

**АУТОМАТИЗОВАН ПОСТУПАК ИЗРАДЕ МОДЕЛА ОБЈЕКТА НА ОСНОВУ СИРОВОГ ОБЛАКА ТАЧАКА****AUTOMATED PROCESS OF CREATING MODELS OF OBJECTS BASED ON RAW POINT CLOUD**

Владимир Радуловић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Област – ГЕОДЕЗИЈА И ГЕОИНФОРМАТИКА**

**Кратак садржај** – У овом раду је описан поступак креирања модела и алата за аутоматизован поступак израде 3D модела објеката на основу сировог облака тачака. Креирање модела и алата извршено је у Model builder апликацији у оквиру ArcGIS Pro софтвера. За улазни податак модела коришћен је неклассификован облака тачака добијен LiDAR системом. Облак тачака, добијен системом за ласерско скенирање у ваздуху (Airborne laser scanning - ALS), классификован је у неколико класа: тло, високи и ниски шумови и зграде. На основу креираног DEM-а, тачака классификованих као зграде и формираних контура зграда, креирани су реалистични 3D модели објеката.

**Кључне речи:** Дигитални модел терена - ДМТ, Дигитални модел висина - ДМВ, Дигитални модел површи - ДМП, Облак тачака, Model builder

**Abstract** – This paper describes the process of creating a model and a tool for the automated process of creating 3D models of objects based on raw point cloud. Model and tool creation was performed in the Model builder application within the ArcGIS Pro software. An unclassified point cloud obtained by the LiDAR system was used for the input data of the model. The point cloud, collected by the Airborne laser scanning system (ALS), is classified into several classes: ground, high and low noises and buildings. Based on the created DEM, points classified as buildings and formed buildings footprints, realistic 3D models of buildings were created.

**Keywords:** Digital terrain model - DTM, Digital elevation model - DEM, Digital surface model – DSM, Point cloud, Model builder

**1. УВОД**

3D визуализација простора постала је незаменљива у просторном планирању и управљању градовима. Потреба за трећом димензијом и просторном анализом јавља се као резултат револуције у грађењу започете у 21. веку, када се постепено смањују традиционални начини изградње и почиње тежња ка што савременијим решењима која обухватају простор испод и изнад земље.

**НАПОМЕНА:**

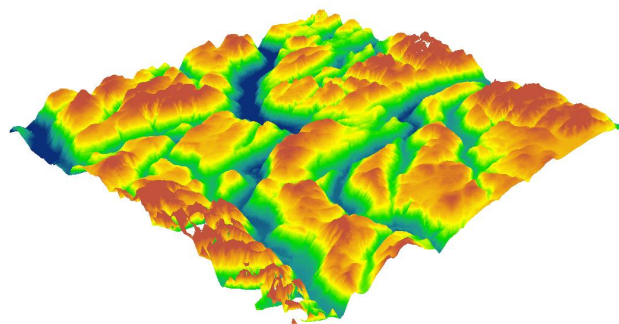
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Мирко Борисов, ванр. проф.

Такође, јавља се идеја паметних градова (Smart cities). Они представљају паметну, урбану будућност и као такви захтевају трећу димензију.

Просторни подаци су данас веома популарни и тражени. Због велике популарности овог типа података, високих захтева за тачност и актуелности, долази до њиховог све чешћег прикупљања. Прикупљени подаци имају велики информациони потенцијал. Мануелна обрада просторних информација је у принципу изузетно дуготрајна и немогуће је поновити са истим резултатима због људског фактора. Потпуно аутоматске методе обраде користе се са повећањем количине података које је потребно обрадити у краћим временским периодима. Тренутне аутоматске технике су још у развоју и могу само делимично искористити потенцијал података. Стварни потенцијал података обично није искоришћен. Ово питање је стога изазов за стручњаке из широког спектра дисциплина попут даљинске детекције, фотограметрије или рачунарске визије.

**2. ДЕФИНИЦИЈЕ И ТЕРМИНОЛОГИЈА****2.1. Дигитално моделирање терена**

Дигитално моделирање терена је омогућено изузетно брзим развојем компјутерске технологије. Дигитални модел висина - ДМВ (на енглеском: Digital Elevation Model - DEM или ређе Digital Height Model - DHM, назив који води порекло из Немачке), који се по правилу односи на систем висина у правилној мрежи тачака и обично је то правоугаони растер који прекрива површ терена (Слика 1.) [1].



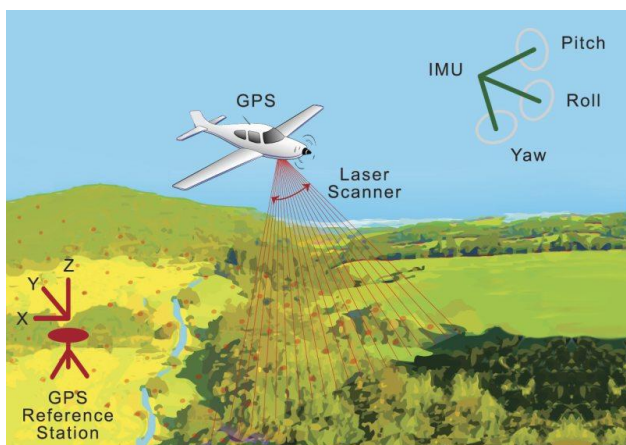
Слика 1. Дигитални модел висина

**2.2. Ласерско скенирање**

Ласерско скенирање терена представља модерну технологију за прикупљање просторних података у форми координата тачака у простору. Прикупљају се

информације о облику и евентуално изгледу објеката из реалног света. Прикупљени подаци се могу затим користити за конструисање дигиталних, дводимензионалних цртежа или тродимензионалних модела који имају широк опсег примене [2,3].

Ласерско скенирање у основи може да се подели на терестричко ласерско скенирање - *TLS* (енгл. *Terrestrial Laser Scanning*) и ваздушно ласерско скенирање - *ALS* (енгл. *Airborne Laser Scanning*). Терестричко ласерско скенирање још може да се подели на статичко и мобилно, међутим када се говори о ваздушном, оно може бити само мобилно ласерско скенирање. Првобитна употреба ласерских скенера била је на авионским платформама па се из тог разлога израз *LiDAR* више користи када се мисли на ласерско скенирање из ваздуха (Слика 2.) [2,3].



Слика 2. Компоненте *LiDAR* система

### 3. ФОРМИРАЊЕ И АНАЛИЗА 3D МОДЕЛА

#### 3.1. 3D моделирање облака тачака

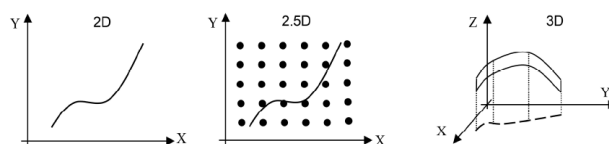
Моделирање, као општа научна метода означава представљање битних одредби неког објекта као целине, док је модел имитација, прототип или пројекција објекта - прошле, постојеће и могуће будуће реалности. Модели могу бити идеални или стварни.

У светлу технологије ласерског скенирања, моделирање инжењерског објекта означава представљање својстава објекта по димензијама, облику и текстури и неким додатним карактеристикама које зависе од таласне дужине ласера и рефлективности објекта [4].

Обзиром да се на основу експеримента добија облак тачака, који представља организоване и обрађене резултате опажања, то се облак тачака треба сматрати употребљивом информацијом. Може се рећи да облак тачака представља један од модела *3D* реалности, најчешће лимитиране употребне вредности, која се може унапредити побољшањем резолуције и моделирањем облака тачака [4].

Моделирање облака тачака представља наредни корак у обради података ласерског скенирања, након регистрације и геореференцирања. Историјски гледано, у геодетском инжењерству моделирање тачака се најчешће вршило у циљу израде дигиталног модела терена (ДМТ), при чему се као технологија прикупљања података подразумевала фотограметријска, тахиметријска или *GNSS* метода.

*3D* моделирање реалних објеката подразумева *3D* простор, при чему се и трећа димензија (најчешће вертикална компонента - *Z*) третира као независна променљива на исти начин као што се *X* и *Y* променљиве третирају у *2D* моделирању. У овој дефиницији је направљена јасна дистинкција *3D* моделирања у односу на *2D* моделирање. Међутим значајно је направити и јасну разлику у односу на *2.5D* моделе, који се традиционално користе за моделирање терена у геодетским и *GIS* софтверским алатима (Слика 3.) [3].



Слика 3. Разлике представљања објеката у *2D*, *2.5D* и *3D* простору

#### 3.2. Аутоматско моделирање облака тачака

Идеје и приступи који се узимају у обзир при решавању проблема конструкције геометрије имају два правца: стварање замишљене геометрије за виртуелне светове и реконструкцију геометрије каква постоји у стварном свету из измерених података. И комерцијалне и академске сфере истраживале су аутоматизовану реконструкцију геометрије из облака тачака, посебно пошто је моделовање ентеријера постало све значајније са преласком на *BIM* који захтева квалитетне параметарске моделе [5].

#### 3.3. Методе екстракције границе геометрије објекта

Извлачење граница је кључни почетни корак пре него што се на скупу података обаве сложенији задаци, попут сегментације. Више покушаја аутоматске реконструкције геометрије објекта из облака тачака користи алгоритам за детекцију граница, пре екстракције и/или препознавања [5].

Као сегментација и препознавање, методе детекције граница (ивица) развијају се у великом броју домена, попут медицине, геоматике, рачунарства итд. У почетку су се развијале за оптичко препознавање карактера и анализу слике, а касније су нашли свој пут у ширим применама.

Аутоматско моделирање објекта из података облака тачака обухвата много различитих домена. У више покушаја користиле су се различите методе сегментације са различитим резултатима.

#### 3.4. 3D модели градова

*3D* модел града је дигитални приказ Земљине површи и повезаних објеката у које спадају зграде, вегетација, шуме и садржаји направљени од стране човека, а који припадају урбаној средини. Постоје различити термини који се користе за *3D* градске моделе, неки од њих су: "*Cybertown*", "*Cybercity*", "*Virtual City*", или "*Digital City*" [6].

Слично као и традиционални *2D* скупови геоподатака, *3D* модели градова представљају апроксимацију стварног света. Квантитет и садржај градског модела

повезан је директно са будућим начином коришћења 3D модела града. Количина детаља која је обухваћена у 3D моделу, у смислу геометрије и атрибута, колективно се назива ниво детаља - *LoD*, што указује на то како је темељно моделована просторна величина као резултат. *LoD* је суштински концепт у *GIS*-у (енгл. *Geographic Information System*) и 3D моделовању градова. У суштини, *LoD* концепт је важан у свим корацима израде класичног 3D модела града, чак и пре било каквог прикупљања података. На Слици 4. приказане су неке од примера 3D модела градова са различитим нивоима детаља [6].



Слика 4. 3D модели градова са различитим нивоима детаља [6]

## 4. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

Задатак практичног дела рада је креирање модела, односно алата за аутоматизован поступак израде 3D модела објеката на основу сировог облака тачака. У оквиру алата извршена је класификација облака тачака, креиран *DEM*, а након тога је извршена екстракција геометрије објеката. Последњи корак био је креирање 3D објеката.

Коначни резултат представља скуп 3D објеката у векторском формату, као и 2D полигони креираних 3D објеката. У наставку рада описан је локалитет као и софтвер који је коришћен за креирање модела. Објашњен је креирани модел по сегментима и приказани су алати који су коришћени у моделу. На крају овог поглавља приказан је крајњи резултати добијен коришћењем улазних података.

### 4.1. О локалитету

*Tuborg Havn* или *Port of Tuborg* је marina са околним насељем мешовите намене у округу *Hellerup* у Копенхагену, Данска. Смештена на полуострву на северној страни залива *Svanemølle*, северно од границе са општином Копенхаген, резултат је преуређења бивше индустријске зоне пиваре *Tuborg Breweries* која је престала са радом 1996. године.

## 4.2. ArcGIS Pro софтвер

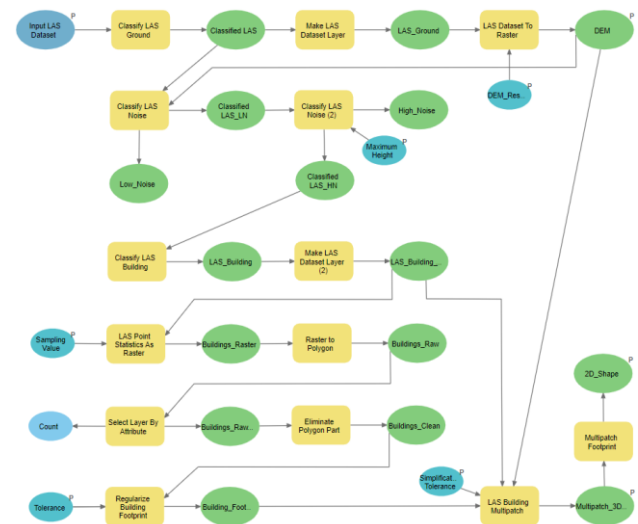
*ArcGIS Pro* је софтверски производ америчке компаније *ESRI (Environmental Systems Research Institut)*. Спада у категорију софтвера за *GIS*, који мења досадашњи *ArcMap*. *ArcGIS Pro* подржава визуализацију података, напредну анализу и ауторитативно одржавање података у 2D, 3D и 4D. Подржава дељење података између *ArcGIS* производа, као што су *ArcGIS Online* и *ArcGIS Enterprise*, и омогућава корисницима да раде преко *ArcGIS* система путем *Web GIS*-а.

### 4.2.1. Model builder

*Model builder* је апликација у оквиру *ArcGIS Pro* која се користи за креирање, уређивање и управљање моделима. Модели су радни токови који обједињују низ алата за геопроцесирање, користећи излаз једног алата као улаз у други алат. *Model builder* се такође може сматрати језиком визуелног програмирања за изградњу радних токова.

## 4.3. Опис креираног модела

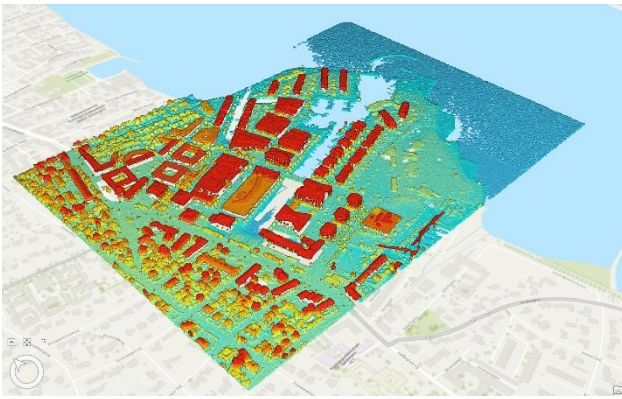
Креирани модел за извршавање задатка рада може се поделити у две целине које су међусобно повезане (Слика 5.). Главни резултат прве целине тј. првог дела модела представља *DEM*. У оквиру другог дела модела извршена је класификација облака тачака са циљем добијања тачака кровова зграда и обављена је обрада података. Коначни резултати другог дела модела представљају 3D модели објеката и 2D полигони у *.shp* формату са информацијама о максималној и минималној висини 3D модела објеката.



Слика 5. Изглед креираног модела

Подаци облака тачака су били раздвојени у два фајла, па их је било потребно спојити у јединствени фајл. Два *LAS* облака тачака потичу од пројекта којим управља влада Данске и чији је резултат *lidar* покривеност за целу земљу. Спајање ове две датотеке ивршено је креирањем новог *LAS dataset*-а (скупа података). Креирани *LAS dataset* под називом *Tuborg\_Havn.lasd*, који представља улазни податак приказан је на Слици 6.





Слика 6. Приказ креираног LAS dataset-a

Пре самог процеса креирања модела креиран је нови *Toolbox* у *Catalog* под називом *Building\_Extraction.tbx*. У оквиру *toolbox*-а креиран је модел под истим називом називом *Building\_Extraction*. Алати који су коришћени у оквиру првог дела модела су: *Classify LAS Ground*, *Make LAS Dataset Layer*, *LAS Dataset To Raster*, *Classify LAS noise*.

Резултат првог дела модела представља *DEM* креиран на основу тачака тла, након класификације облака тачака (Слика 7.).



Слика 7. Креирану DEM резолуције 0,5 m

Након класификације шумава, у другом делу модела извршена је класификација зграда, односно тачака које дефинишу кровове и спроведена је додатна обрада података да би се добио коначни резултат у векторском формату који садржи 3D моделе објеката. Алати који су коришћени у оквиру другог дела модела су: *Classify LAS Building*, *Make LAS Dataset Layer*, *LAS Point Statistics As Raster*, *Raster to Polygon*, *Select Layer By Attribute*, *Eliminate Polygon Part*, *Regularize Building Footprint* (Слика 8.), *LAS Building Multipatch*, *Multipatch Footprint*.



Слика 8. Buildings\_Footprints

#### 4.4. Приказ добијених резултата

Креирани *multipatch layer* са реалистичним 3D моделима објеката и са креираним *DEM*-ом постављеним као референца површине тла приказан је на Слици 9.



Слика 9. Multipatch\_3D\_buildings

#### 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду формиран је модел, а касније и алат за креирање аутоматизованог поступка израде 3D модела објеката на основу облака тачака. Основни циљ је био да се креира алат који је универзалан. На тај начин алат могу користити сви корисници којима је потребан. Такође, постоји и могућност за слободан избор улазних и излазних параметара, а најважније улазног *LAS dataset*-а, тј. облака тачака.

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Li, Zhilin & Zhu, Qing & Gold, Christopher. (2005). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. 10.1201/9780203357132.
- [2] Милованов, С.: Приказ 3D модела градова у системима виртуелне реалности, Мастер рад, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Нови Сад, 2018.
- [3] Радовановић, У.: Векторизација 3D модела објеката на основу облака тачака, Мастер рад, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Нови Сад, 2016.
- [4] Пејић, М. М.: Тачност моделирања објеката технологијом терестричког ласерског скенирања, Докторска дисертација, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд, 2013.
- [5] Thomson, C.: *From Point Cloud to Building Information Model - Capturing and Processing Survey Data Towards Automation for High Quality 3D Models to Aid a BIM Process*, PhD Thesis, UCL Civil, Environmental and Geomatic Engineering, London, 2016
- [6] Biljecki, F. (2017): *Level of detail in 3D city models*. PhD thesis, TU Delft, 353 pp. doi: <https://doi.org/10.4233/uuid:f12931b7-5113-47ef-bfd4-688aae3be248>

#### Кратка биографија:



Владимир Радуловић рођен је у Краљеву 1997. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Геодезија и геонформатика – Дигитални модели терена одбранио је 2021. Контакт: radulovicvlado97@gmail.com