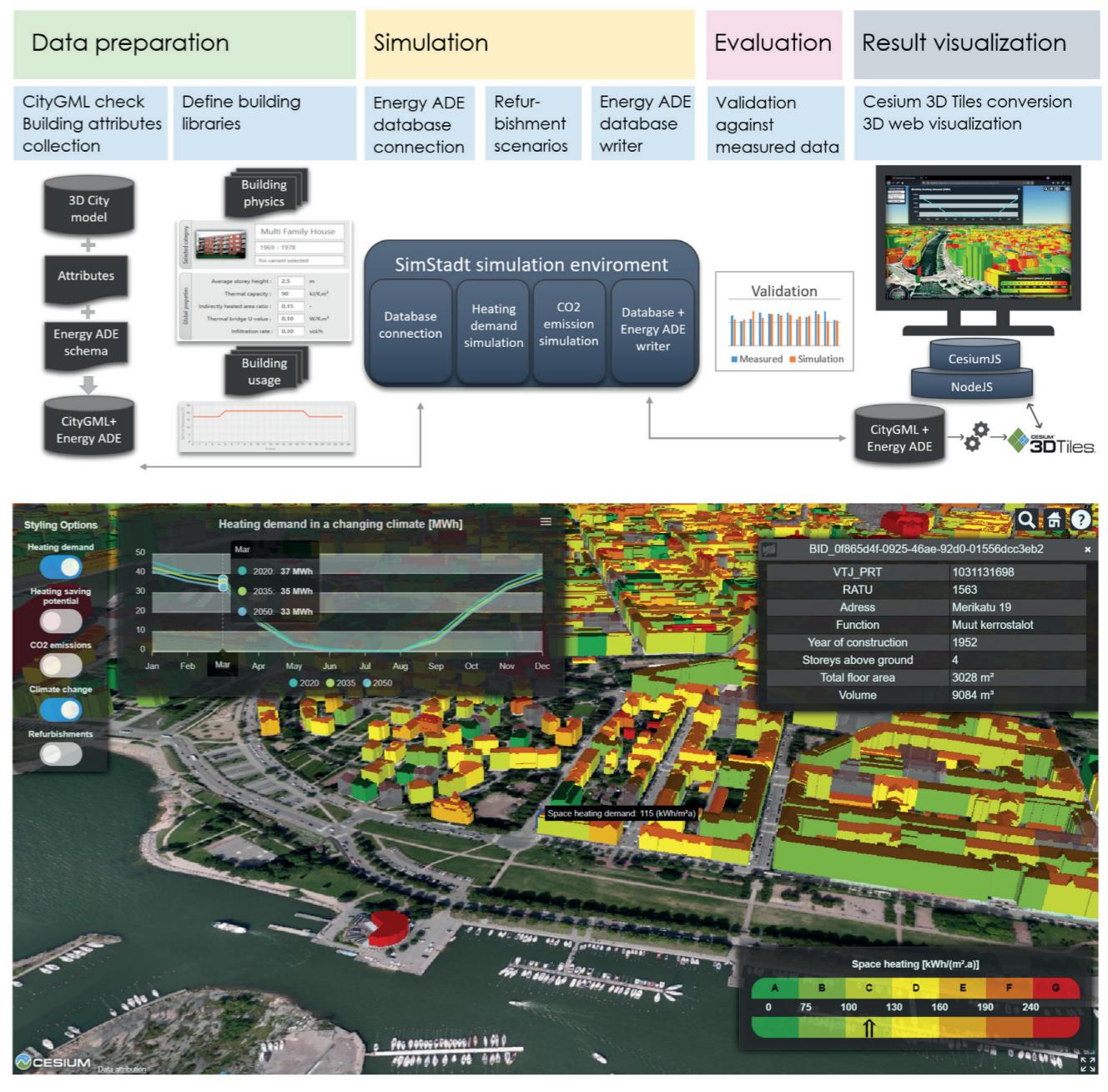
헬싱키 3D 도시 정보 모델에서 CityGML 건축물의 유지관리 및 업데이트는 도시 환경부 산하 헬싱키 도시 조사 기관에서 수행한다. 건축물은 기본 맵 건축물의 입력 벡터를 공동으로 변경시키는 CityGML 모델로 모델링된다. 그 과정은 다음과 같다.

새 건축물의 풋프린트의 치수와 위치를 기본 맵으로 가져온다. 가령 건축물이 철거 되면 기본 맵도 편집된다. CityGML 건축물의 모델링은 기본 맵을 읽는 것부터 시작된다. 기본 맵은 변경되어 온 건축물에서 모든 건축물 벡터를 검색한다. 건축물 풋 프린트가 자동으로 정해지고, BuildingReconstruction (BRec) 응용 프로그램 데이터가 이러한 풋프린트 벡터에서 자동으로 생성된다. 소스 데이터가 BRec 응용 프로그램

과 함께 직접 열리고, 운영자는 이를 사용해 건축물을 CityGML으로 수동으로 변환한다. 모든 건축물 정보가 소스 데이터로 사용된다. 새 건축물의 경우, 건축물의 형상은 건축 허가서의 다양한 첨부 문서로부터 뚜렷해진다. 건축물은 기존 데이터에 근거하여 가능한 한 정확하게 모델링된다.

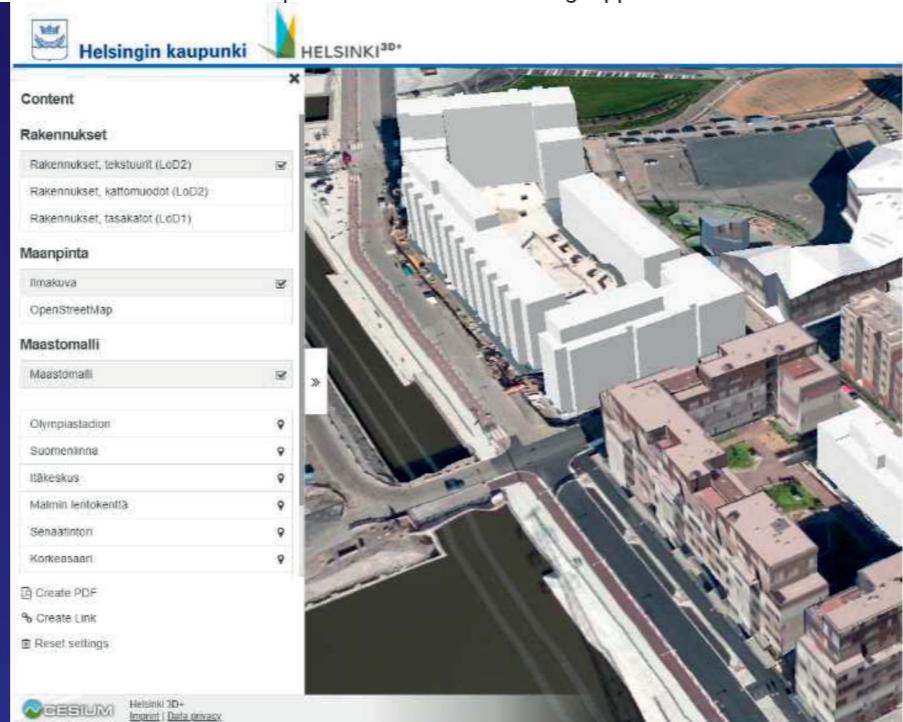
그림에서와 같이 도시 정보 모델로 가져오기 한 새로운 건축물에는 처음에 사진 텍스처가 없다. 현재로서는, 도시 정보 모델의 건축물에 있는 모든 텍스처가 항공 촬영에서 기인된 것이지만, 다른 촬영 수단도 활용할 수 있다. 텍스처링은 촬영 당시 공사중이었던 건축물에 대해 실시된다.

Browser view of kartta.hel.fi/3d web site, where 3D city information model is being updated  
<https://kartta.hel.fi/3d/heating/Apps/Helsinki/view.html>



Concept and Evaluation of Heating Demand Prediction Based on 3D City Models and the CityGML Energy ADE—Case Study Helsinki, <https://www.mdpi.com/2220-9964/9/10/602>

**Maintenance and updating the CityGML buildings in the 3D city information model of Helsinki**



**Case Study Helsinki**  
**Concept and Evaluation of Heating Demand Prediction Based on 3D City Models and the CityGML Energy ADE—Case Study Helsinki**

# Modelling the Future Buildings and Environment

## 미래 건축물과 환경 모델링

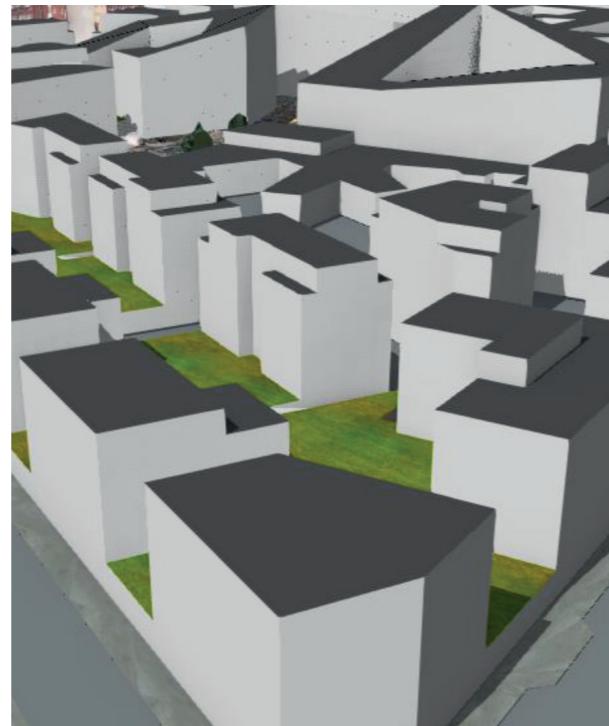
칼라사타마 지역의 건설은 초기 단계에 있을 뿐이지만, 이 지역에서 모델링될 대부분의 건축물은 계획수립 단계에 있을 뿐이다. 건축물을 짓기 전에 건축되지 않은 지역을 모델링하는 것은 디지털트윈을 사용하는 기본적인 이유 중 하나다.

미래 건축물에 대한 소스 데이터는 칼라사타마 - 말미 프로젝트로(Kalasatama-Malmi project)부터 받는다. 그 데이터는 몇 개의 파일로 나뉘어 있고 DGN 형식으로 제공된다. 게다가, 데이터 세트에는 칼라사타마 전체 지역의 도해, 개념도 및 상황이 포함되어 있다. 모델링에 대한 요구사항은 건축물이 폐쇄된 객체가 되는 통일된 표면 모델을 생성하는 것이었다. 이 모델에는 겹치는 평행 표면이 포함되어서는 안되며, 별개의 표면 모델이 생성되어야 한다. 소스 데이터에는 설계 패턴과 도해 이미지가 약간 다르게 들어 있었지만, 도해가 더 적극적으로 유지되었을 때 차이가 발견되었다면 도해 이미지에 의존하기로 결정했다. 모델링 과정에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

### Planned Models

#### 계획 모델

건축물의 모델링은 설계 템플릿에서 건축물을 레이어로 복사한 후 솔리드 볼륨 모델을 변경하는 것으로 시작되었다. 선형 요소와 표면 요소를 모두 제거하였다. 계획 건축물은 MicroStation 응용프로그램을 이용해 DGN 형식으로 생성되었다. 이 건축물은 대체로 LoD1으로 생성되었다. 이는 창없이 평지 봉으로 표현된다는 것을 의미한다.



In general, planned building have been modelled with flat roofs and without windows. View from the OpenCities Planner browser-based application, where the models of the planned buildings have been embedded

이 지역의 개념도와 생성된 메시 모델은 지형 모델에 대한 소스 데이터였다. 설계 모델에서는 지면이 처음부터 끝까지 3미터까지 돌출되었지만, 그 지역에는 고도 변화가 있을 것으로 메시 모델과 개념도를 살펴보기로 결정했다. 개념도의 도로 가장자리를 메시 모델과 비교하여 지면 객체를 정확한 높이로 옮겼다. 지형 모델링은 TerraModeler 소프트웨어 응용프로그램으로 수행하였고, 지면은 도로, 식재, 모래, 자전거, 시장 지역으로 분류했다. 이러한 테마에 MicroStation에 있는 재료 및 색상 사양서를 제공했다. 이러한 클래스는 CityGML 모델을 생성하는데 사용할 수 있을 것이다.

미래 건축물은 최신 계획서에 따라 제출한다. 따라서 모든 설계 건축물이 꼭 모델에 표시된 대로 생성되는 것은 아니다.

# Planned Models

Modelling the Future Buildings and Environment

cityplanneronline.com/helsinki/kalasatama 3D-portaali on käytettävissä kaikilla älylaitteilla

Helsinki INFORMATION CONTENT

**Future**  
The source data for future buildings is received from the Kalasatama-Malmi project

**DGN**  
The data is divided into several files and is available in DGN format

**Data Set**  
the data set contains illustrations, conceptional sketches and scenes of the entire Kalasatama area

# kartta.hel.fi/3d

Search Content Help Settings

## Helsingin 3D-kaupunkimallit

3D models of Helsinki - Energy and Climate Atlas

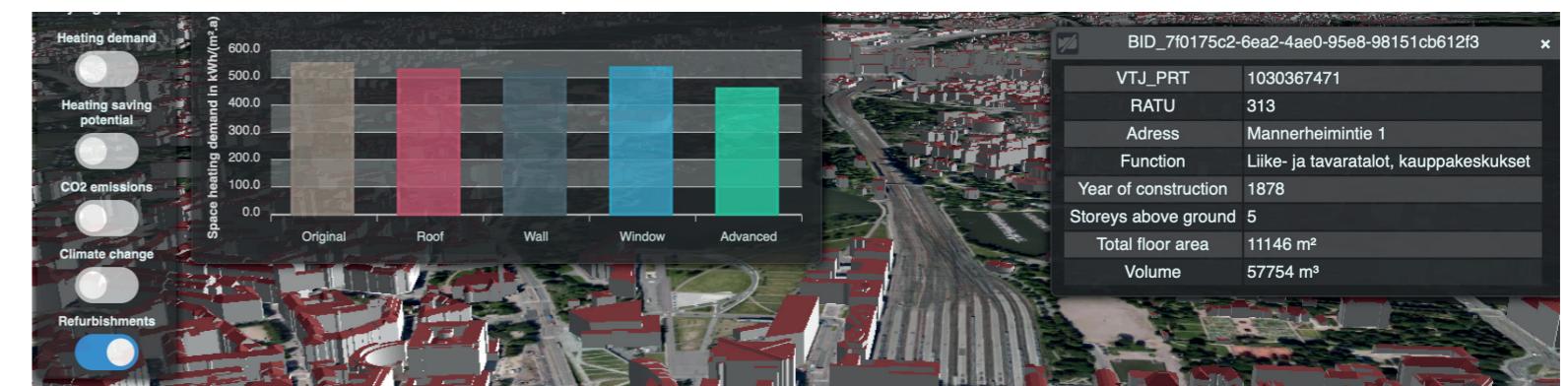
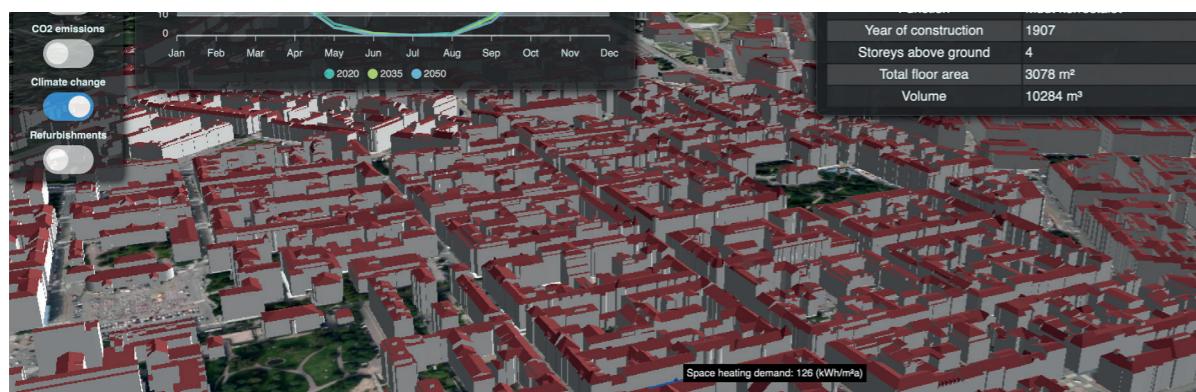
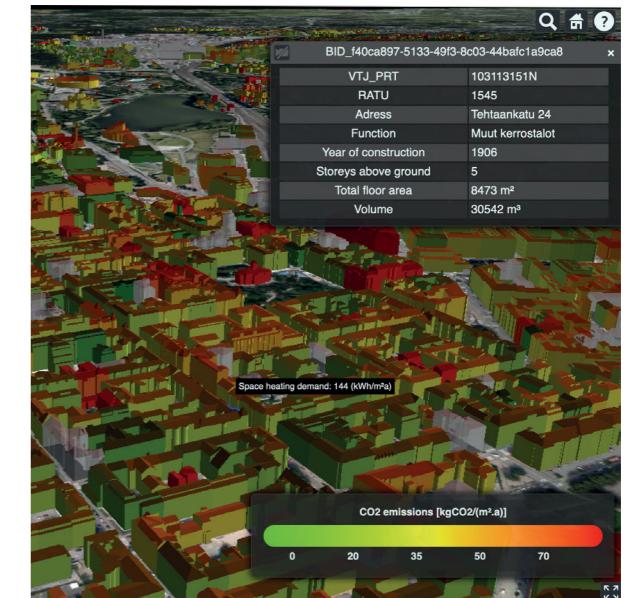
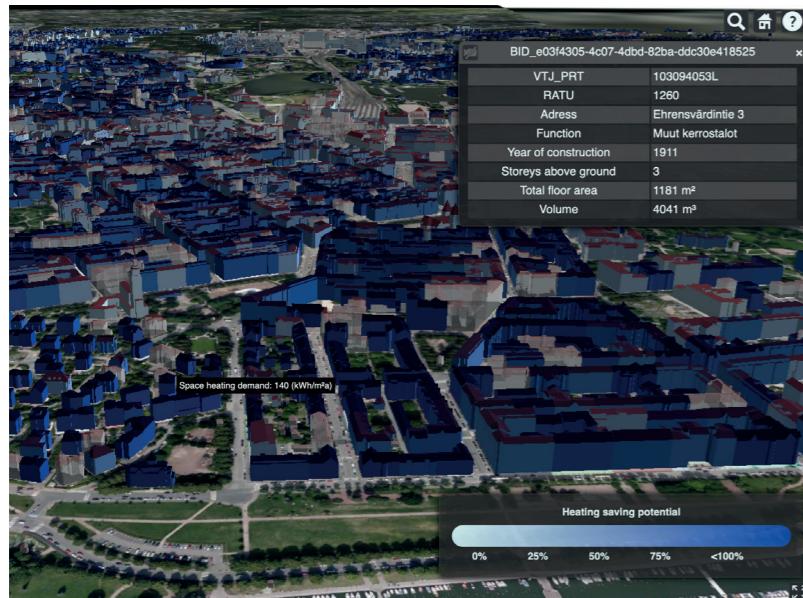
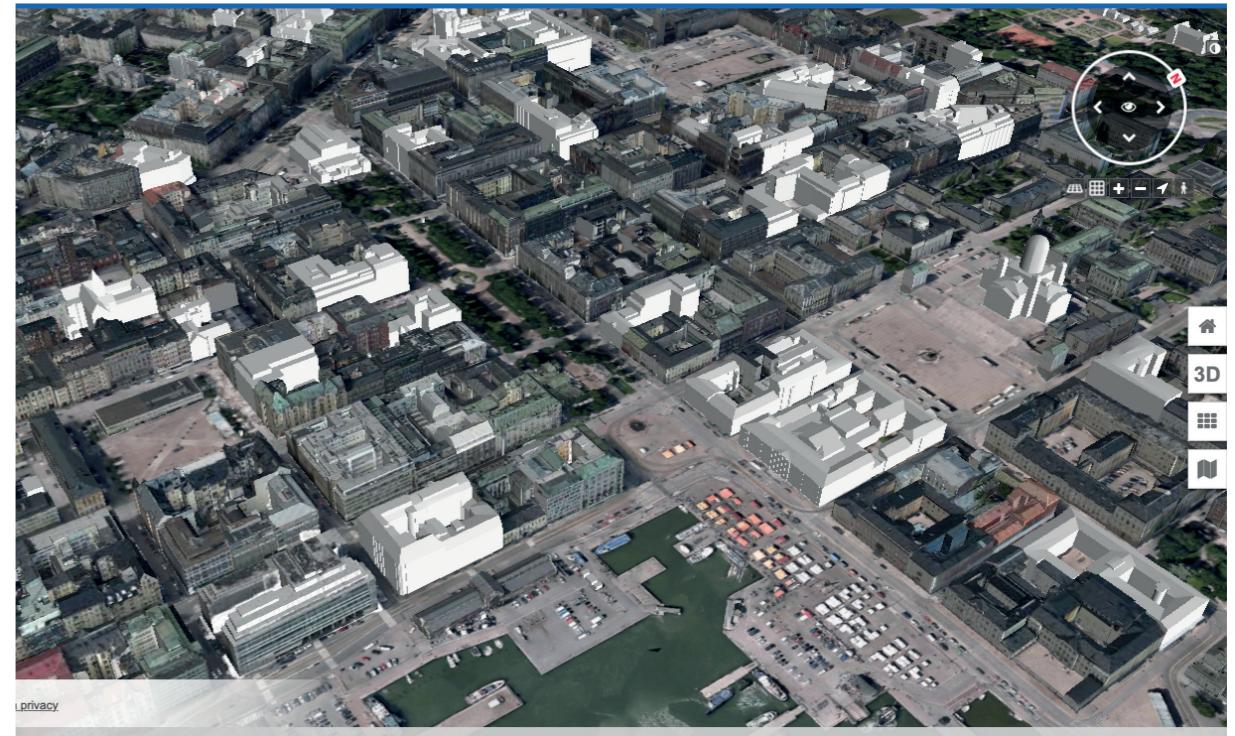
The Helsinki Energy and Climate Atlas is a service produced with the city's 3D city information model, which can be found at <https://kartta.hel.fi/3d/atlas>.

Helsinki Map Service - Helsingin karttapalvelu

The City of Helsinki map service is a map portal that can be used to access the map and geographic information datasets of several departments.

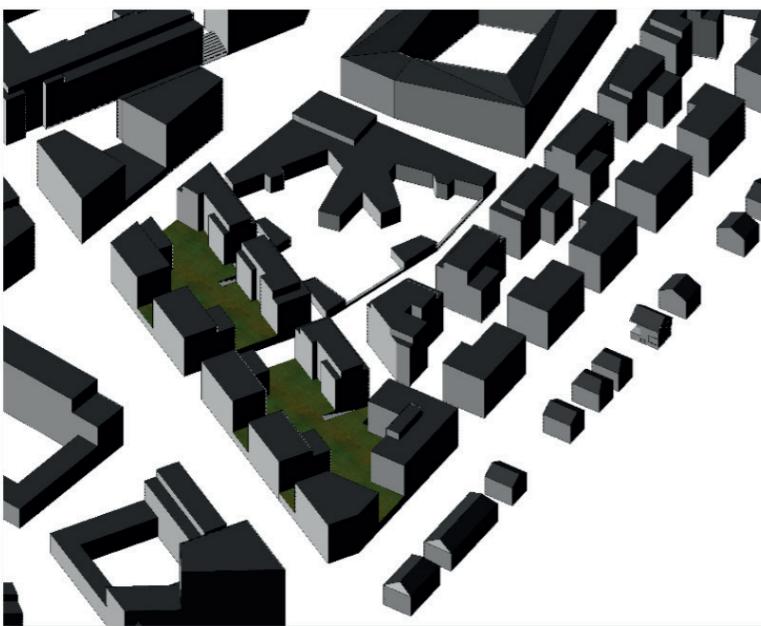
- » [Future Plannings](#)
- » [Energy and Climate Atlas](#)
- » [Solar Energy Potential](#)

- » [Geoenergy Potential](#)
- » [Heating Demand Prediction](#)
- » [Energy Data of Buildings](#)

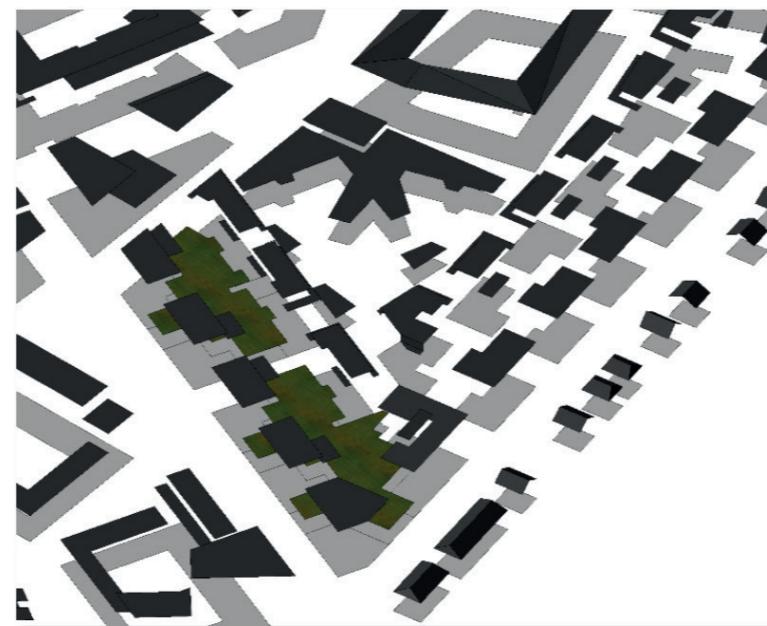


# Modelling Planned Buildings into the CityGML Format

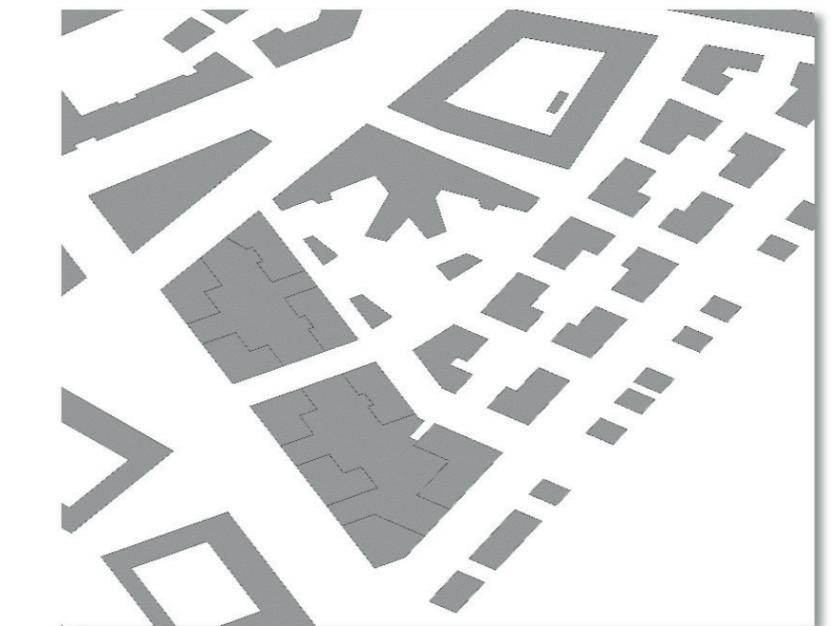
Creating CityGML buildings



CAD models in DGN format  
Application: MicroStation, MicroStation - 3D CAD Software for Architecture, Engineering



Separation of the footprints and the roofs



The footprint vectors of the buildings



**MicroStation - 3D CAD Software for Architecture, Engineering**

## 계획 건축물을 CityGML 형식으로 모델링

2018년까지 약 3,000명의 헬싱키 주민이 칼라사타마 지역에 살게 될 것이다. 2040년까지 그 지역에는 25,000명의 주민이 살게 될 것이고 10,000개의 일자리가 생길 것이다. 아파트의 총 바닥면적은 120만 제곱미터, 사무실 공간은 40만 제곱미터가 될 것이다. 따라서 칼라사타마의 건설은 초기 단계에 있을 뿐이다. 건설은 20년 동안 계속될 것이다. 2030년까지 Sompasaari, Suviлаhti, Verkkosaari가 완성될 것이지만, 적어도 Hanasaari, Kyläsaari, Hermanninranta에서는 건설이 2040년까지 계속될 것이다.

CityGML 건축물 모델을 생성하는 시작점은 그림에 나타낸 바와 같이 DGN 형식으로 된 건축물의 CAD 모델이었다. 설계는 칼라사타마 - 말미 프로젝트로 (Kalasatama-Malmi project)로부터 얻은 소스 데이터에 근거하여 만들어졌다. 첫째, 여러 CityGML 모델러에 대하여 건축물 모델의 완전성과 적합성을 조사하였다.

그 다음, BuildingReconstruction (BRec) 응용프로그램을 사용하기로 결정했다. 이 응용프로그램(건축물 풋프린트, 지형 모델, 표면 모델과 함께) 사용하면 CityGML 표준에 따라 반자동 시맨틱 건축물 모델을 생성할 수 있다.

## CityGML 건축물 생성

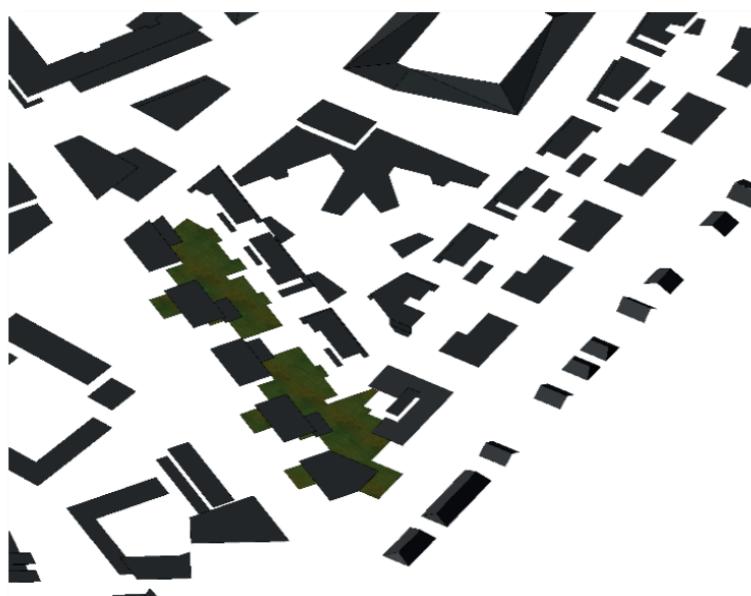
BRec 입력 데이터를 준비하려면 3D 모델을 건축물의 풋프린트와 지붕으로부터 분리해야만 한다. 3D 모델의 편집은 그림에서와 같이 DGN 형상의 건축물에서 풋프린트를 제거하는 것부터 시작된다. 예를 들어 솔리드 빌딩 블록의 경우에 풋프린트와 개별 건축물의 치수는 데이터 프로세서로 결정되었다. 결과적으로 약 250개의 분리된 건축물이 생성되었다.

# Creating CityGML buildings

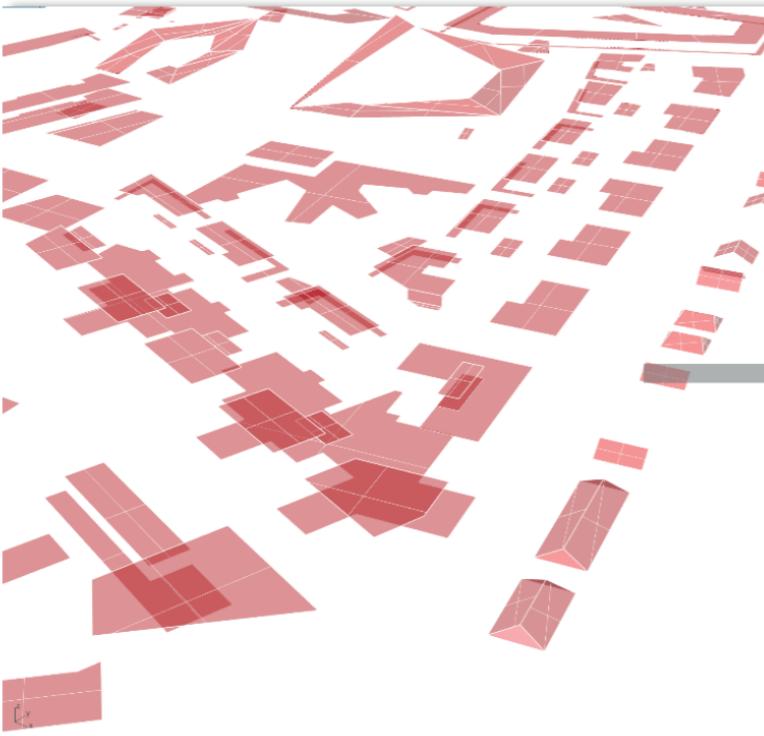
**Building Reconstruction (BRec)**



## PRODUCTION OF THE TWIN MODELS – CityGML Model

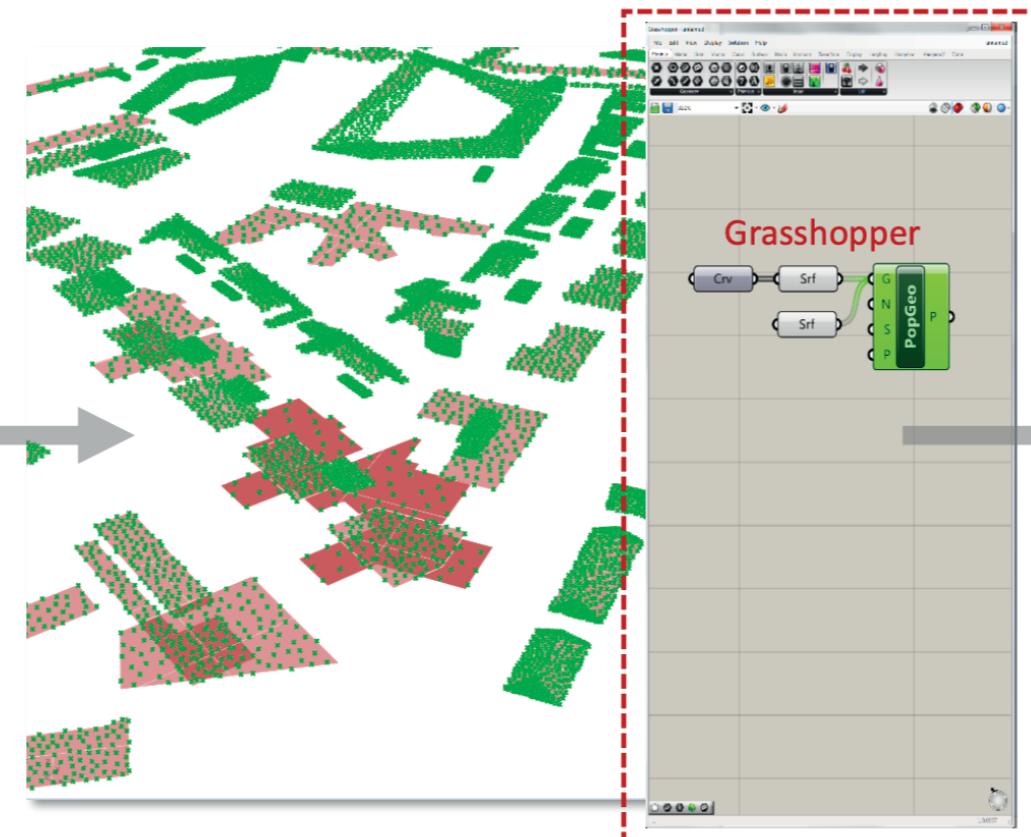


Separation of the roofs (application: MicroStation)



The roofs in the Rhino application (left) and the point cloud (right) produced using the Grasshopper application (middle)

**The roofs in the Rhino application and the point cloud produced using the Grasshopper application**

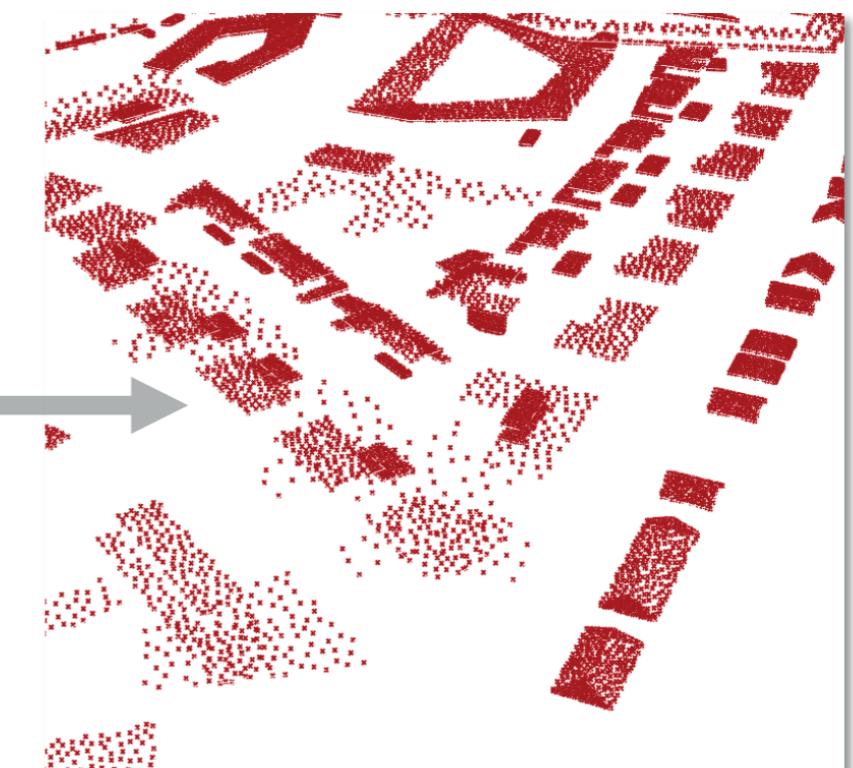


Rhino 응용프로그램에서의 지붕(왼쪽)과 Grasshopper 응용프로그램(중간)을 사용해 생성된 포인트 클라우드(오른쪽)

### 트윈 모델의 생성 - CityGML 모델

프린트를 편집하고 유효성을 검사한 후 3D 모델에서 건축물의 지붕을 제거했다. 지붕 요소가 전체 건축물을 덮고 있는 경우에는 지붕 벡터를 선택하는 일이 프린트를 결정하는 것만큼 정확하지 않았다. 건축물에서 분리된 지붕은 Rhinoceros 응용프로그램으로 내보내기 되었고, 그 그래픽 Grasshopper 알고리즘 편집기를 사용해 포인트 클라우드로 변환되었다. 이 포인트 클라우드를 추가로 처리하여 표면 모델을 생성하였다.

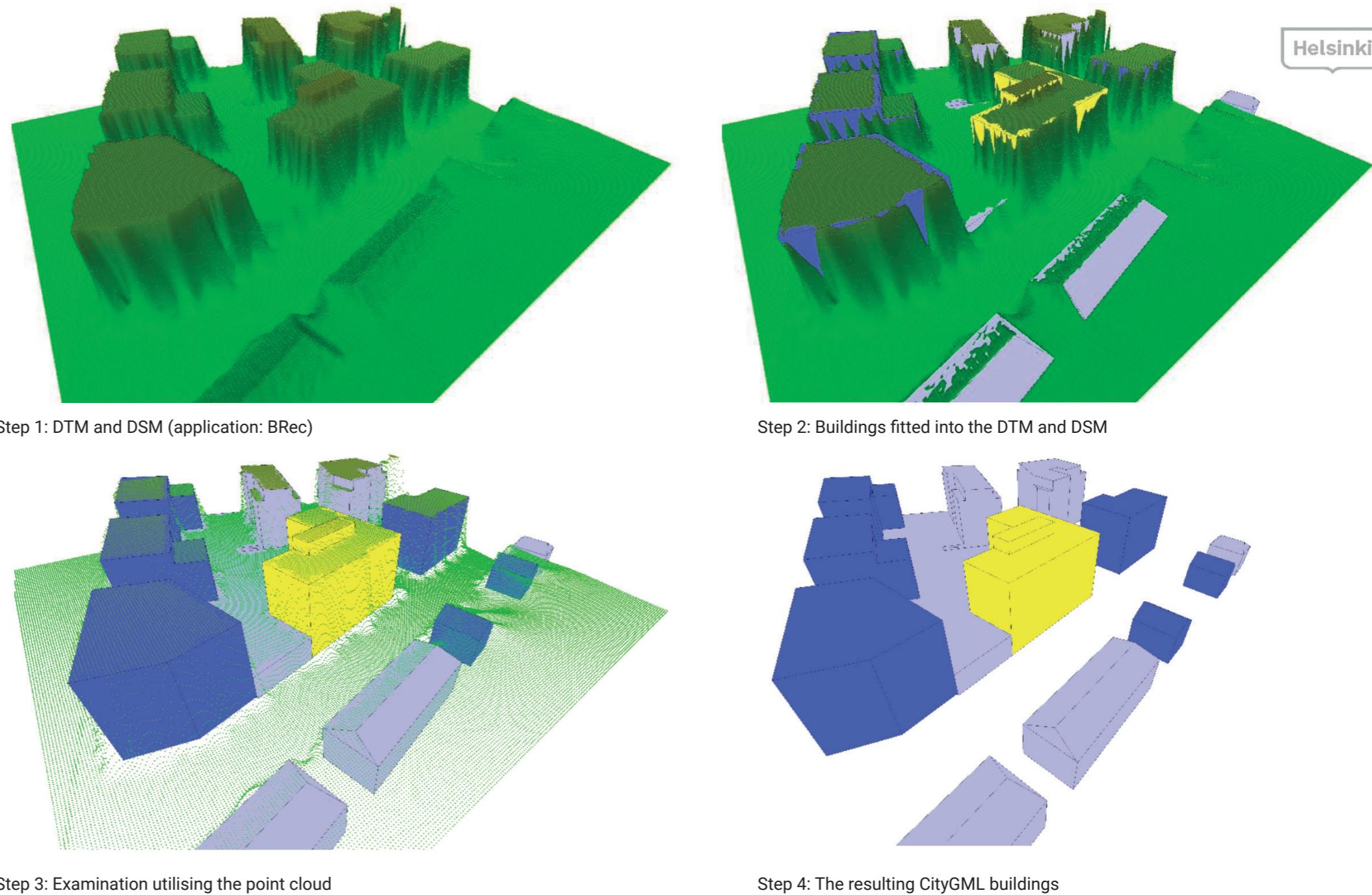
그 다음, FME 응용프로그램을 사용해 각 풋프린트 벡터에 대한 고유 식별자를 생성하였고, 최종 출력 데이터를 BRec 응용프로그램에 적합한 형식으로 변환시켰다. 이와 더불어, 응용프로그램으로 모델링을 가능한 한 순조롭게 모델링할 수 있도록 계획건축물을 더 작은 그룹으로 나누었다. 따라서 계획 건축물은 7개 지역: Redi, Hanasaari, Sörnäistenniemi, Sompasaari, Suivilahti, South of Verkkosaari, Verkkosaari 북부로 나뉘었다.



## PRODUCTION OF THE TWIN MODELS – CityGML Model

BRec 응용프로그램을 통한 모델링은 다음과 같이 진행되었다. 작업의 첫 번째 단계에서는 모델링 대상 건축물의 풋프린트를 ID 식별자와 함께 응용프로그램으로 가져오기 하였다. 아울러 수치 지형 모델(DTM)과 수치 표면 모델(DSM)도 가져오기 하였다. 두 번째 단계에서는 건축물에 DTM과 DSM 모델을 적용하여 풋프린트를 DTM에 이식하고 DSM을 이용해 건축물의 지붕이 돌출되게 했다. 지붕 형상은 지붕 형상 라이브러리에서 선택했다. 이 단계는 자동으로 이루어졌다. 이 모델에 수동 처리가 필요한지를 알아보기 위해 포인트 클라우드와 함께 얻은 결과를 조사하였다.

BRec 응용프로그램은 CityGML 표준에 따라 최대 LoD2의 3D 건축물을 반자동으로 생성한다. 중간 크기의 건축물과 평지붕 건축물에 대해서는 전자동 모델링이 성공적으로 이루어졌다. 자동 모델링을 하기에는 전체 블록이 너무 커다. 지붕 형태가 복잡하고 경사져 있었기 때문이다. 그럼에도 불구하고 반자동화 모델링 덕분에 250여개 건축물에 대해 BRec 응용프로그램으로 CityGML 건축물을 최종 모델링하는 데는 10시간 밖에 걸리지 않았다.



**The BRec application semi-automatically produces 3D buildings of up to LoD2 in accordance with the CityGML standard.**

**Observations** 논평: 건축물에 대한 입력 데이터를 자동으로 CityGML로 변환하기는 힘들다. 계획 건축물의 3D 모델을 CityGML로 변환하는 것을 FME 컨버터와 SketchUp CityEditor 확장판으로 시험하였다. 이러한 응용프로그램은 불완전한 CityGML 모델을 생성했다. 입력 데이터에 모델링 오류가 포함되었기 때문이었다. 건축물은 BRec 응용프로그램으로 모델링 했다. 소스 데이터가 저절로 수정되었고 이 특정 모델링 방법에 적합하도록 처리되었다. CAD 모델에

서 CityGML 모델로의 반자동 변환은 변환의 기능성을 보장하고 가장 복잡한 건축물에 수동 모델링을 가능하게 하는데 효과적인 방법이다. 가장 중요한 작업은 출력 데이터가 완벽하고 CityGML 모델에 유효한지 확인하는 것이다.

새빌딩 블록에서 중정 일부의 높이가 근처보다 훨씬 더 높았다. 중정의 일부가 지하주차장으로 이루어져 있기 때문이었다. 지역의 전체 뷰를 위해 이러한 객체를 CityGML 건축물로 모델링하기로 결정했다. 도

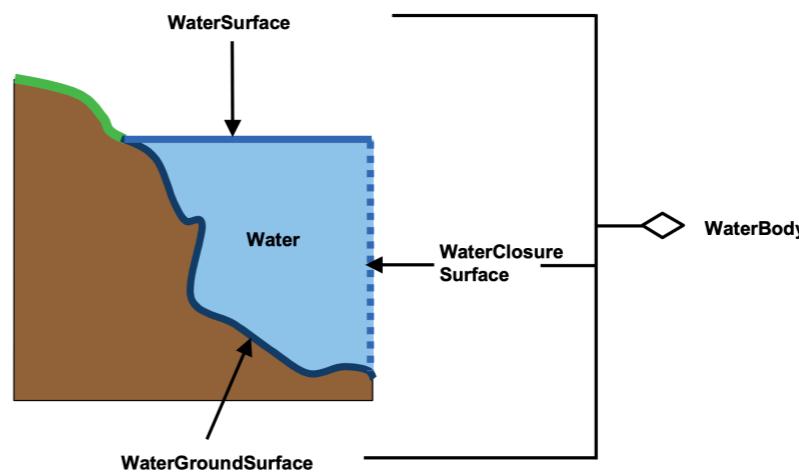
시 조사 기관에서 행하는 CityGML 건축물의 유지보수 작업은 전적으로 기본 맵의 업데이트에 근거하여 이루어지고, 이러한 전통적인 매핑 가이드라인이 꼭 3D 도시 모델링을 지원하는 것은 아니다. 기본 맵으로 내보내진 일부 지하 주차장은 아직 3D 모델링이 되지 않았으므로 도시 정보 모델에서 제외된다.

# CityGML

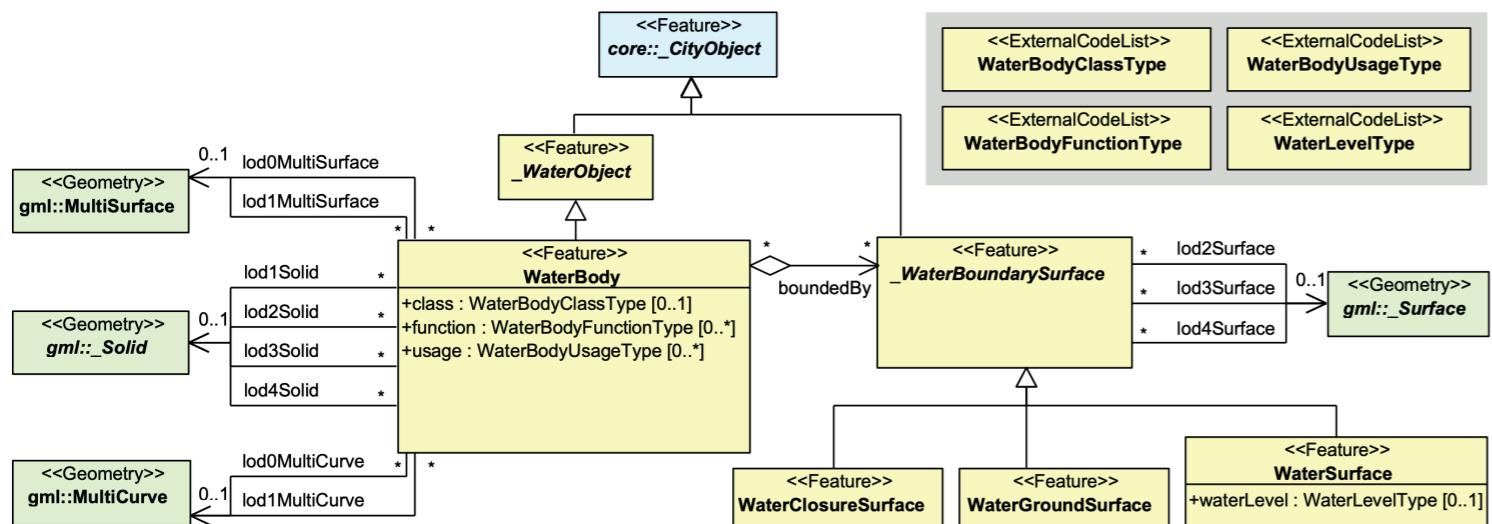
## WaterBodies

### CityGML 수역

CityGML WaterBody은 WaterBoundarySurface 클래스 내에서 3개의 시맨틱 부분으로 나뉜다. 아래 그림에서와 같이 WaterSurface는 수면을 나타내고, WaterGroundSurface는 물의 기저부를 나타내고, WaterClosureSurface는 수괴, 즉 수면과 밀접 사이의 공간을 나타낸다. 그러나 CityGML v2.0에 따른 유일한 필수 정보는 WaterSurface이다. 이것이 공기와 물 사이의 경계를 나타내기 때문이다. WaterBody는 WaterObject의 서브클래스이다. 이것은 CityObject 세션의 파생물이다. WaterBody 객체의 지오메트릭 표현은 선택된 LoD 레벨에 따라 달라진다. WaterBody 객체는 등급, 기능, 용도 등의 속성을 가질 수 있다.

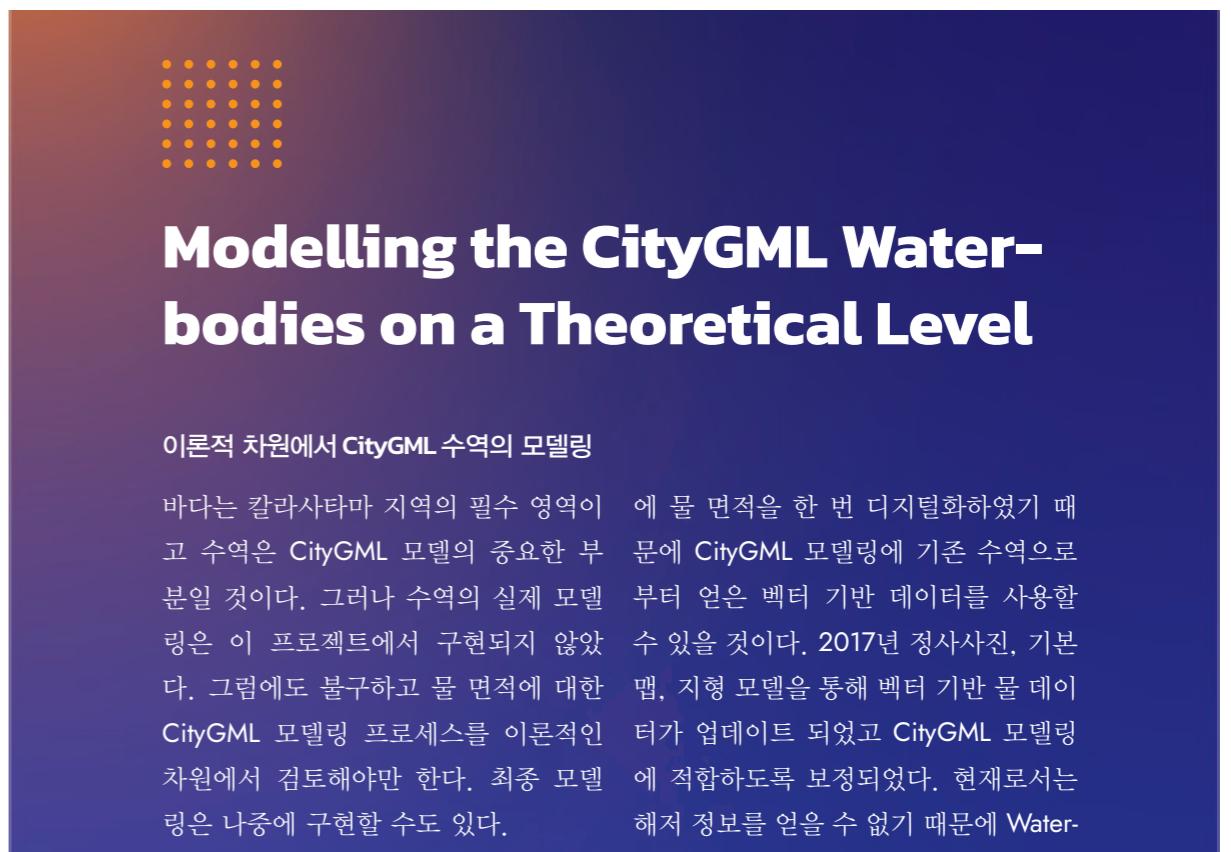


**OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard**



UML diagram of the water body model in CityGML. Prefixes are used to indicate XML namespaces associated with model elements. Element names without a prefix are defined within the CityGML WaterBody module

### UML diagram of CityGML waterbody



CityGML 수역에 대한 소스 데이터는 수면적으로부터 얻은 벡터 기반 데이터이다. 물의 정확한 치수는 지역 모델(DTM)으로부터 생성되고, 정사 사진과 해안선 벡터는 기본 맵으로부터 생성된다. 도시 전체의 메시 모델을 위해 2016년 wtr:WaterBody and Lo1MultiSurface.



# CityGML Bridges

**The CityGML bridge model enables the thematic, spatial and visual aspects of bridges and bridge parts at four levels of detail, LoD 1–4**

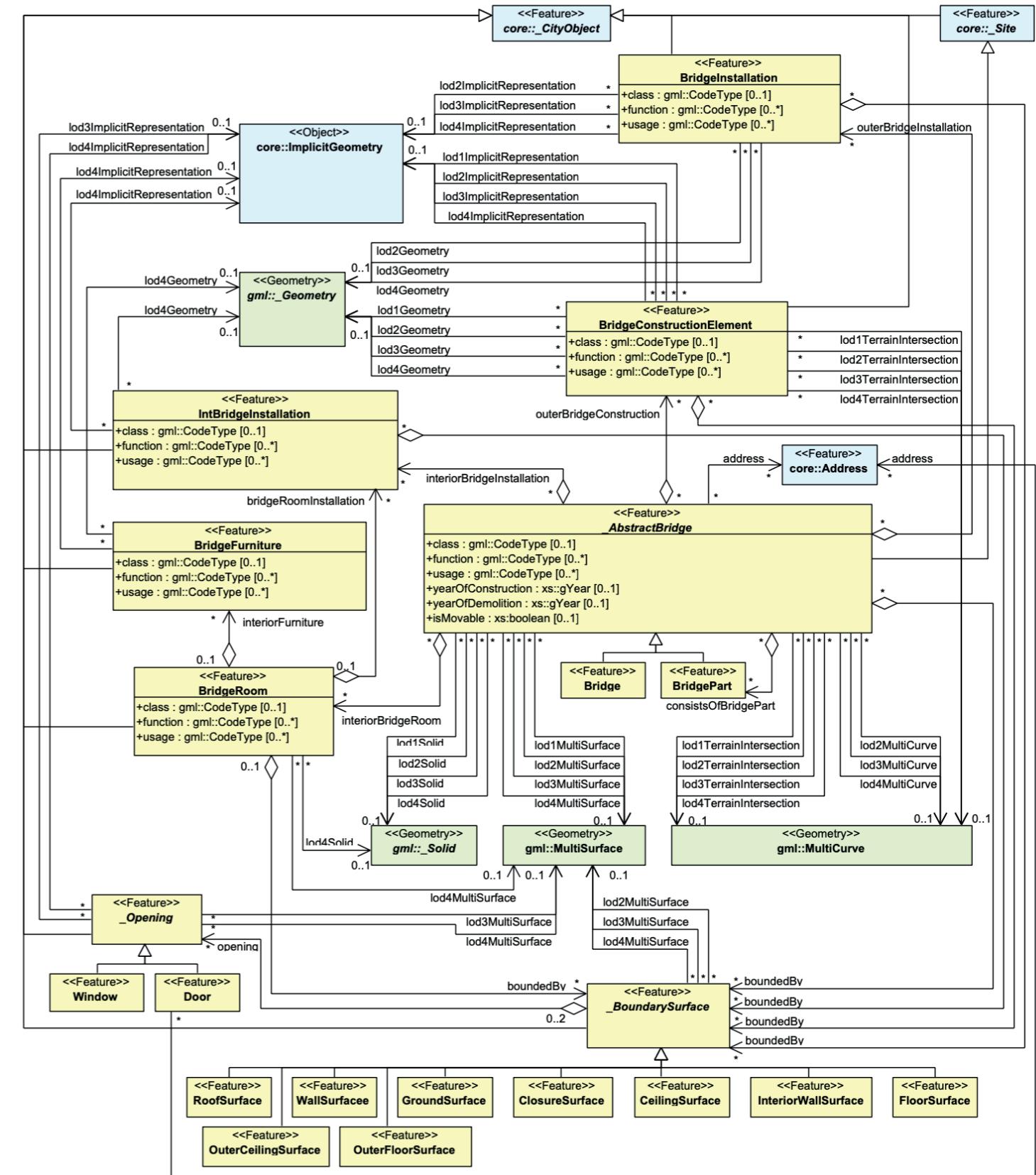
**A bridge is presented by a Bridge class object, which inherits its attributes and relationships from the abstract base class**

[OGC City Geography Mark-up Language (CityGML) Encoding Standard v2.0, <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>].

CityGML 교류

CityGML 교량 모델은 테마, 공간, 시각적 측면의 교량과 교량 부분을 4가지 상세 레벨(LoD 1-4)로 나뉜다. 교량은 Bridge 클래스 객체로 표현되며, 추상 기본 클래스 **\_AbstractBridge**로부터 그 속성과 관계를 상속 받는다. 교량 모델링은 **CityObject** 섹션에 포함된다. 교량 모델의 구조와 속성은 건축물 모델에 근거한다. 건축물 모델과 마찬가지로 시맨틱 및 지오메트릭 정확도는 LoD 레벨에 따라 증가한다. LoD1은 박스 모델을 나타내고, LoD3은 완전한 건축학적 모델을 나타낸다. LoD4 레벨은 교량의 내부 구조를 기술한다.

예를 들어 교량의 첫 번째 레이어가 균일하지 않은 경우에는 교량을 MultiSurface 지오메트리로 나타낼 수 있다. 와이어나 로프 등과 같은 교량의 추가적인 시각적 특징은 MultiCurve 엘리먼트로 나타낼 수 있지만, 안테나나 기타 기능적 교량 부분 등의 시맨틱 객체는 BridgeInstallation 또는 BridgeConstructionElement 객체로 나타낼 수 있다. BridgeConstructionElement는 교량의 구조에 필수적인 교량의 일부(지지 요소 등)를 기술하는 반면, BridgeInstallation 엘리먼트는 교량의 운영이나 유지에 영향을 미치지 않는 특징이 될 수 있다. 다른 교량과 분리되어 있는 교량의 부분(램프 등)은 BridgePart 객체로 나타낼 수 있다. 하나의 교량은 몇 개의 BridgePart 객체로 구성될 수 있다. BridgePart 객체는 AbstractBridge 클래스의 서브클래스이기도 하다. 그 시맨틱 속성은 class, function, usage, is\_movable이다. class는 교량의 형식과 시공 방법을 기술하고, function은 교량의 용도를 기술하며, usage는 교량의 비표준 운영을 기술하고, is\_movable은 이동교인지 고정교인지 또는 교량의 일부인지를 진술한다. 속성은 gml:CodeType으로 표시되고, 교량 이름은 gml:name으로 나타낼 수 있다.



## UML diagram of a CityGML bridge, OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Open Geospatial Consortium

# Modelling Bridges into the CityGML Format

## 교량을 CityGML 형식으로 모델링

칼라사타마와 그 주변 지역에는 교량이 30여개 있다. 헬싱키시에는 교량에 대한 개별 데이터 세트가 2개 있다. DGN 형식으로된 벡터 기반 데이터와 등록 정보이다. 접경 지역에 있었던 모든 항목이 교량 레지스터에서 검색되었고, 이러한 항목으로 50여개가 발견되었다. 교량의 모델링은 아래와 같이 이루어졌다.

아래 그림과 같이 교량의 DGN 벡터 데이터에서 교량 커버만 모델링한다. 3D 도시 정보 모델에 대해서는 교량의 커버 구조에 2m의 표준 두께를 제공하기로 결정하였다. 결국 박스 모델, 즉 LoD1MultiSurface 객체가 되었다. 도시 정보 모델에서 교량이 더 잘 보이기 위해 2m 두께를 사용했지만, 그래도 경량을 유지하고 있다.

이 단계는 MicroStation 응용프로그램을 이용해 수동으로 수행되었지만, 선택된 모든 항목을 동시에 처



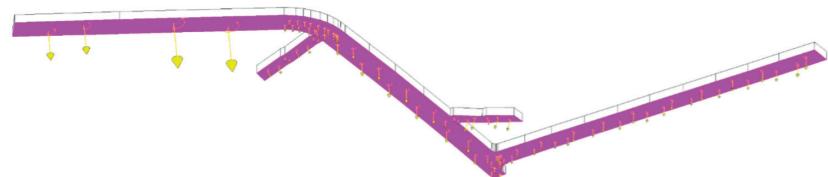
The starting point: a vectorized bridge in DGN format (Kaikukatu's light traffic bridge, in Hakaniemi)

시작점: DGN 형식으로 벡터화된 교량(Hakaniemi에 있는 Kaikukatu의 경교통 교량)



The distance between the cover and the bottom was set to be two meters, so that the bridges would be more visible in the model

교량이 모델에서 더 잘 보일 수 있도록 커버와 밑면 사이의 거리를 2m로 설정

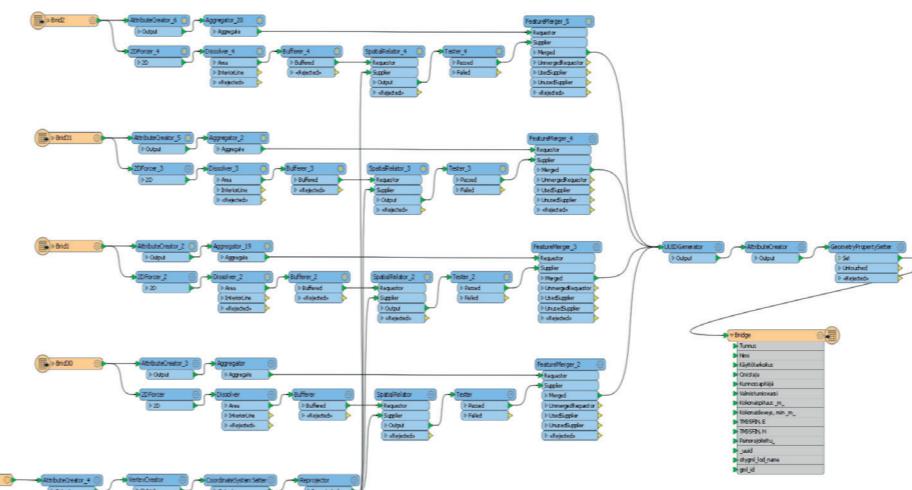


Defining the correct direction of the normals of the bottom  
밑면의 법선 방향에 대한 올바른 정의

교량의 지오메트리 데이터를 교량의 등록 데이터와 결합하였기 때문에 각 교량은 교량 레지스터의 데이터베이스로부터 속성을 받았다. 작업 단계는 FME 응용프로그램에서 수행되었으며, 이를 통해 교량 레지스터로부터 얻은 속성이 포함된 테이블과 지오메트리 사이에 코드가 생성되었다. 이 코드에 근거하

여 응용프로그램은 지오코딩의 도움을 받아 28개 교량에 대한 교량 레지스터로부터 정확한 교량 정보를 찾을 수 있었다. 교량 데이터에서 교량 중 한 개에 대한 정보는 찾을 수 없었다. 그래서 맵 위에 있는 이름을 부여하였다. 벡터 데이터 중에서는 3개 교량을 완전히 폐기해야만 했다. 하나는 부두로, 하

나는 집의 진입로로, 하나는 의미 없는 객체인 것으로 판명되었기 때문이다. 마지막으로, 29개 교량을 FME 응용프로그램을 사용해 CityGML 형식으로 변환시켰다. 이에 따라 각 교량 객체는 객체를 추적하고 편집/업데이트할 수 있게 하는 CityGML ID 코드를 받게 되었다.



Combining bridge geometry and registry information together, and producing the final CityGML model in the FME application

CityGML bridges in the city information model (blue objects)

## Observations

논평: 기존 교량 외에도 2개의 계획 교량을 모델링했다.

모델링 정확도와 시간 관리 때문에 계획 교량은 위에서 언급한 29개 교량과 동일한 방식으로 모델링되지 않았다. 계획 교량은 계획 건축물과 동일한 소스 데이터로, 소스 데이터의 정확도 레벨로 모델링된다. 계획 교량에는 새로운 기능 Sillan\_tila (=the bridge state)이 주어졌다. 이 경우에 그 값은 "design"이다.

교량은 LoD1 레벨에서 정의되었다. 다만 말뚝, 기둥 등과 같은 교량 지지 구조물은 빠져있다. 지지 구조물에 대한 레지스터 정보나 지오메트리 정보를 구할 수 없었기 때문에 전체 도시 정보 모델에 수동 모델링이 필요하다고 생각하지 않았다. 더 큰 교량과

지면의 교점을 매우 신중하게 고려하였고, 그에 맞게 지면을 수정했다. 예를 들어 시뮬레이션의 경우, 모델에 유의한 오차가 있어서는 안 된다.

모든 CityGML 객체의 유효성 검사는 텔프트 대학의 Geotechnical Research Group에서 개발한 3D 프리미티브 및 스키마의 지오메트릭 유효성 검사 도구 (CityGML 스키마 밸리데이터)의 도움을 받아 수행하였다. Val3Dity 툴은 객체를 기하학적으로 검증하고 스키마 툴은 스키마의 완전성을 검사한다. 일치하지 않는 것이 있다면, 응용프로그램이 문제가 발생한 곳을 알려주기 때문에 해결하기가 쉽다.

사전 정의된 표준의 특성과 일치하게 속성 데이터를 편집할 수 있도록 개발할 필요가 있다. 그러나 이것은 나중에도 꽤 쉽게 할 수 있다.

# The CityGML Terrain Model

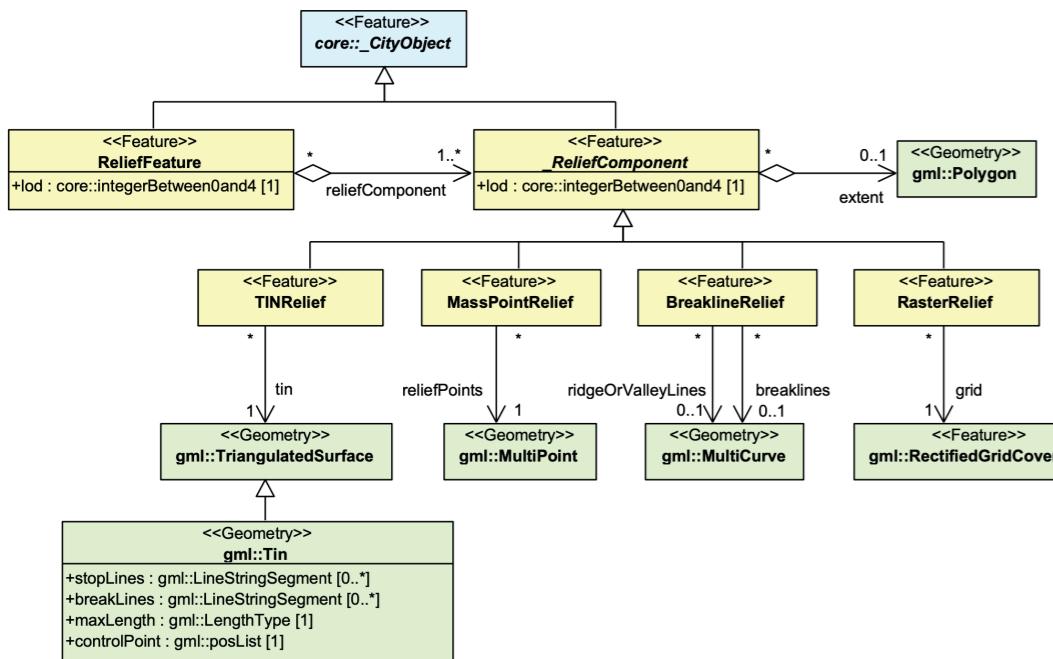
**The terrain model is an essential part of the city information model. A digital terrain model (DTM) works in the Relief extension module.**

CityGML 지형 모델

지형 모델은 도시 정보 모델에서 없어서는 안 될 부분이다. 수치 지형 모델(DTM)은 Relief 확장 모듈에서 작동한다. CityGML에서 지형 표면은 ReliefFeature로 표현되고, 정확도 레벨은 LoD 0-4가 될 수 있다. ReliefFeature는 하나 이상의 \_ReliefComponent 를 캐스로 구성된다. ReliefFeature와 \_ReliefComponent 는 \_CityObject 파생물이기 때문에 그 특성과 관계는 상속된다. ReliefFeature는 평행한 지면 타입, 즉 그리드 엘리먼트, 불규칙 삼각망(TIN), 윤곽선 또는 질량점으로 구성될 수 있다. 이러한 네 가지 타입은 그에 상응하는 지오메트리로 구현된다. 즉, 그리드는 RectifiedGridCoverage이고, 윤곽선은 MultiCurve이

고, 질량점은 MultiPoint이고, 삼각형은 Triangulated-Surface 또는 TIN이다.

CityGML 모델에서는 네 가지 타입의 지형 모델을 여러 가지 방법으로 결합할 수 있다. 첫째, 각 타입은 다양한 레벨의 정확도로 나타낼 수 있다. 둘째, 몇 가지 지형은 그리드와 윤곽선 또는 삼각형과 윤곽선 등 몇 가지 타입의 조합으로 기술할 수 있다. 셋째, 특정 영역을 다른 지형 모델 위 동일 평면에 나타낼 수 있고, 각 지형 모델은 특정한 공간 치수를 갖는다. 그리드 모델은 더 간단한 지형 형상을 나타낼 수 있을 정도로 충분히 정확한 경우가 많지만, 더 다양한 지형에서 CityGML 모델의 정확도 레벨에 그리드 모델이 필요하다면 TIN 모델을 사용한다.



UML diagram of the Digital Terrain Model in CityGML. Prefixes are used to indicate XML namespaces associated with model elements. Element names without a prefix are defined within the CityGML Relief module.

# Modelling the CityGML Terrain Model on a Theo- retical Level

## 이론적 차원에서 CityGML 지형 모델의 모델링

이 단계에서는 CityGML 모델에 대한 한 가지 대체 생성 프로세스를 이론적 차원에서 수행했다. 마지막 CityGML 지형 모델은 나중에 생성될 것이다. 지형 표현 데이터는 지형 모델의 CityGML 모델링에 사용되는 소스 데이터 역할을 한다. 지형을 가능한 한 정확하게 나타내기 위해 칼라사타마 프로젝트 지역의 CityGML 지형 모델은 불규칙 삼각망(TIN)으로 기술하기로 결정했다. 소스 데이터는 데이터를 CityGML 모델로 변환할 수 있는 FME 응용프로그램 등으로 읽을 수 있다. 왼쪽 그림은 CityGML 지형 모델의 첫 번째 라인을 나타낸 것이다.

```
<xml version="1.0" encoding="UTF-8">
<CityModel xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/cityml/2.0 ./CityGML_2.0/CityGML.xsd"
  xmlns="http://www.opengis.net/cityml/2.0" xmlns:xsi="urn:oasis:names:tc:cixs:schema:xAL:2.0"
  xmlns:app="http://www.opengis.net/cityml/appearance/2.0"
  xmlns:wr="http://www.opengis.net/cityml/waterbody/2.0"
  xmlns:gen="http://www.opengis.net/cityml/genetics/2.0"
  xmlns:luse="http://www.opengis.net/cityml/landuse/2.0"
  xmlns:hydr="http://www.opengis.net/cityml/hydratation/2.0"
  xmlns:grp="http://www.opengis.net/cityml/cluster/group/2.0"
  xmlns:veg="http://www.opengis.net/cityml/vegetation/2.0"
  xmlns:furniture="http://www.opengis.net/cityml/furniture/2.0"
  xmlns:link="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:tex="http://www.opengis.net/cityml/texures/2.0" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:exterior="http://www.opengis.net/cityml/bridge/2.0"
  xmlns:core="http://www.opengis.net/cityml/2.0"
  xmlns:dem="http://www.opengis.net/cityml/relief/2.0"
  xmlns:bldg="http://www.opengis.net/cityml/building/2.0">
<gml:boundedBy>
  <gml:Envelope srsDimension="3" srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG:3879">
    <gml:lowerCorner>25497328.48 6673825.36 -4.35</gml:lowerCorner>
    <gml:upperCorner>25499264.27 6676487.97 9.97</gml:upperCorner>
  </gml:Envelope>
</gml:boundedBy>
<core:cityObjectMember>
<dem:ReliefFeature gml:id="Terrain_Kalasatama">
  <dem:lod>3</dem:lod>
  <dem:reliefType>
    <dem:TINRelief>
      <dem:lod>3</dem:lod>
      <dem:tin>
        <gml:triangulatedSurface gml:id="PolyID1_Terrain_Kalasatama">
          <gml:trianglePatches>
            <gml:Triangle>
              <gml:exterior>
                <gml:LinearRing>
                  <gml:posList srsDimension="3">25497385.56
6673895.77 2 25497380.19 6673895 2
25497370.97 6673899.95 2 25497385.56
6673895.77 2</gml:posList>
                </gml:LinearRing>
              </gml:exterior>
            <gml:Triangle>
              <gml:exterior>
                <gml:LinearRing>
                  <gml:posList srsDimension="3">25497385.56
6673895.77 2 25497370.97 6673899.95
2 25497356.55 6673899.12 2 25497385.56
6673895.77 2</gml:posList>
                </gml:LinearRing>
              </gml:exterior>
            </gml:Triangle>
          </gml:trianglePatches>
        </gml:triangulatedSurface>
      </dem:tin>
    </dem:TINRelief>
  </dem:reliefType>
</dem:ReliefFeature>
</core:cityObjectMember>
```

## The first lines of the Kalasatama CityGML terrain model



# Production of the Terrain Model

The terrain of the Kalasatama area is part of the entire city-wide terrain model and the planned terrain model for the future.

## 지형 모델의 생성

칼라사타마 지역의 지형은 도시 전체 지형 모델과 미래를 위해 계획한 지형 모델의 일부다.

## 소스 데이터

지형 모델을 생성하는데 있어 가장 중요한 소스 데이터는 2017년 여름부터 레이저로 스캐닝한 포인트 클라우드였다. 레이저 스캐닝은 Terratec에서 550m 높이에서 50% 측면 커버를 이용해 Optec Titan 멀티채널 렌즈(파장 532/1064/1550nm)로 수행하였다. 포인트 밀도는 제곱미터 당 약 20포인트였다. 포인트 클라우드는 ASPR 분류에 따라 Terrasolid 소프트웨어를 사용해 기준 방법으로 분류하였다. 포인트 클라우드 클래스에서부터 지표면 특징점을 사용해 지형 모델을 생성했다.

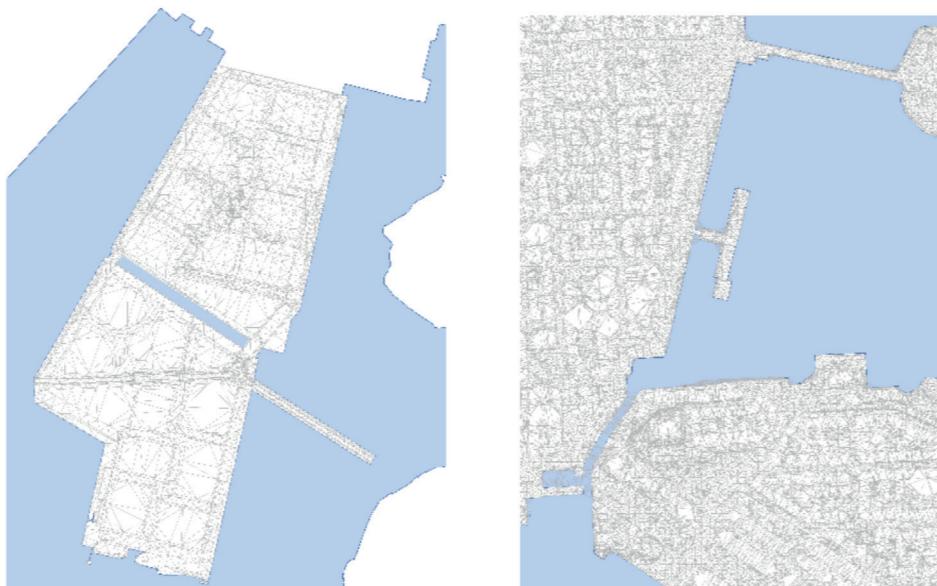
그리고 지형 모델을 분류하고 모델링하는 데는 기본 맵의 풋프린트 다각형, 수로, 교량 상판 데이터(교량 상판의 위치와 치수를 개략적으로 묘사한 CAD 형상의 2.5D 데이터)를 사용했다.

신축 지역의 지형은 평면도 기반 고도 데이터로 도출하였다. 그 외에는 결정된 기본 고도를 사용했다.

## 모델의 생성

칼라사타마 지형 모델은 그리드 모델 대신에 불규칙 삼각망(TIN)으로 구현하기로 결정했다. 모델을 더 상세하고 더 가볍게 만들기 위해서다. TIN 모델의 이점은 불과 몇 개의 삼각형으로 넓은 유사 지역을 구현할 수 있다는 것이다. 하지만 그리드 패턴은 그 영역의 특성에 관계없이 주어진 크기 범위에서 항상 동일한 갯수의 그리드 범위를 갖는다.

자기 테마로 표시되어야 하는 지역(삼각형)은 지형 모델에서 제거했다. 수역이 이 경우에 해당한다. 수역은 자기 객체로 개별적으로 모델링되기 때문이다. 건물의 경우에는 지형 모델을 열거나 통합할 수 있다. 그 선택은 여러분이 지면을 독립 객체로 보길 원하는지에 따라 달라진다.



Terrain model from the area in a planning stage  
The current stage terrain model

**Observations** 논평: 지형 모델은 CityGML 호환성이 있지만, 데이터베이스에 아직 CityGML로 추가되지 않았다. LoD3 레벨의 dem:TINRelief 객체는 머지 않아 지형 모델에서 생성될 것이다. 데이터베이스 운영, 분석 및 시뮬레이션이 성공할 수 있을 정도로 충분히 정확하면서도 가벼운 레벨을 찾는 것은 간단하지 않다. TINRelief 객체는 분해할 필요가 있는 표면(예: 경침과 수직면)을 제한한다.

## CityGML Land Use Areas

### CityGML 토지 이용 지역

LandUse 객체는 특정 토지 이용 지역을 기술하는데 뿐만 아니라 특정 토양/식생(모래, 바위, 산림, 목초지 등)을 가진 지역을 기술(즉, 외관을 기술)하는데도 사용할 수 있다. CityGML 모델에서 토지 이용과 토양은 모두 LandUse 클래스로 나타내지만 속성 데이터로 구체화된다.

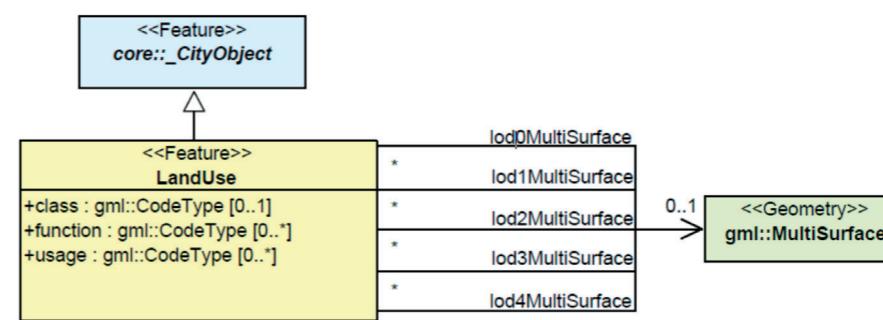
각 LandUse 객체는 class, function, usage 속성을 갖고 있어야 한다. Class는 토지 이용 지역(주거 지역, 공업 지역 등)을 나타내고, function은 토지 이용 지역의 목적(주거 지역 등)을 기술하고, usage는 지역의 용도가 토지 이용 카테고리와 다른 경우에만 사용된다.

LandUse 객체는 모든 LoD 레벨(0-4)에 지정되며, 그 지오메트리는 레벨에 따라 달라질 수 있다. LandUse 객체 지오메트리를 생성하려면 3D 좌표 정보가 필요하다. 또한 외관 기능을 사용할 수 있으려면 객체가 MultiSurface 객체어야 한다.

### 이론적 차원에서 CityGML 토지 이용 지역의 모델링

이 프로젝트 내에서는 CityGML 토지 이용 지역을 모델링하는 한 가지 프로세스를 계획하였다. 실제 모델링은 나중에 구현할 수도 있다. 칼라사타마 프로젝트 지역 내 토지 이용 지역의 CityGML 모델링은 토지 이용에 따라 분류된 프로젝트 지역으로부터 생성된 CityGML 지형 모델에 근거한다. 그 목적은 모든 지형 모델에 대한 토지 이용 정보를 얻는 것이다. 예를 들어 헬싱키시 공용 공간 명부에 포함된 정보를 분류해 사용할 수 있다. 가능성 있는 토지 이용 객체 그룹은 아래 표에 수록된 것이 될 수 있다.

아래 표에 따르면 토지 이용 지역은 5가지 카테고리(정착 지역, 저개발 지역, 교통, 식생, 물)로 분류할 수 있다. 공용 공간 명부는 도로와 녹지에 관한 정보를 제공하며, 기성 시가지에 관한 정보는 헬싱키시 오픈 데이터 WFS 서비스를 통해 얻을 수 있다. 공용 공간 명부는 오픈 데이터 WFS 서비스에서 구할 수 있다. 수역은 수 면적의 벡터 형태 데이터를 사용해 분류된다. 토지 이용 모델링에 사용되는 소스 데이터는 인터페이스에서뿐만 아니라 로컬 데이터 파일에서 직접 읽는다. 분류되지 않은 지역은 여전히 저개발 상태이다.



[OGC City Geography Mark-up Language (CityGML) Encoding Standard v2.0, <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>].

class_CodeSpace : class	Data source
1000 : Settlement Area	2D data from WFS service (area's of specific land plots)
1100 : Undeveloped Area	The remaining areas from terrain model
2000 : Traffic	Register of public spaces (streets)
3000 : Vegetation	Register of public spaces (green areas)
4000 : Water	Digitized waterbody in DGN format

The different classes of CityGML land use and source data used in classification

