

3D lāzerskeneri un bezpilota lidaparāti

Māris Kaļinka asoc.prof.

Ints Lukss



Skrunda

2018. gada 07.februāris



LLI – 303, “Dzīve tīrākā vidē – labākai nākotnei !”
(Life in Clean Environment – a Better Future !)
Acronym “Clean Brownfields”



Tehnoloģija



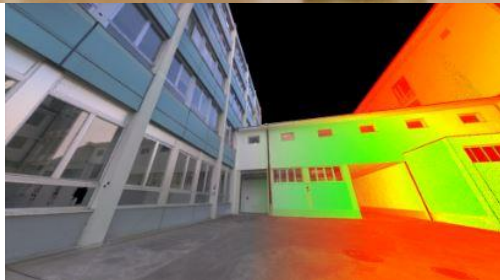
Lāzerskenēšana



Punktu mākonis



Bezpilota
lidaparāti



Īss atskats uz tehnoloģijas attīstību

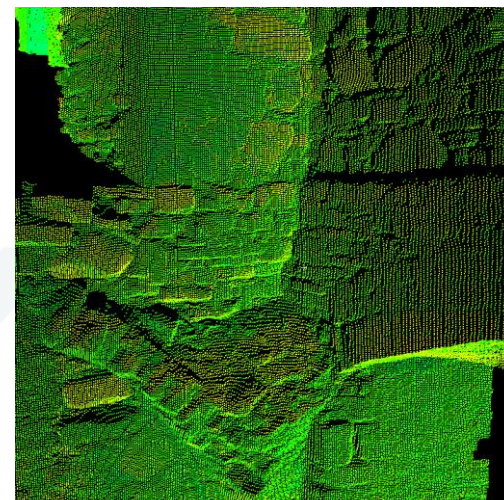
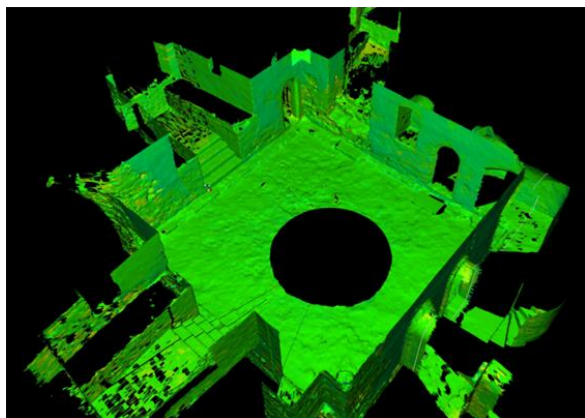
līdz 1998.gadam

1998.Gads -digitālo fotogrāfiju izmantošana ģeometrijas informācijas iegūšanā



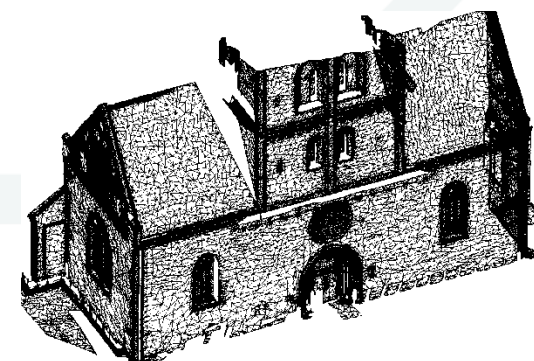
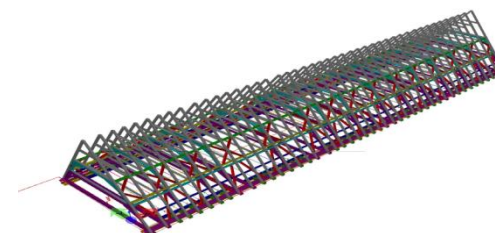
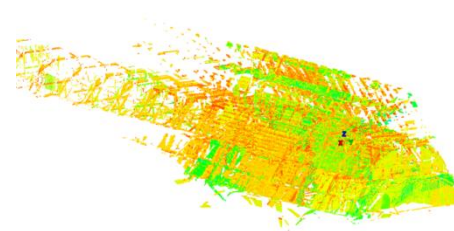
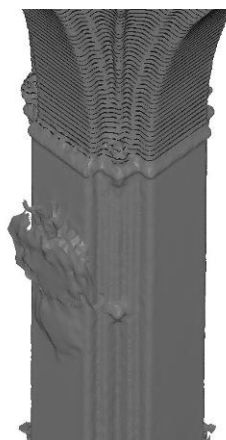
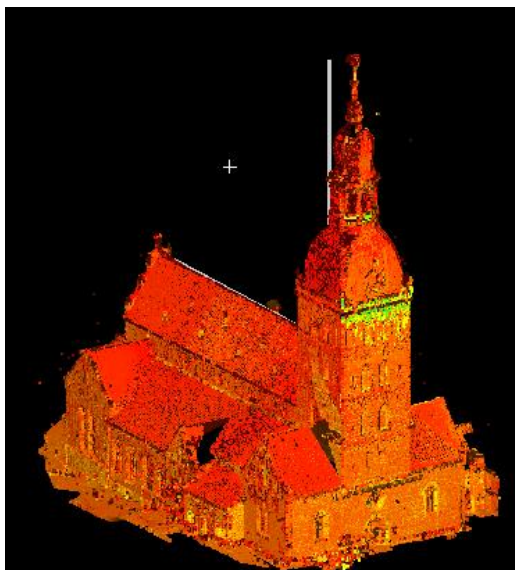
2002.-2006.gads

2002.Gads-2006.gads -3D lāzerskenēšanas iesākumi Latvijā



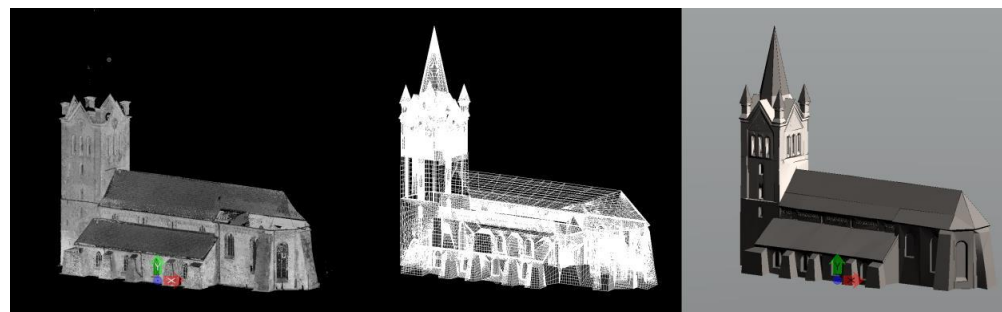
2006.gads

2006.Gads -3D lāzerskenēšanas ienākšana Latvijā



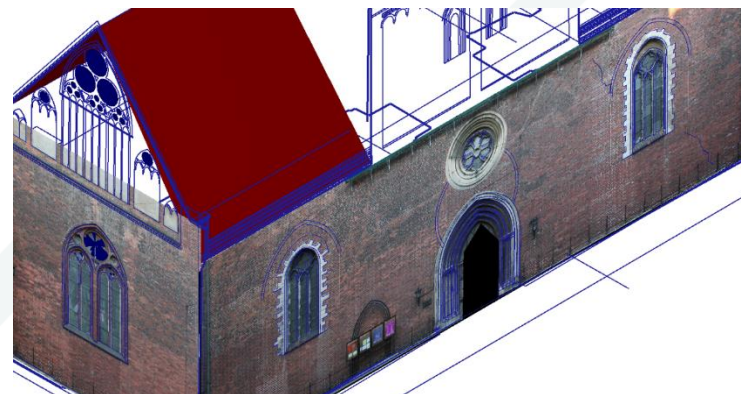
2008.-2016.gads

2008.Gads-2016.gads -3D modeļu veidošana no 3D lāzerskenēšanas datiem



2016.gads

2010-2016.Gads –nekur nav pazuduši digitālie attēli-



2016 gads

2015-2016.gads –pilnvērtīgi sāk pielietot bezpilota lidaparātu izmantošana arhitektūras dokumentēšanā, ģeometrijas iegūšanai.



2019.gads

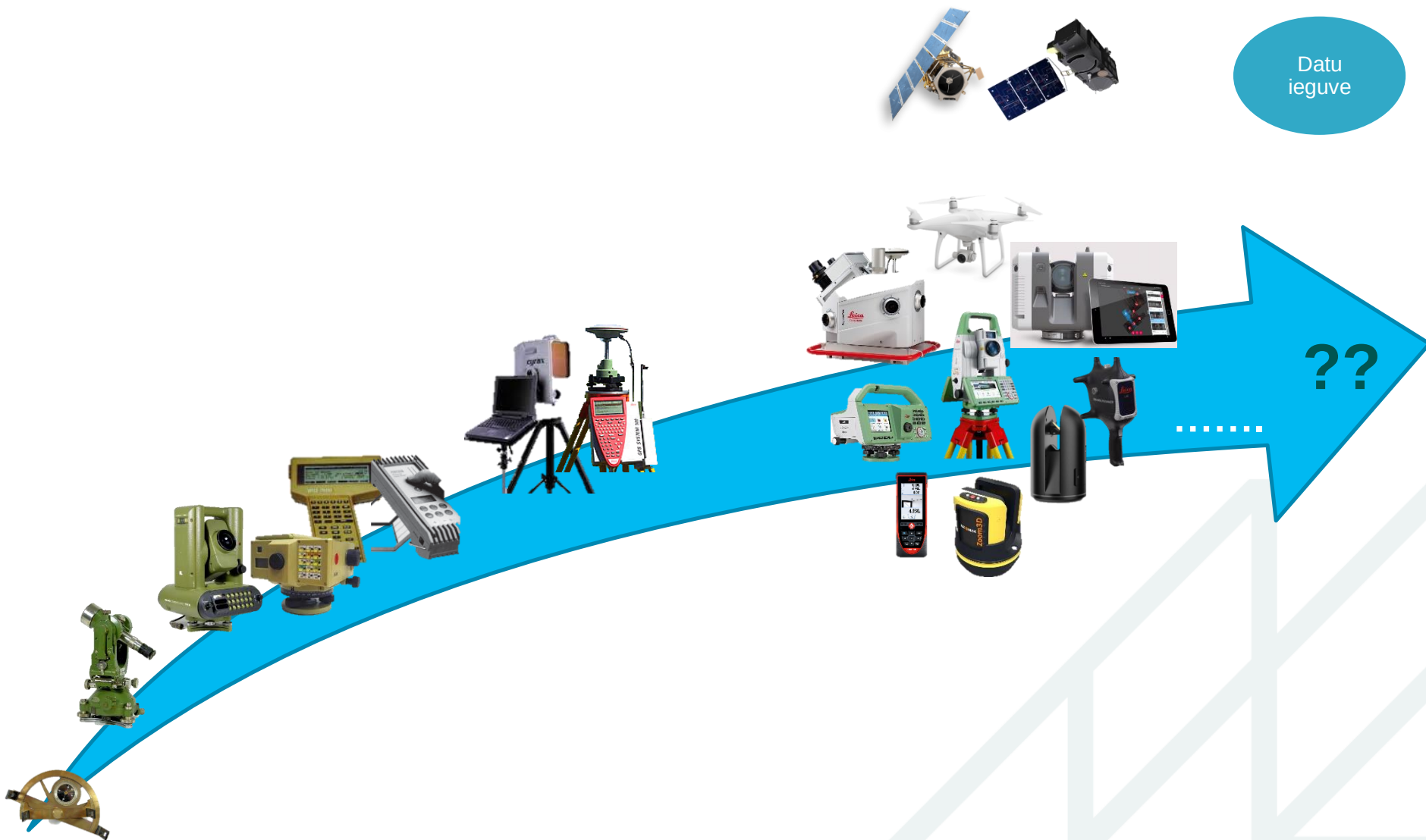
2012-2019.gads –praktiski jebkurā jomā un ar jebkuru precizitāti,jebkura lieluma 3D
lāzerskeneri



2019.gads

2015-2019.gads -3D druka





Kas ir 3D lāzerskenēšana?

Lāzerskenēšana ir bezkontakta jeb attālinātās uzmērīšanas tehnoloģija, kas ļauj fiksēt objekta ģeometriju.

Citādāk sakot, tas ir veids kā iegūt objekta izmēra un formas precīzu trīsdimensionālu (3D) attēlojumu.



Lāzerskenēšanas veidi

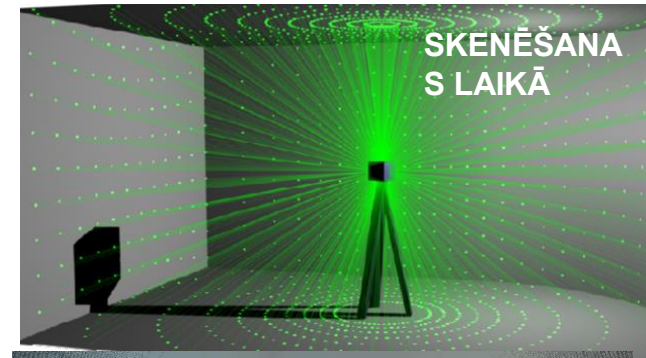
- Statiskā lāzerskenēšana
 - Terrestiskā lāzerskenēšana
- Dinamiskā lāzerskenēšana
 - Ar mobilo rokas skeneri
 - Ar mobilo kartēšanas sistēmu
 - Ar LIDAR

Lāzerskenēšanas veidi

- Lāzerskenēšanas veidi:
 - Statiskā lāzerskenēšana:
 - Terrestiskā lāzerskenēšana no fiksētas pozīcijas:

Klasiskākais un populārākais lāzerskeneru veids, kas pamatojams ar daudzveidīgu pielietojumu. Piemērota samērā kompaktu, lokālu objektu uzmērīšanai kā ēkas, tilti, konstrukcijas u.c.

Nodrošina pāris milimetru precizitāti.



Lāzerskenēšanas veidi

- Lāzerskenēšanas veidi:
 - Dinamiskā lāzerskenēšana:
 - Mobilās rokas lāzerskenēšana:

Tiek izmantots neliela izmēra un svara rokā pārnēsājams lāzerskeneris, kas ļauj ātri uzmērīt nelielas detaļas vai objektus, saglabājot augsto 1 mm precizitāti datiem.



Lāzerskenēšanas veidi

- Lāzerskenēšanas veidi:
 - Dinamiskā lāzerskenēšana:
 - Mobilā lāzerskenēšana:

Kompleksa, vairāku iekārtu sistēma, kas tiek montēta uz dažādiem pārvietošanās līdzekļiem (auto, vilciens, laiva) un ļauj noskenēt apkārtni kustības laikā. Datiem nodrošina pāris centimetru precizitāti.



Lāzerskenēšanas veidi

- Lāzerskenēšanas veidi:
 - Dinamiskā lāzerskenēšana:
 - LIDAR jeb aerolāzerskenēšana:



Šī metode paredz lāzerskenēšanas iekārtas montāžu uz pilota/bezpilota lidaparāta. Labs risinājums lielu teritoriju apzināšanai, kā arī zonās ar izteiktu veģetāciju, jo iegūst mērījumus arī zem kokiem.

Iegūtie dati sasniedz vairāku centrimetru precizitāti.

Kā darbojas 3D lāzerskenneris?

- **Melnbalts** punktu mākonis sastāv no vairākiem miljoniem uzmērītu punktu, kur katram ir XYZ koordināta;
- **Krāsains** punktu mākonis sastāv no šiem pašiem punktiem, kur katram ir piešķirtas ne tikai koordinātas XYZ, bet arī krāsas vērtība no fotogrāfijām, kuras tika uzņemtas skenēšanas laikā.

Kas ir 3D lāzerskenēšana?

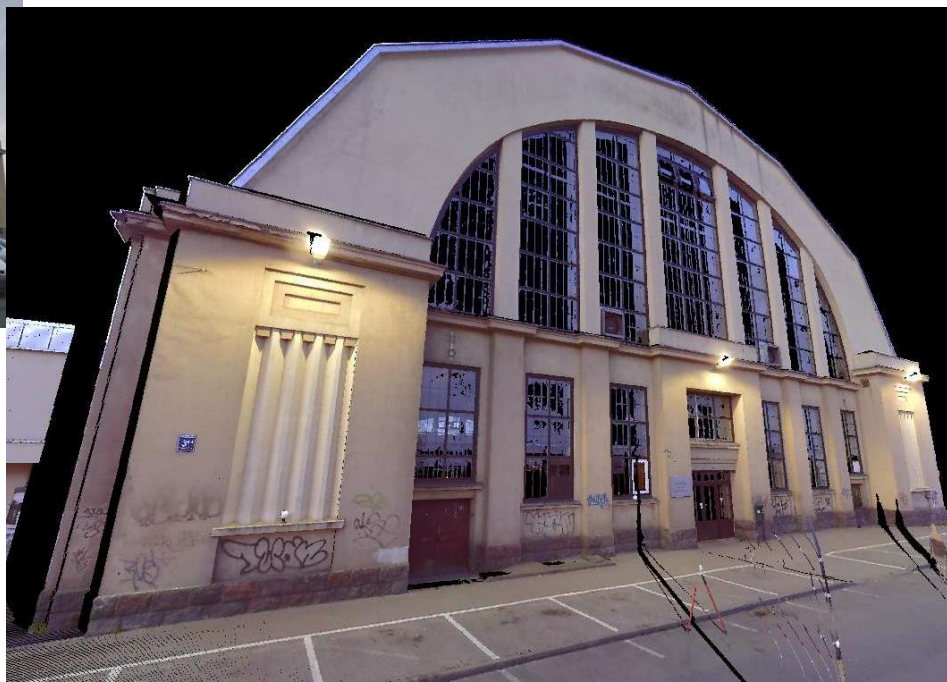


+



Fotogrāfijas

=



3D lāzerskenēšanas produkti

- Punktu mākonis (krāsains/melnbalts) $\div 5$ mm

Mērāma punktu kopa, kas sastāv no vairākiem miljoniem, miljardiem uzņēmītu punktu. Katram no tiem ir XYZ koordināta un krāsas informācija, jo punktu mākonis ir RGB jeb reālajās krāsās.

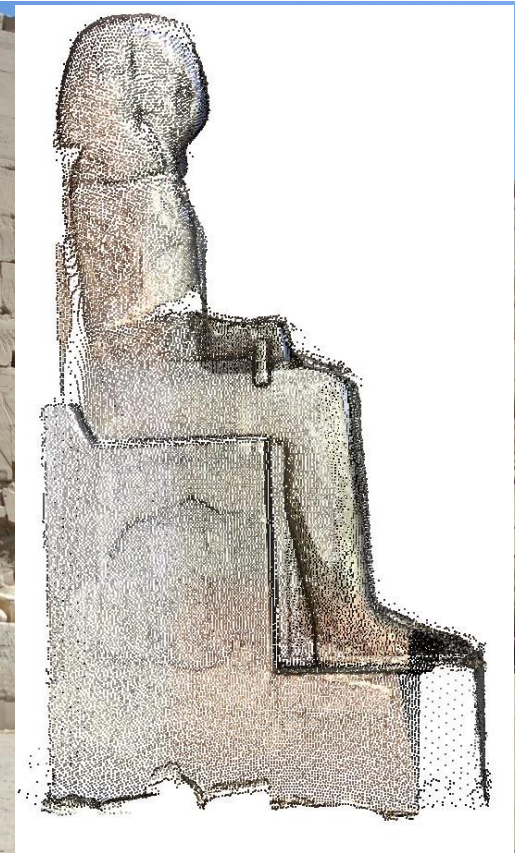
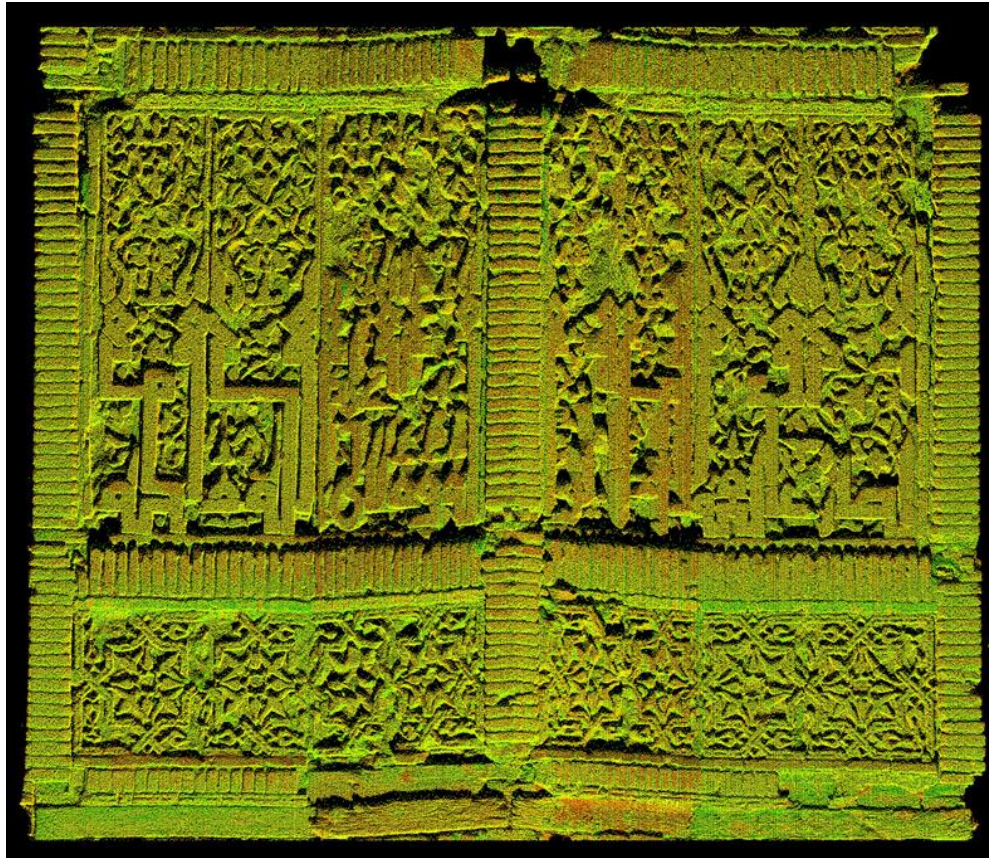
PAMATDATI!



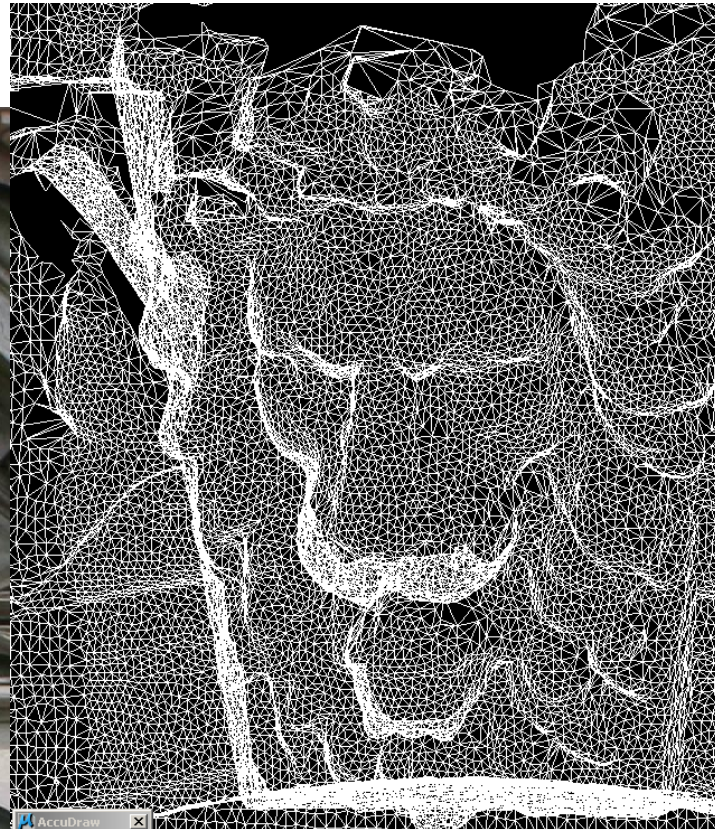
Punktu mākonis (krāsains/melnbalts) 3-4 mm



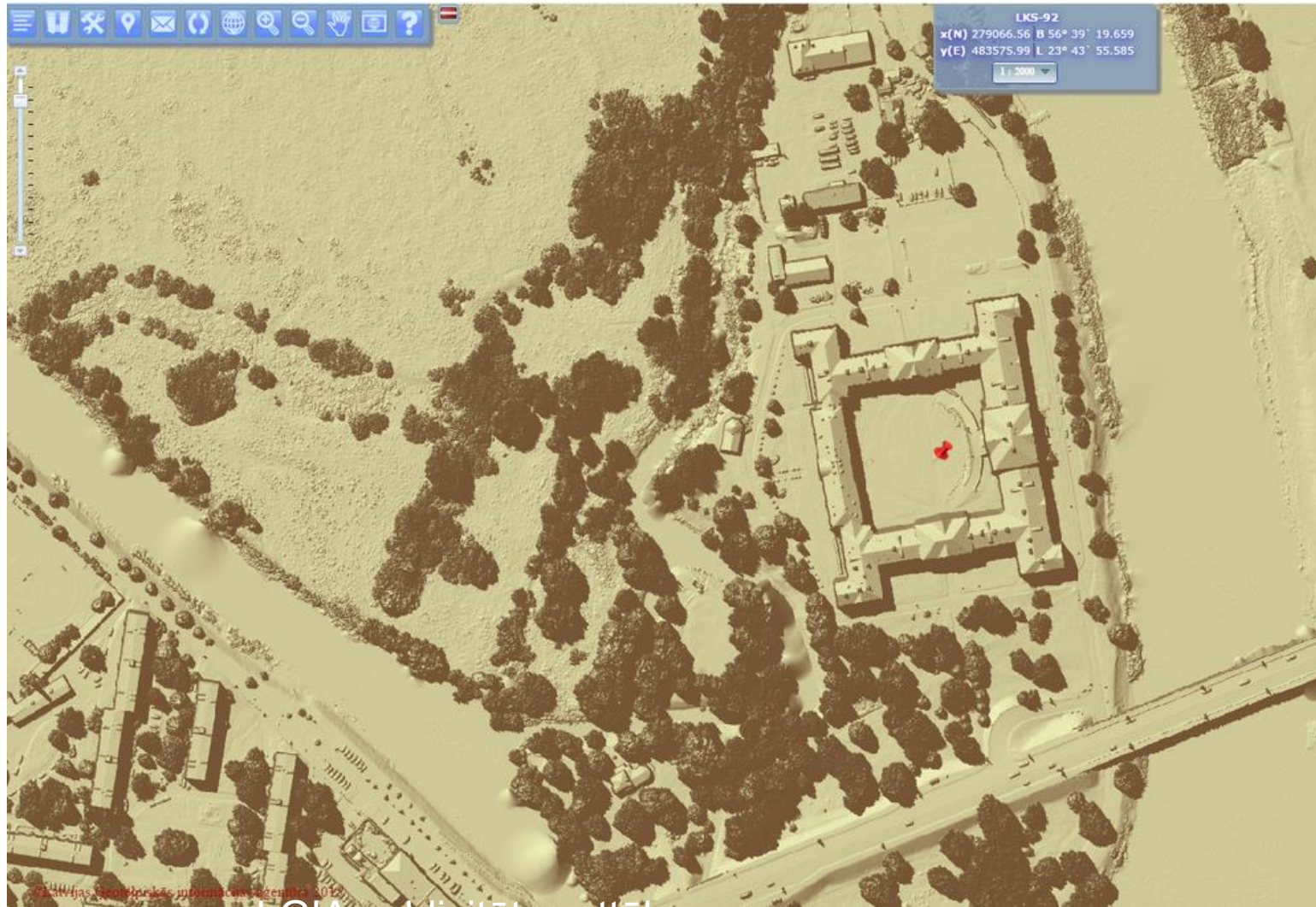
Punktu mākonis (krāsains/melnbalts) 1-3 mm

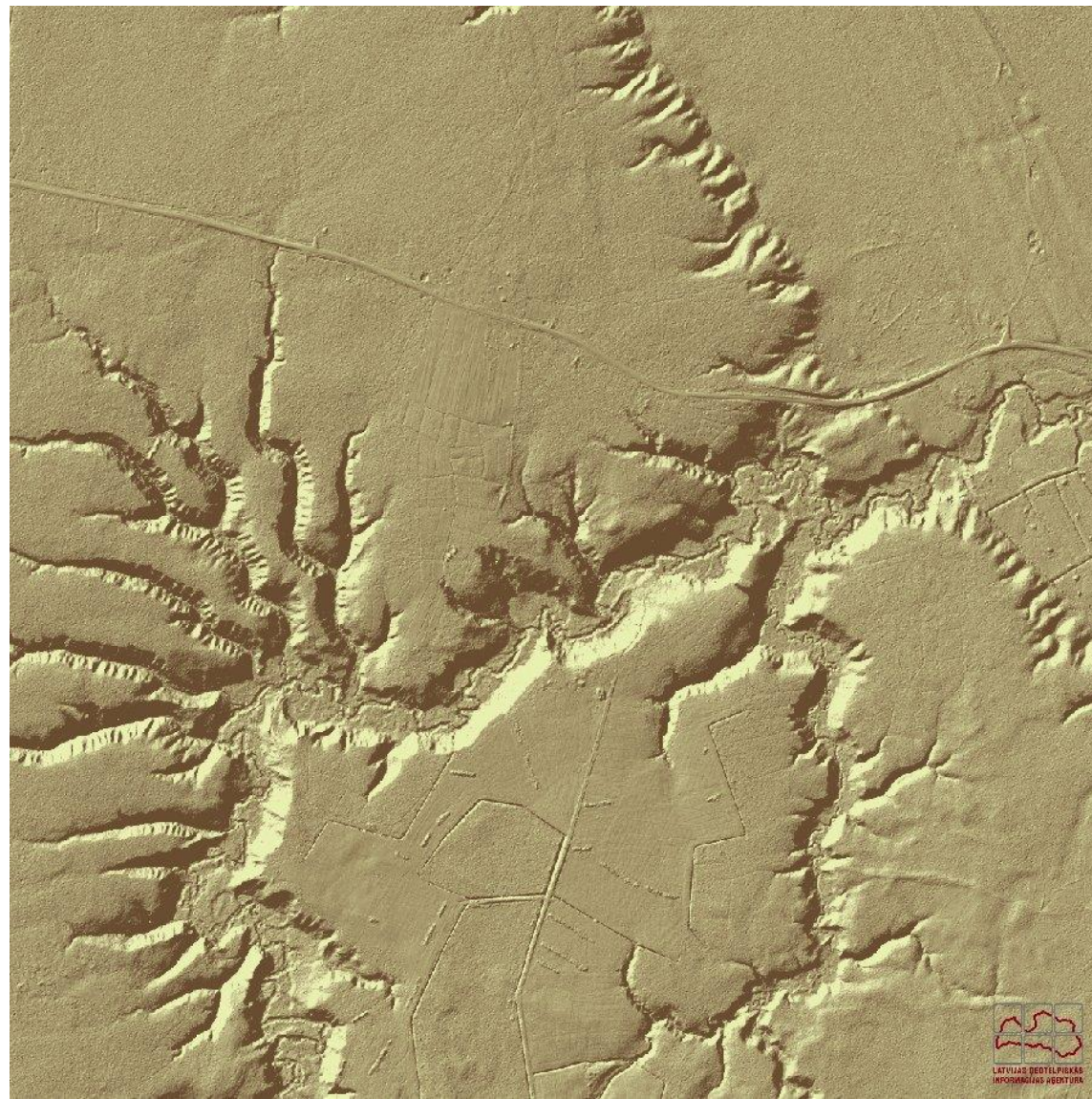


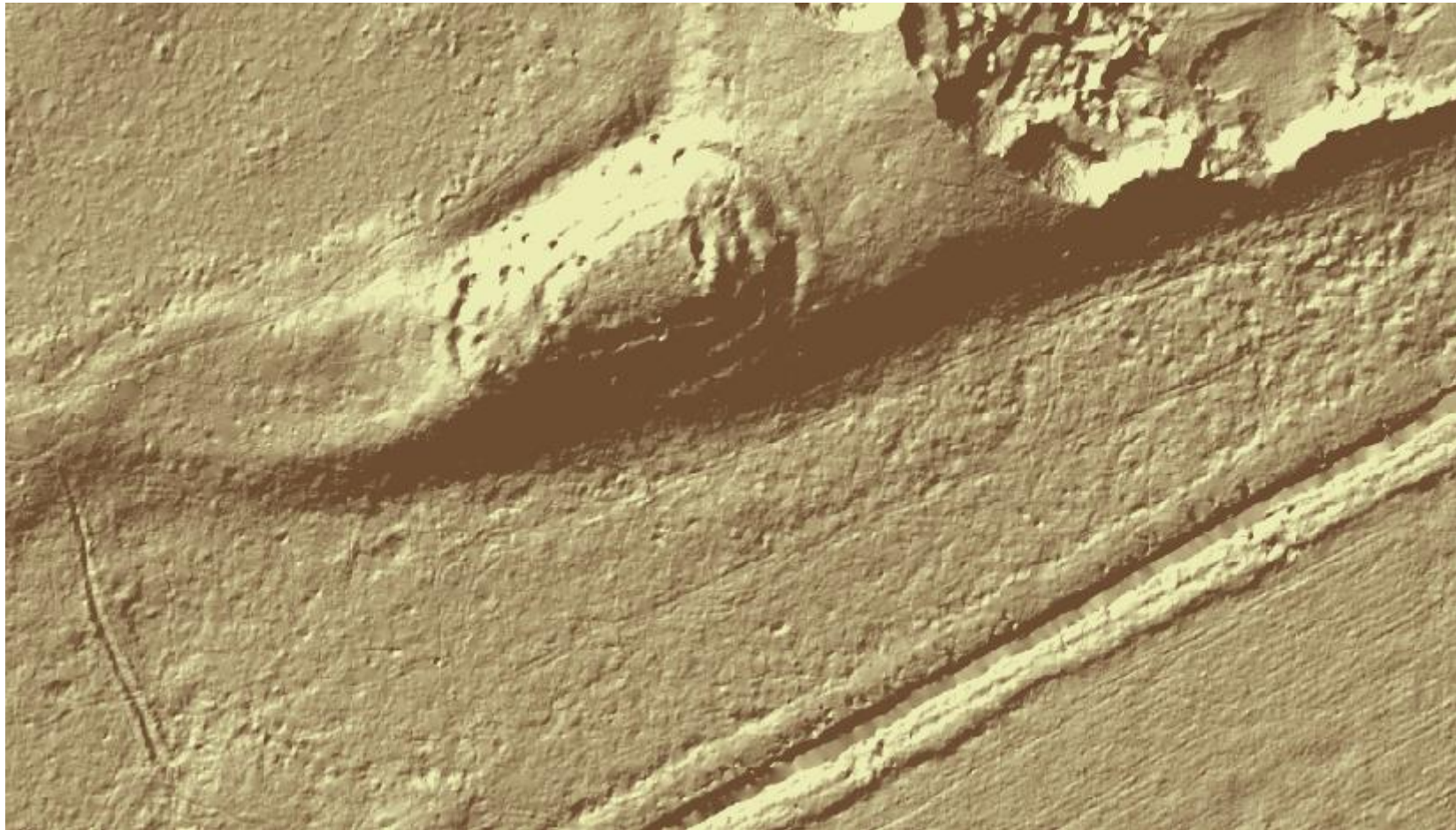
Virsmas modelis ± 1 cm



Virsmas modelis reljefam un apvidum







3D lāzerskenēšanas produkti

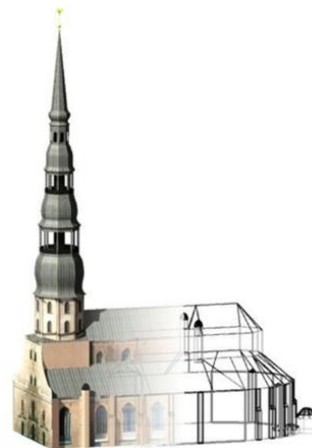
- Šķērs griezumi

Punktu mākonim var veidot šķērs griezumus pa jebkuru asi vai jebkurā virzienā. Skenēto datu šķelšana ar horizontālu plakni ir ātrākais veids kā iegūt telpu vai konstrukciju plānus, pārskatus un izmērus.

Šķeļot datus ar plakni jāņem vērā šīs plaknes biezums. Jo tas būs mazāks, jo precīzāk varēs izvēlēties vajadzīgo punktu.

Šķērsgriezumi, izmēri



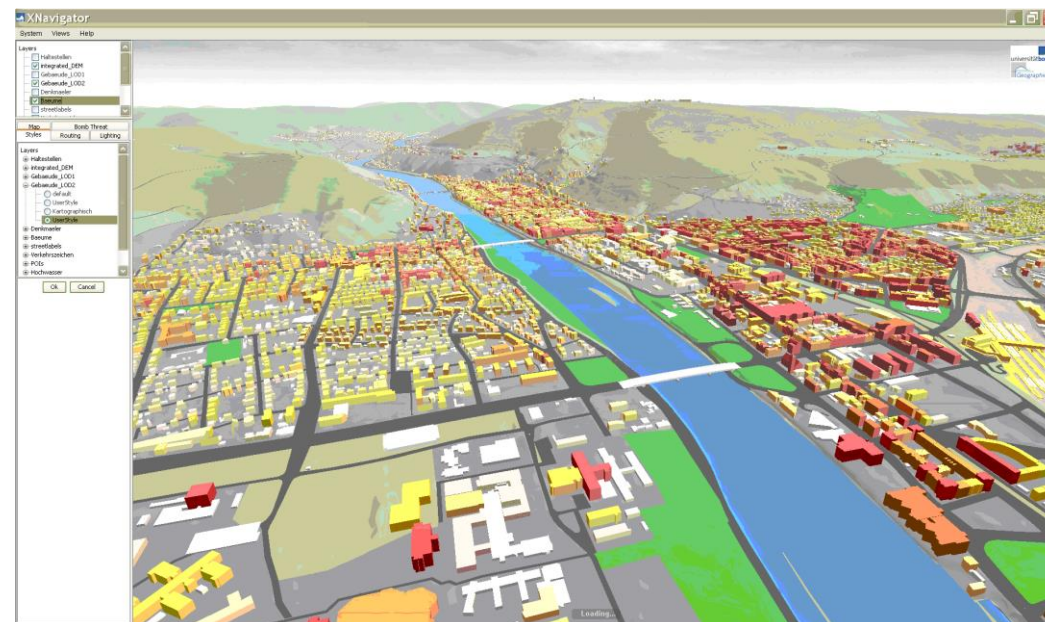


Modernās metodes teritorijas kartēšanā . Realitātes modelēšana.



Realitātes 3D modelēšana

- Datorgrafikas terminoloģijā: 3D modelēšana ir objekta jebkuras virsmas matemātiskās reprezentācijas izstrāde 3 dimensijās ar specializētas programmatūras palīdzību.
- Reālās pasaules vai realitātes modelēšana tiek veikta, izmantojot reālā pasaulē veiktus mērījumus.



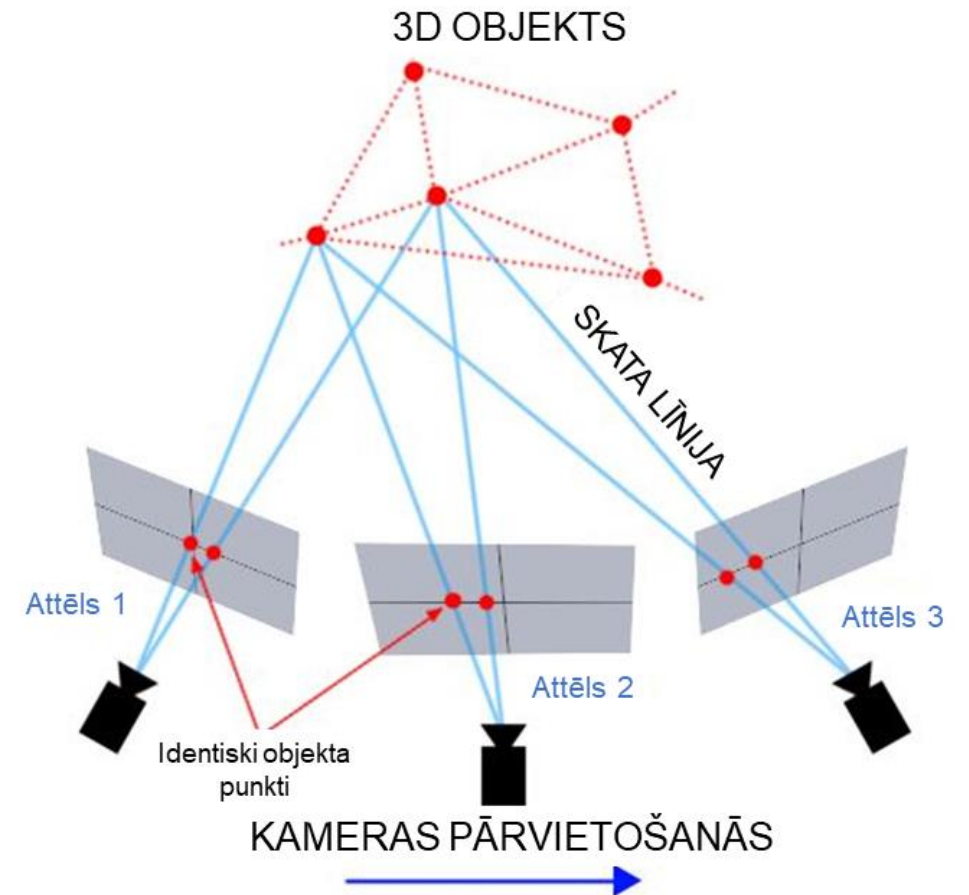
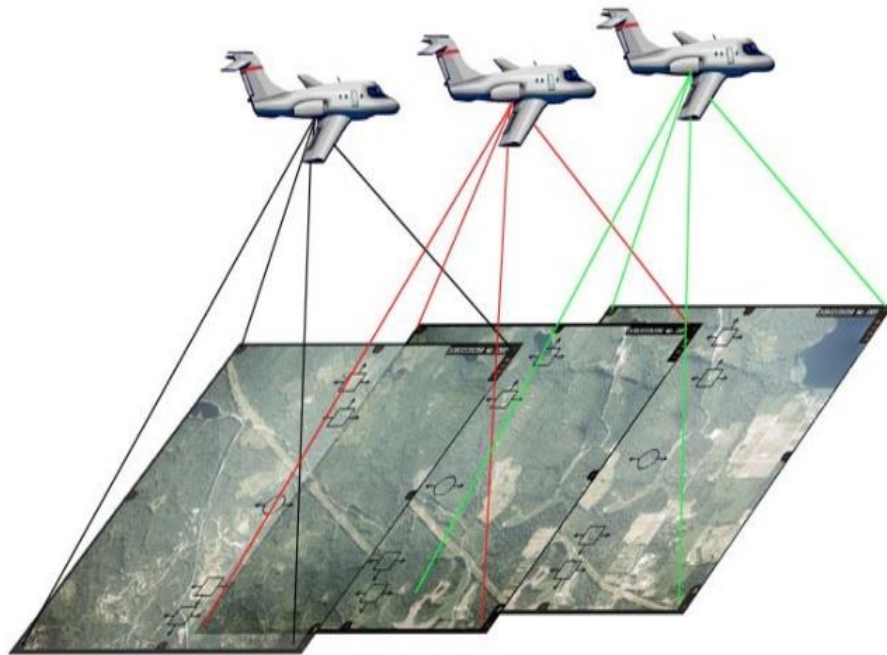
Realitātes izgūšana

- Datu izgūšanai par reālo vidi un tās objektiem šobrīd galvenokārt izmanto divas metodes:
 - **Lāzerskenēšanu** (LIDAR): attālumu un leņķu mērīšana ar telpu skenējošu lāzera staru, kas dod miljoniem telpisku lokalizētu punktu – punktu mākonī. Tā ir tieša mērīšanas metode.
 - **Fotogrammetriju**: analizē reālās vides attēlus, kas ir uzņemti no vairākiem skatu punktiem, un automātiski detektē pikselus attēlā, kuri atbilst vienam un tam pašam fiziskam punktam. No daudzām šādām atbilstībām nosaka attēlu relatīvo orientāciju un fotografēto objektu 3D modeli. Tā ir netieša mērīšanas metode.



Fotogrammetrijas pamatprincipi

Analizē reālās vides attēlus, kas ir uzņemti no vairākiem skatu punktiem vai kustībā



Tuvas distances fotogrammetrija

Tuvas distances fotogrammetrija: attālums līdz mērāmai virsmai vai objektam mazāks par 300 m.

- Dažādu digitālo kameru izmantošana: kompaktkameras, spoguļkameras, bezspoguļu kameras, videokameras, iebūvētās kameras, drona kameras.
- Dažādas attēlu uzņemšanas metodes: no zemes, no zemes transporta līdzekļiem, no drona pārlidojumiem, no aplidojumiem; dažādas šo metožu kombinācijas.
- Automātiska attēlu uzņemšanas plānošana un izpilde (drone pilotēšana).

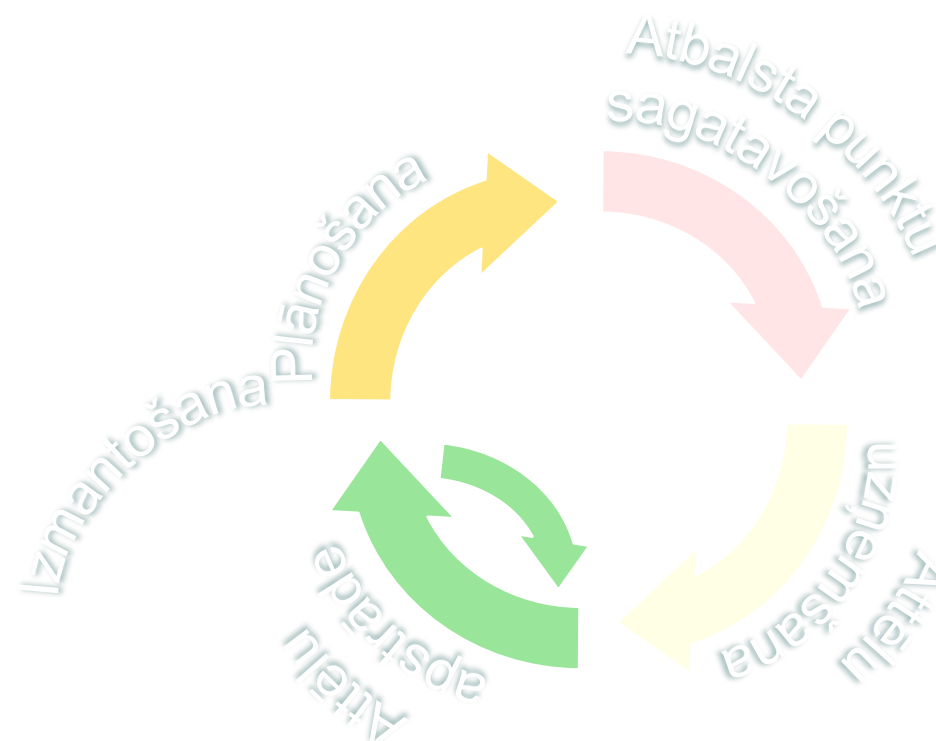


Fotogrammetrijas darba plūsma

1. Attēlu uzņemšanas plānošana
2. Atbalsta punktu marķēšana un uzmērīšana
 - Nav obligāta, bet ir nepieciešama absolūtās precizitātes nodrošināšanai
3. Attēlu uzņemšana



4. Attēlu automātiska apstrāde
 - Aerotriangulācijas veikšana (saistpunktu noteikšana, attēlu pozicionēšana un orientēšana, ainas ģeotelpiskā piesaiste), 3D modeļa ģenerēšana, nepieciešamo datu produktu ģenerēšana (3D punktu mākonis, ortofoto karte, DSM)
5. Iegūto ģeodatu tālāka apstrāde un rezultātu izmantošana

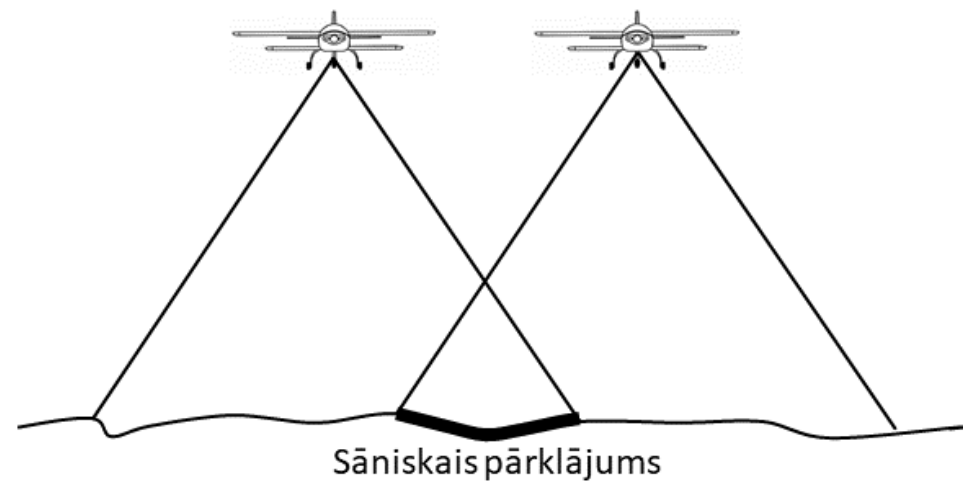
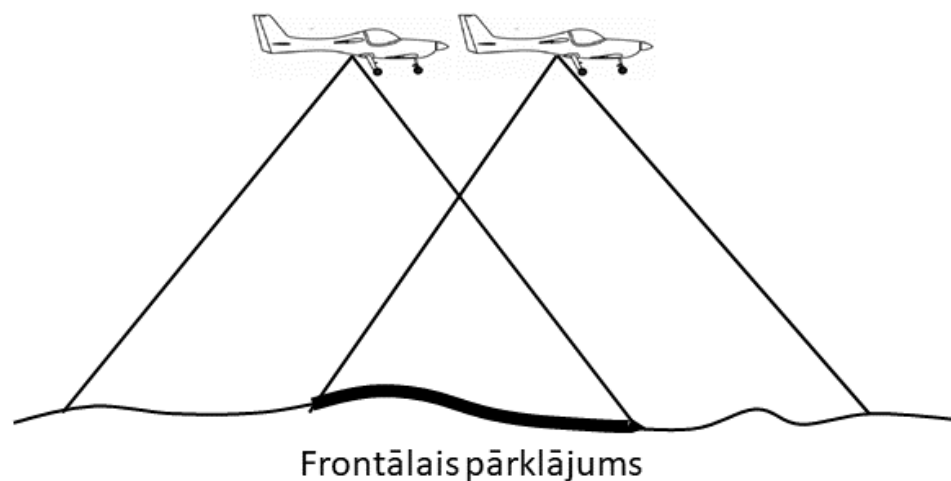


Attēlu uzņemšanas plānošana

- Uzņemšanas plānošana ir ļoti svarīgs etaps, lai nodrošinātu pietiekamu iegūto attēlu pārklājumu un informatīvo saturu attiecībā uz apvidus objektiem
- Uzņemšanas plāni lielā mērā ir atkarīgi no reālās vides vai fizisko objektu īpatnībām: klajš apvidus ar reljefu, teritorijas ar blīvu veģetāciju (mežs), apbūvētas teritorijas, atsevišķas būves, lineāri koridora objekti (ceļi, dzelzceļi), augsti vertikāli objekti (torņi, skursteņi, masti), iekštelpas
- Katram objekta tipam ir jāizvēlas piemērotākais plāns un tā parametri, no kuriem svarīgākie ir:
 - attālums līdz objektam vai lidojuma augstums
 - pārklājuma lielums starp blakus attēliem
 - kameras orientācija
- Plānošanas procesa veikšanai uzņemšanai ar dronu ir noderīgas tādas programmas kā Drone Harmony Mission Planner, Pix4Dcapture, DroneDeploy u.c. Šīs programmas nodrošina arī drona lidojuma automātisku vadību.

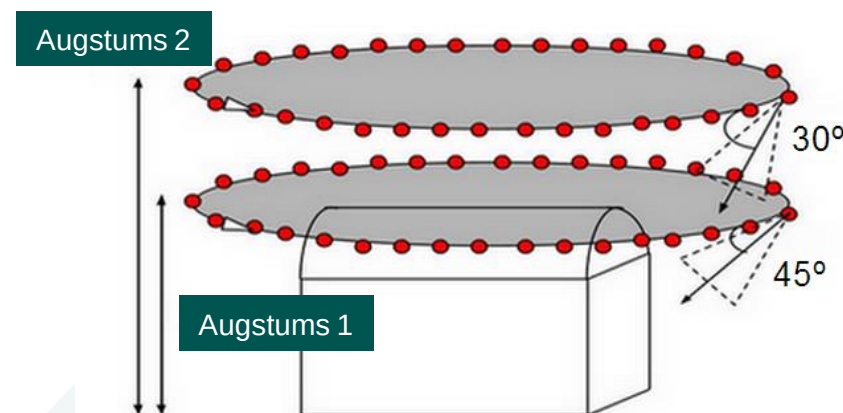
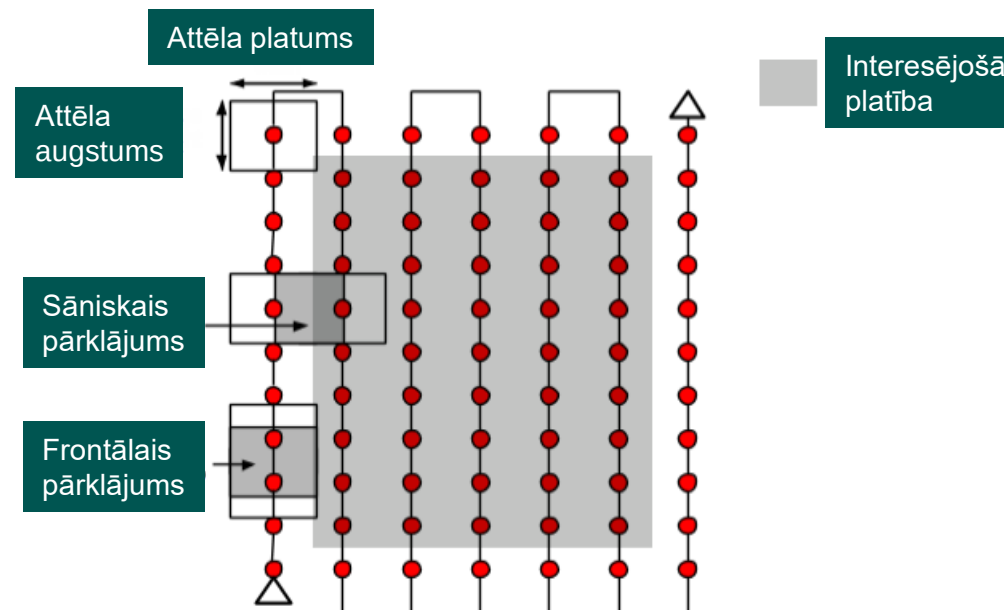
Frontālais un sāniskais pārklājums

- Attēlu pārklāšanās rādītājs kameras kustības virzienā un starp maršruta blakus līnijām.
- Piemērojams arī uzņemšanai no zemes un objekta aplidojumos.
- Norāda procentos (%).



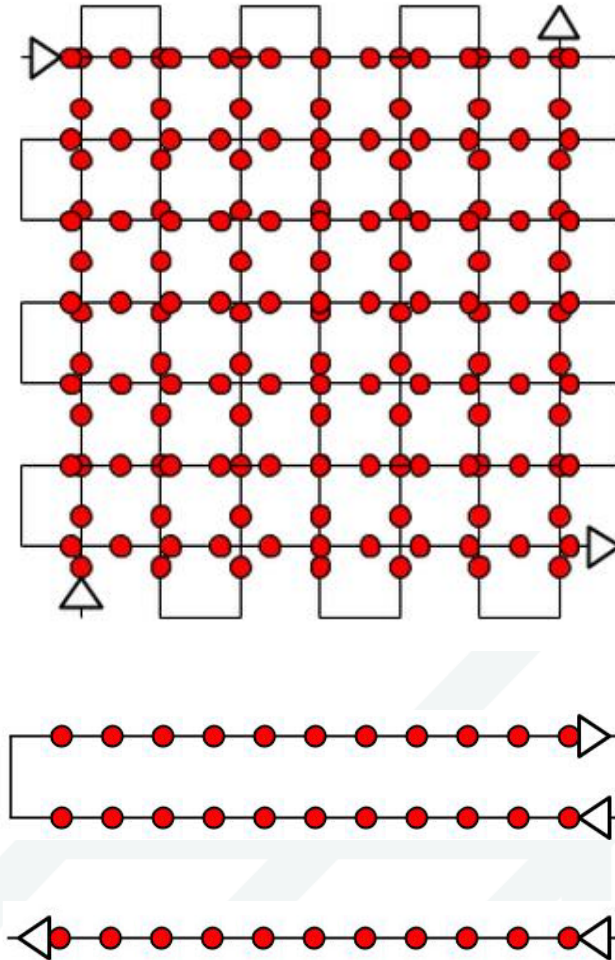
Uzņemšanas plāni (1)

- Režģa plāns ar vertikālu skatu (*Nadir*)
 - Optimāls platībām un virsmām
 - Rezultāts: ortofoto, digitālais reljefa modelis
 - Prasības:
 - Vismaz 75% frontālais pārklājums
 - Vismaz 60% sāniskais pārklājums
 - Pēc iespējas regulārs režģis un konstants augstums
- Aplidojumu plāns ar slīpu skatu (*Oblique*)
 - Optimāls ēkām, atsevišķiem objektiem
 - Rezultāts: punktu mākonis, 3D modelis
 - Prasības:
 - Viens attēls ik pa 5-10°
 - Vairāk attēlu uz ēkas stūriem



Uzņemšanas plāni (2)

- Dubultrežģa plāns ar slīpu skatu
 - Optimāls apbūvētām teritorijām
 - Ēku fasāžu rekonstrukcijai kameras vērsums 10-45° no vertikāles
- Citi plāni
 - Koridora uzņemšanai (ceļi, dzelzceļi) rekomendē turp-atpakaļ maršrutu (*dual pass*) ar vertikālu vai slīpu skatu vai viena virziena maršrutu (*single pass*), bet tad ar 90% pārklājumu
 - Cirkulāri vai spirālveida maršruti vertikāliem objektiem (torņi, skursteņi, masti)
 - Dažādi kombinēti skati un plāni



3D datu produkti

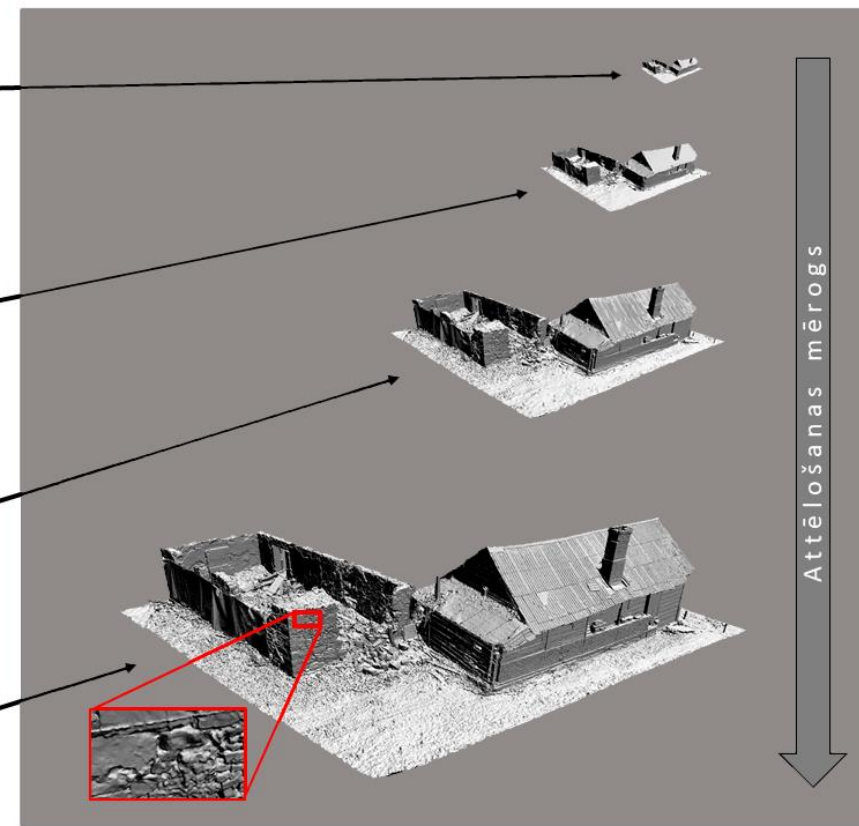
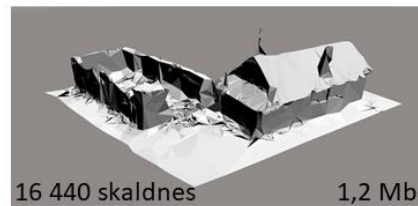
- **Punktu mākonis** ir datu punktu kopa kādā noteiktā koordinātu sistēmā:
 - Punkti parasti ir reprezentēti ar X, Y un Z koordinātām, un iespējams ar to krāsu (RGB) vai intensitāti
 - Visbiežāk ar tiem attēlo reālā objekta vai apvidus virsmu
 - Raksturojas ar lielu datu daudzumu – desmiti un simti miljoni punktu, kas aizņem daudzus gigabaitus datu glabāšanas ierīcēs
 - Parasti nav tieši izmantojami 3D un CAD lietojumprogrammās, bet tos izmanto kā izejas datus attiecīgo virsmu konstruēšanai
- **Režģa modelis** ir virsotņu, šķautņu un skaldņu apkopojums, kas reprezentē daudzskaldņu objektu formu:
 - Parasti pielieto trīsstūru skaldnes
 - Skaldnes var tikt attēlotas ar tekstūrām, veidojot fotoreālistisku objekta modeli
 - Būtiski ekonomē datoru atmiņu salīdzinot ar punktu mākonī (par vairākām kārtām)
 - Ir tieši izmantojams 3D un CAD lietojumprogrammās, kā arī modeli var izmantot kā izejas datus objektu rekonstrukcijai



Datu produktu raksturojums

- **Ģeometriskā precizitāte** – punktu (punktu mākonim) un virsotņu (režģa modelim) telpiskā novietojuma atbilstība tam atbilstošā punkta novietojumam mērāmajā objektā.
 - Lāzerskenēšanas precizitāti nosaka aparāta precizitātes klase un attālums līdz objektam.
 - Fotogrammetriskās uzmērīšanas precizitāti nosaka kameras parametri, uzņemšanas attālums (augstums) un attēlu atbilstība fotogrammetrijas prasībām.
- **Detalizācijas līmenis** - punktu blīvums (punktu mākonim) un skaldņu skaits virsmas platības vienībā (režģa modelim). Jo lielāks ir detalizācijas līmenis, jo punktu mākonis vai režģa modelis attēlo sīkākas objekta detaļas.

Detalizācijas līmenis

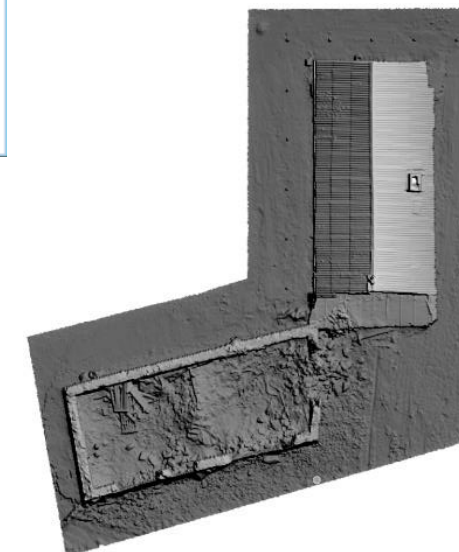
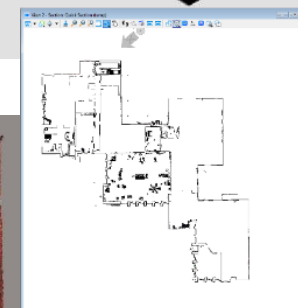
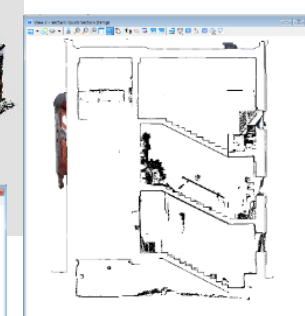
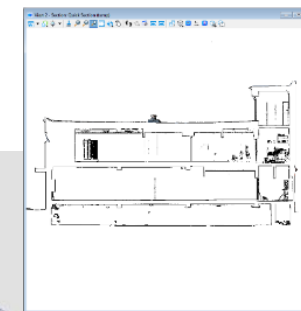


2D datu produkti

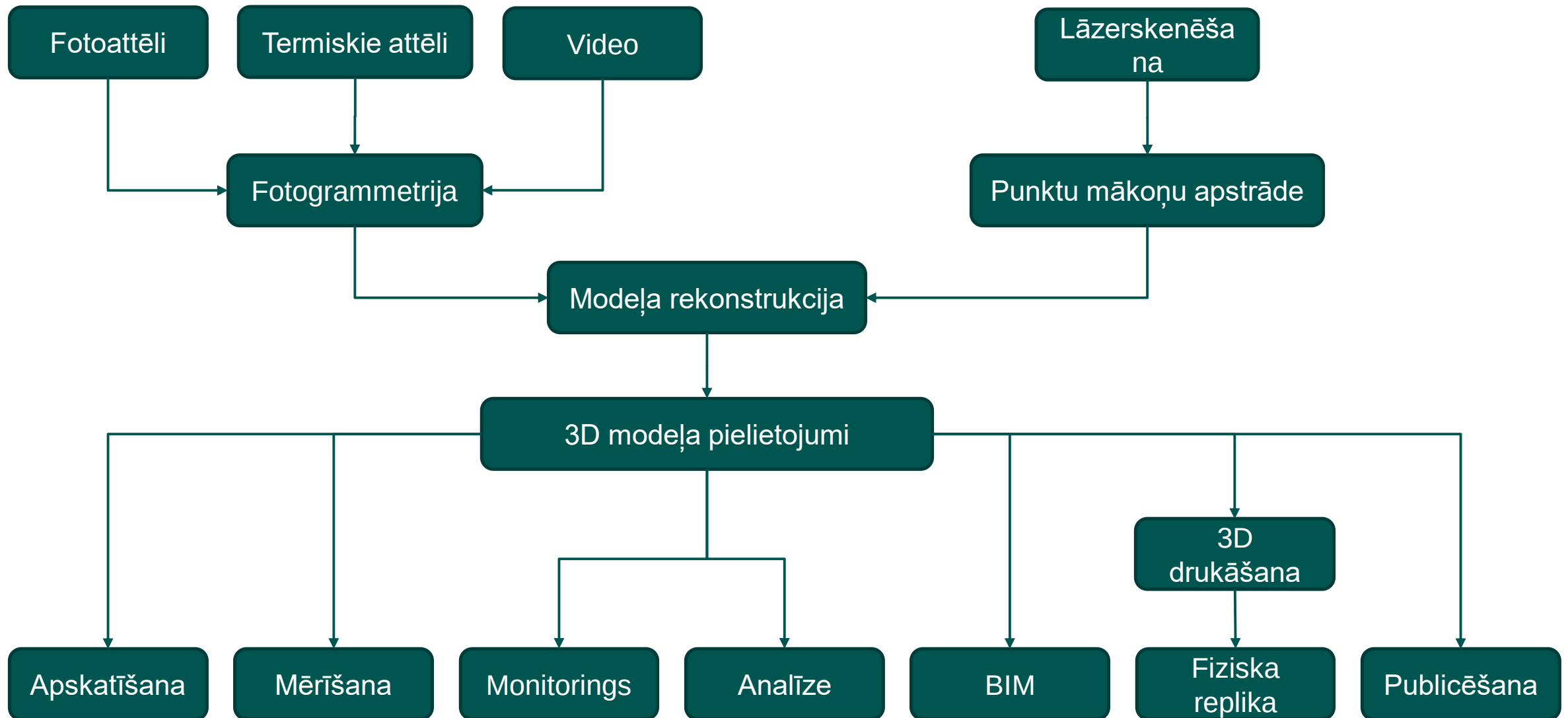


2D datu produkti

- Ēkas sienas **izklājums**, ko iegūst, ja modeļa virsmu projicē uz tai tuvākās liektas vai citas virsmas, kas ir izklājama plaknē.
- **Šķēlumi** un **griezumi** kā projekcijas uz vertikālas vai horizontālas šķēlējplaknes.
- **Digitālais virsmas modelis**, kas ir rastra režģis, kurā katrs pikselis satur informāciju par tam atbilstošās vietas augstumu.



Realitātes 3D modelēšanas process



Modelēšana no dažādiem datu veidiem

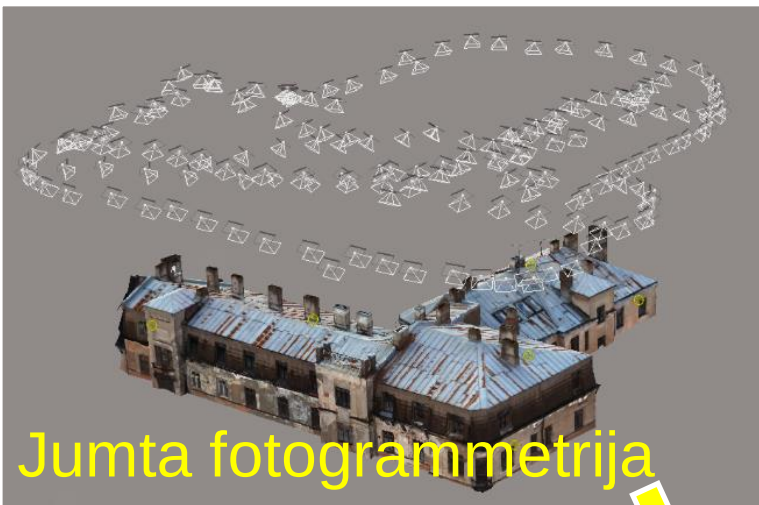
Lāzerskenēšana



Fotografēšana



Uzņemšana pa daļām



Realitātes 3D modelēšanas pielietojumi

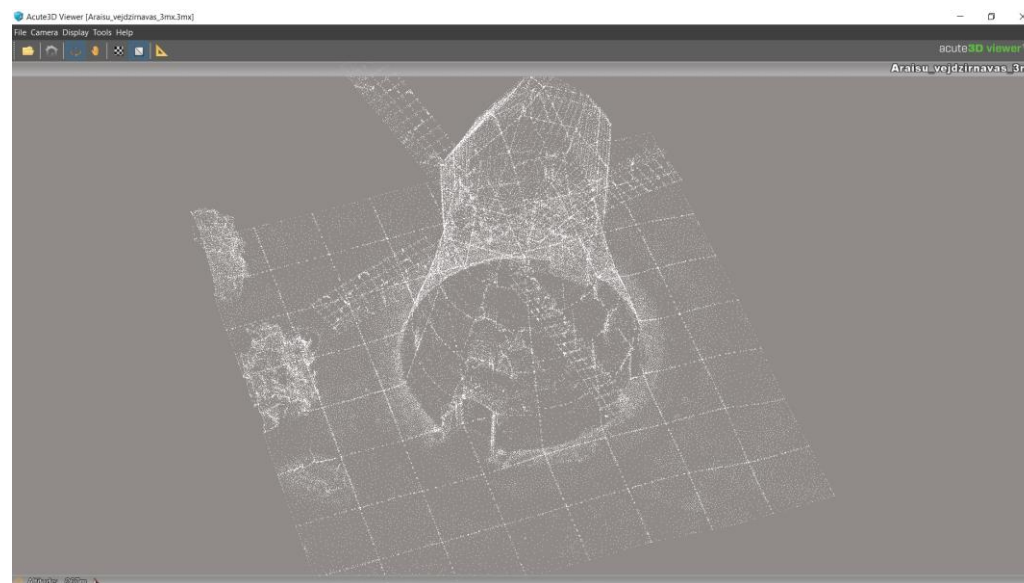
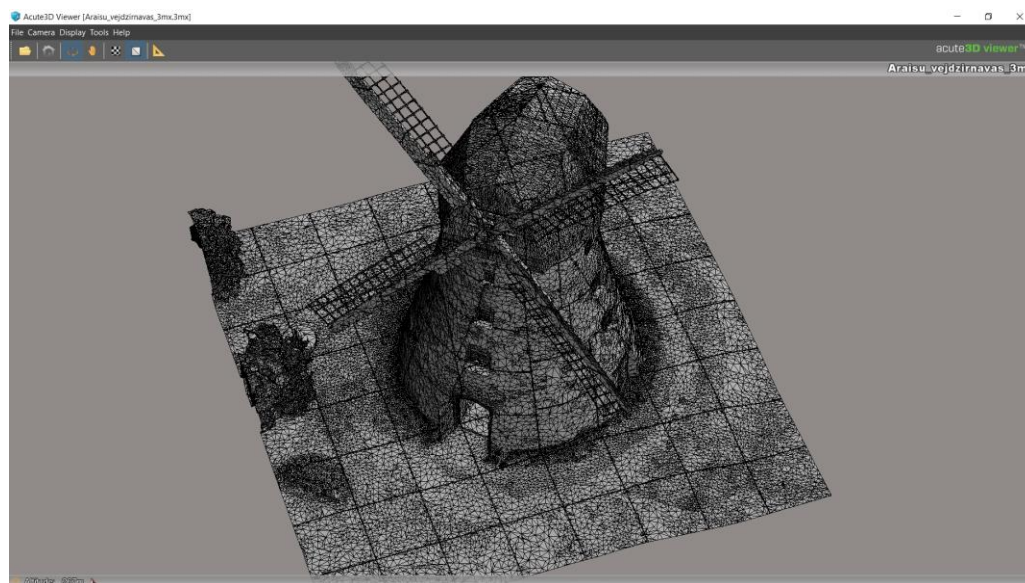
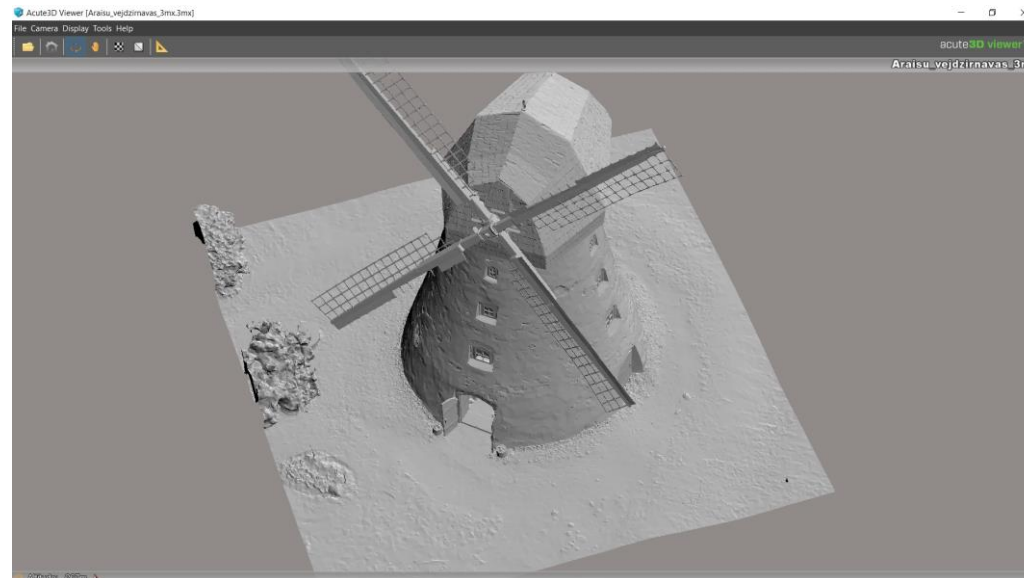
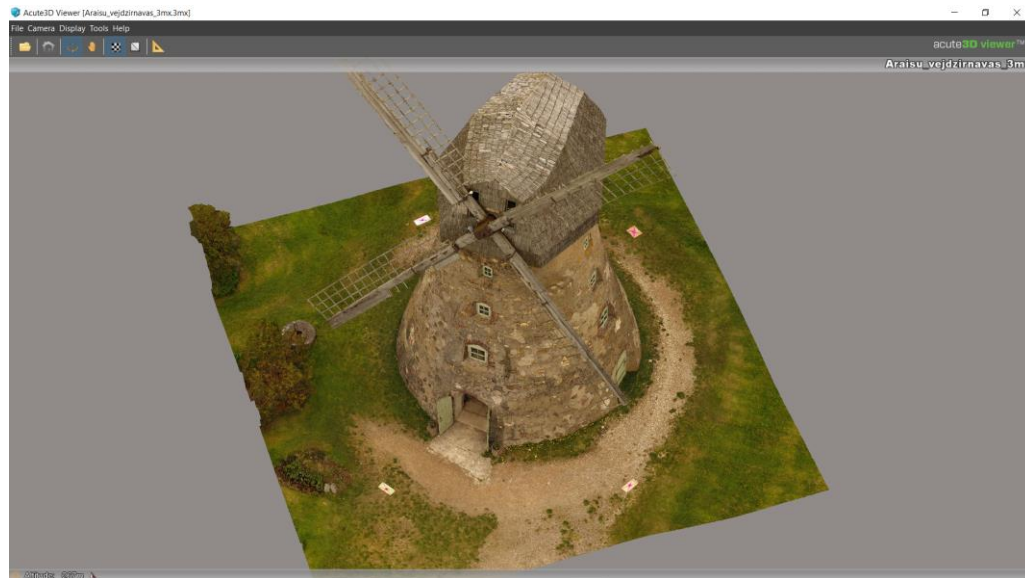
- Situācijas apzināšanai teritorijā:
 - ēku/būvju vispārējais stāvoklis, graustu esamība, nelegālā būvniecība, teritorijas (tai skaitā pagalmu) sakoptības līmenis, nelegāla atkritumu izgāšana, piekļuves ceļi u.c.
- Atsevišķu būvju un infrastruktūras objektu tehniskā un arhitektoniskā stāvokļa apsekošana un dokumentēšana.
- Kultūrvēsturisko objektu stāvokļa izpēte, dokumentēšana, prezentācija un publicēšana internetā.
- Pilsētplānošanas uzdevumu risināšana:
 - digitālais pilsētas vai tās teritorijas daļas 3D modelis;
 - telpisko risinājumu apspriešana un izvērtēšana;
 - telpiskā analīze (redzamības analīze novērošanas kamerām un telekomunikāciju iekārtām, saules enerģijas potenciāla novērtēšana, trokšņu kartēšana u.c.);
 - modeļa publicēšana internetā.
- Izmaiņu konstatēšana un izsekošana laikā:
 - teritorijas un objektu monitorings.
- Būvniecības uzraudzība, būvapjomu mērīšana, būvlaukumu modelēšana, izpilddokumentācijas sagatavošana.
- 3D datu (ēkas modelis, 3D punktu mākonis, CAD modelis) sagatavošana ēku renovācijai, siltināšanai vai rekonstrukcijai.
- Nekustamo īpašumu kadastra informācijas izvēršana trijās dimensijās un priekšlikumu sagatavošanas šīs informācijas aktualizēšanai.
- Karjeru, atkritumu poligonu, norakumu, uzbērumu, beramo kravu apjomu noteikšana un to izmaiņu kontrole.
- Palieņu noteikšana, plūdu prognozēšana, potenciālo seku apzināšana un rīcības plānošana.
- Darbību plānošana avārijas situācijās, avārijas vietas dokumentēšana un seku novēršana.
- Tūrisma objektu un tūrisma maršrutu reprezentācija un publicēšana internetā.

3D modeļa aplūkošana

- Iespējas:
 - Mērogošana, rotācija, pārvietošana;
 - Interaktīvas 3D kartes funkciju izpildīšana;
 - Animēšana.
- Pielietojumi:
 - Tehniskā stāvokļa apsekošana;
 - Izmaiņu konstatēšana;
 - Lēmumu pieņemšana;
 - Rīcības plānošana avārijas situācijās;
 - Izmantošana par fonu jauna attīstības projekta prezentācijai;
 - Tūrisma informācija.



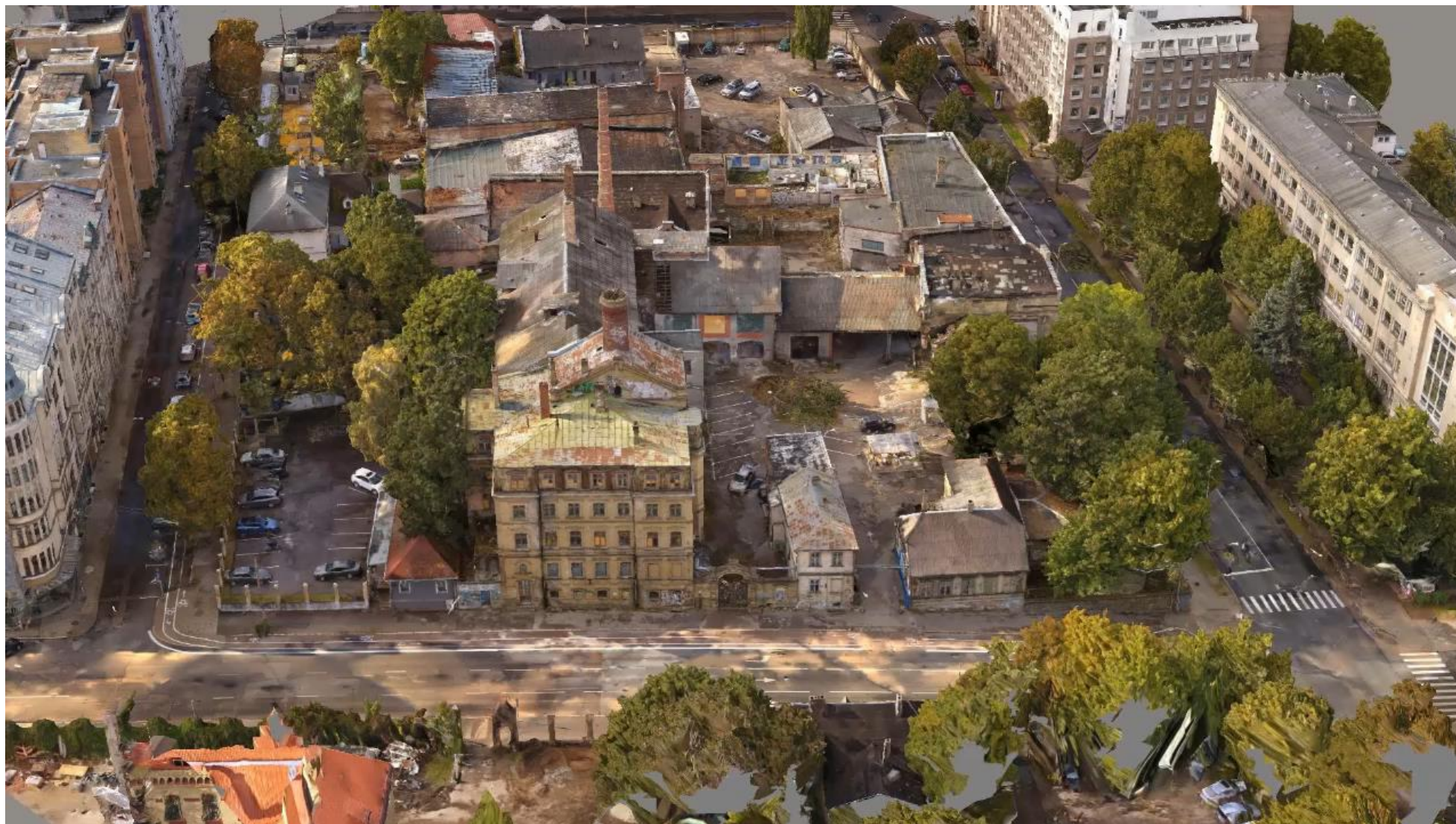
Skata renderēšanas veidi



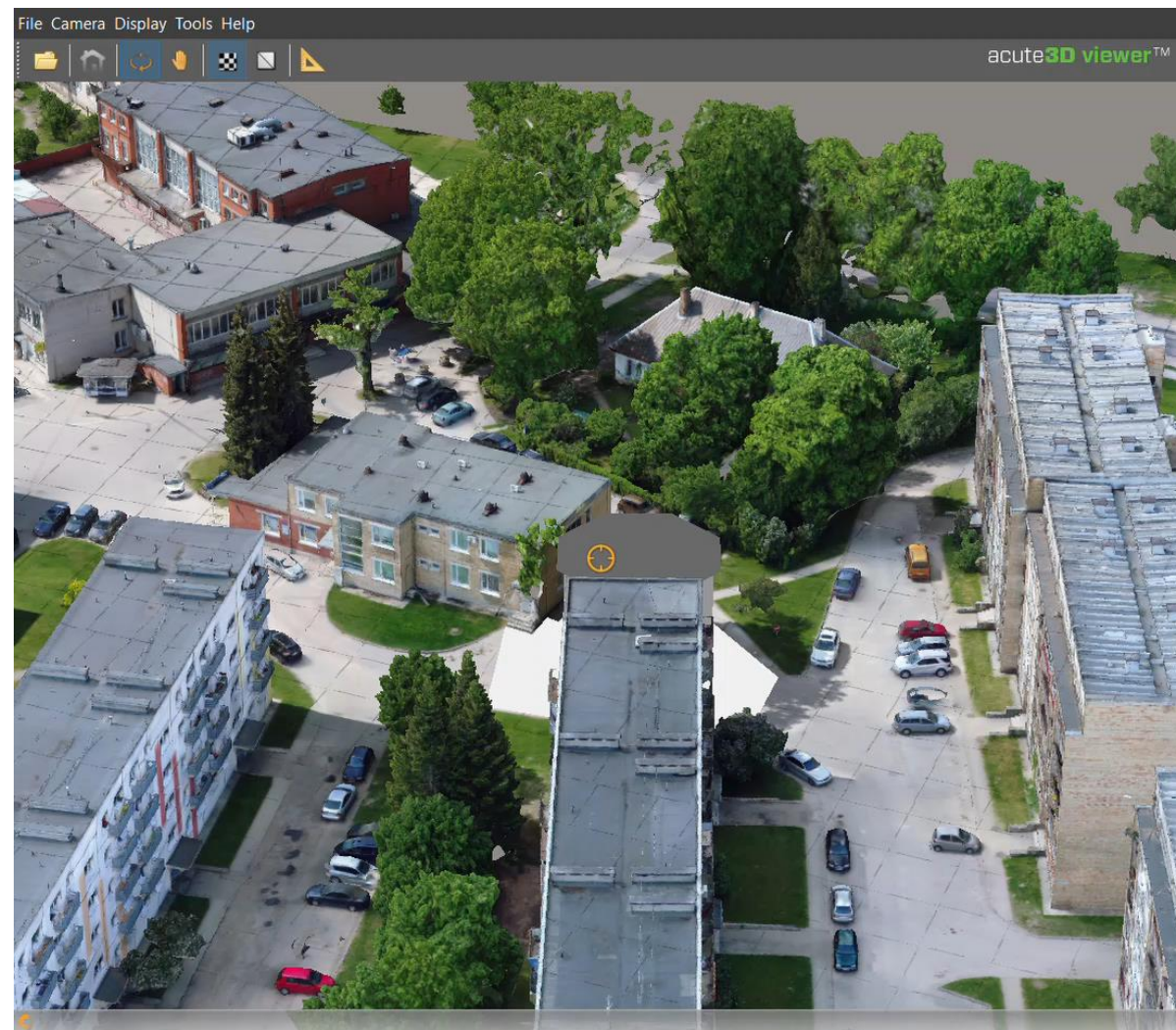
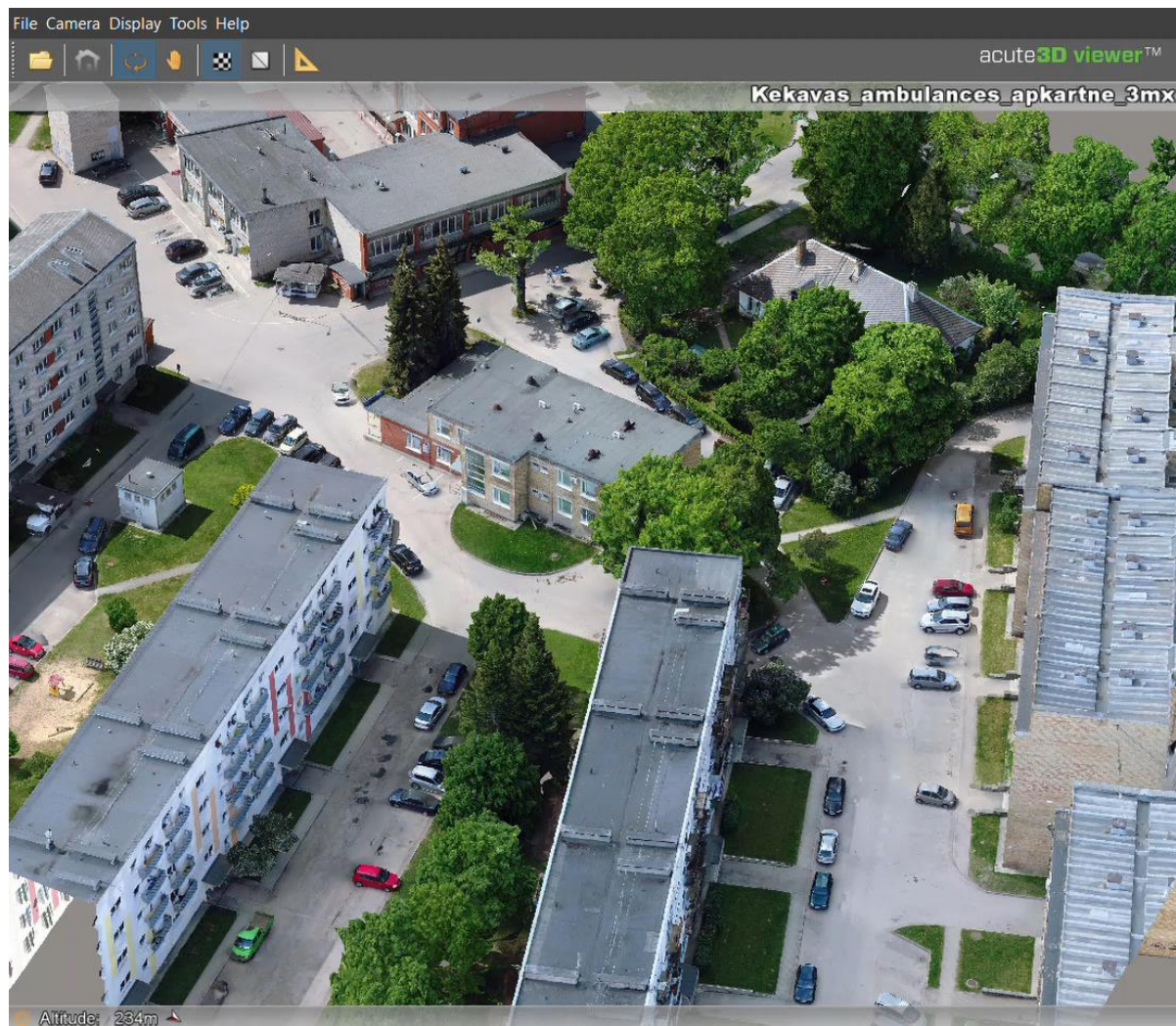
Vizuāla inspekcija



Objekta tehniskā stāvokļa izpēte



3D modelēšana pilsētplānošanai



Kultūras mantojuma dokumentēšana



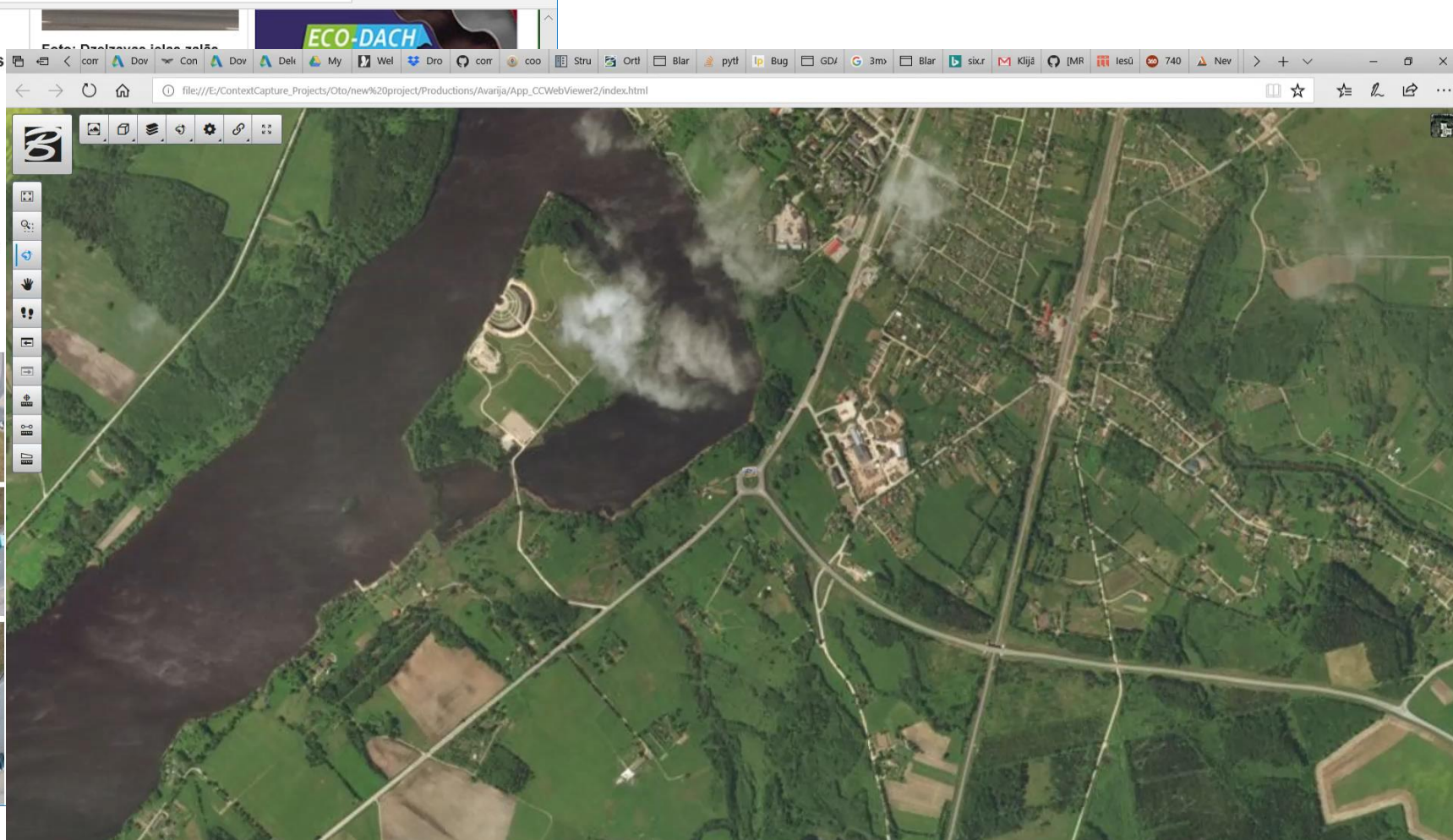
Avārijas vietas dokumentēšana



21. maija rītā Koknesē kāds "Delfi" aculiecinieks iemūžinājis savdabīgu kravas auto avāriju. Tajā cilvēki nav cietuši, taču bojāts esot ceļa segums, ziņo policija.

Likumsargu informācija liecina, ka kravas automašīnas "Man" avārija Kokneses pagasta Paterniekos, ceļa Rīga-Daugavpils-Krāslava-Baltkrievijas robeža 101,4. kilometrā, notikusi 21. maijā pulksten 8.44.

Apgāžoties 1963. gadā dzimušā šofera vadītajam "Man" ar piekabi, uz ceļa izgāzās "Mercedes-Benz" kravas auto, kurš atradies piekabē. Negadījumā bojāts transports un ceļa braucamā daļa.

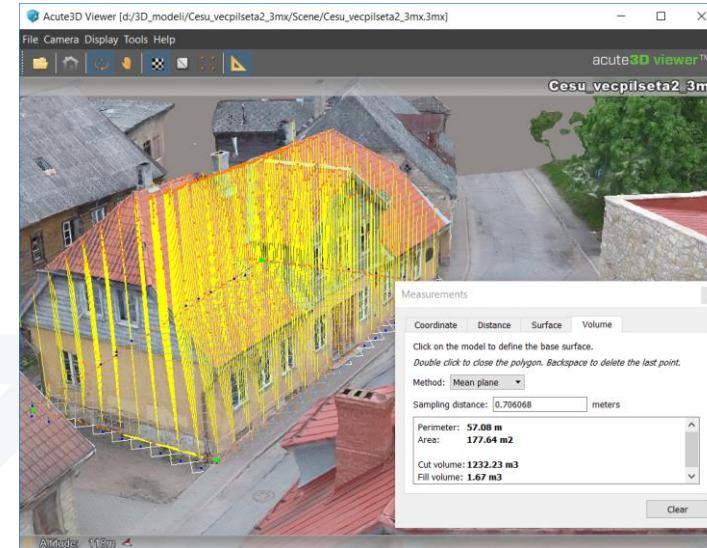
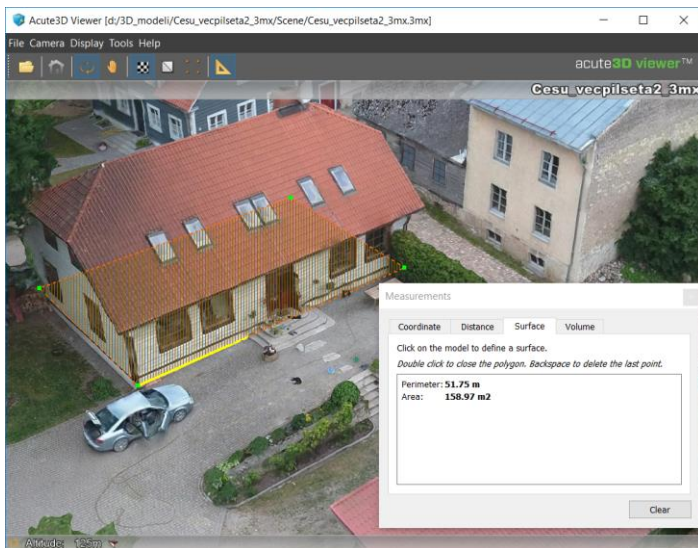
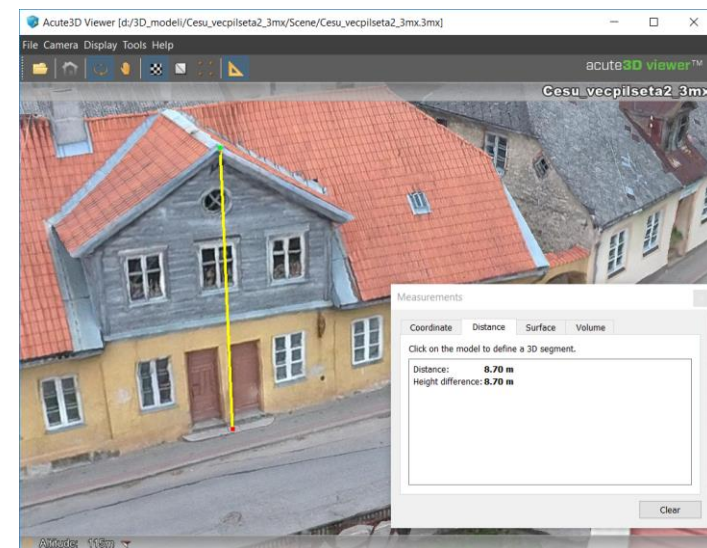
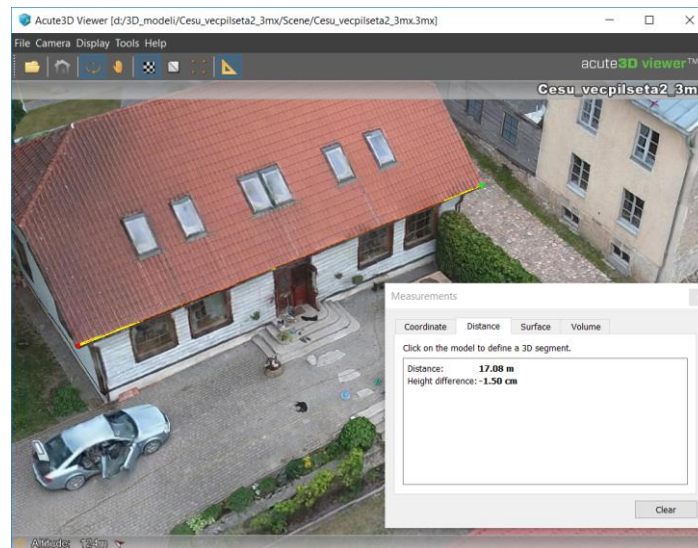


Tūrisma objektu reprezentācija



3D modeļa mērīšana

- Uz modeļa var izmērīt zemes un būvju galvenos raksturojošos lielumus – izmērus, augstumus, perimetrus, platības, tilpumus.
- Datu savākšana notiek no attāluma, neieejot īpašumā vai objektā, un nepieciešamos mērījumus var veikt birojā.
- Pielietojumi:
 - Būvju apjomu noteikšana kadastram
 - Beramo kravu kubatūras noteikšana
 - Karjeru izstrādes uzraudzība
 - u.c.

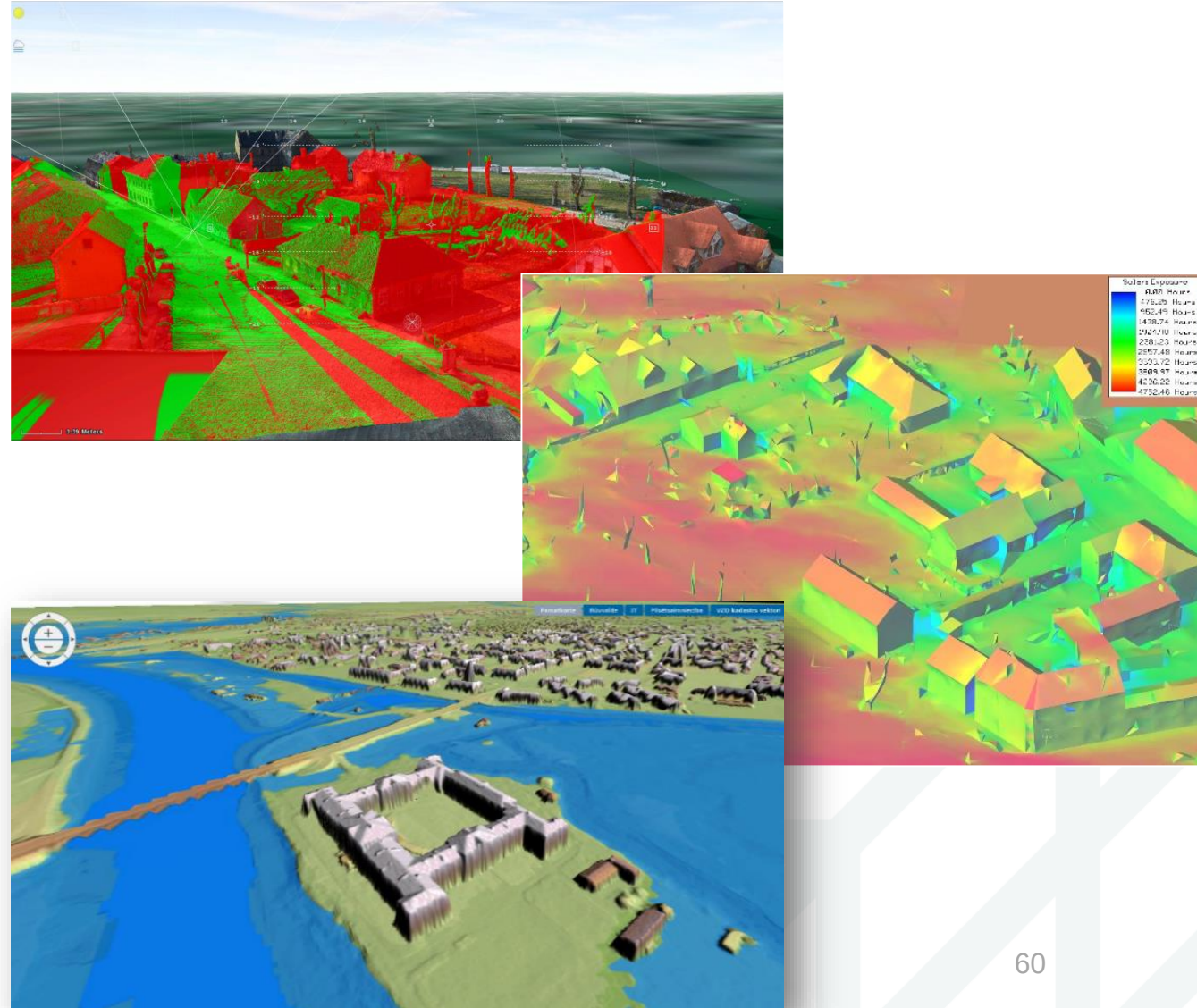


Karjeru un atkritumu poligonu apsaimniekošana



3D telpiskā analīze

- 3D virsmas īpašību noteikšana – izolīnijas, nogāžu slīpumi, augstumi.
- Punktu mākoņu un virsmu salīdzināšana - izmaiņu raksturs un apjomi.
- Redzamības un noēnojumu analīze.
- Saules ekspozīcijas analīze
- Vēja plūsmu modelēšana un slodzes analīze.
- Trokšņu izplatīšanās analīze
- Plūdu modelēšana un risku analīze.
- u.c.

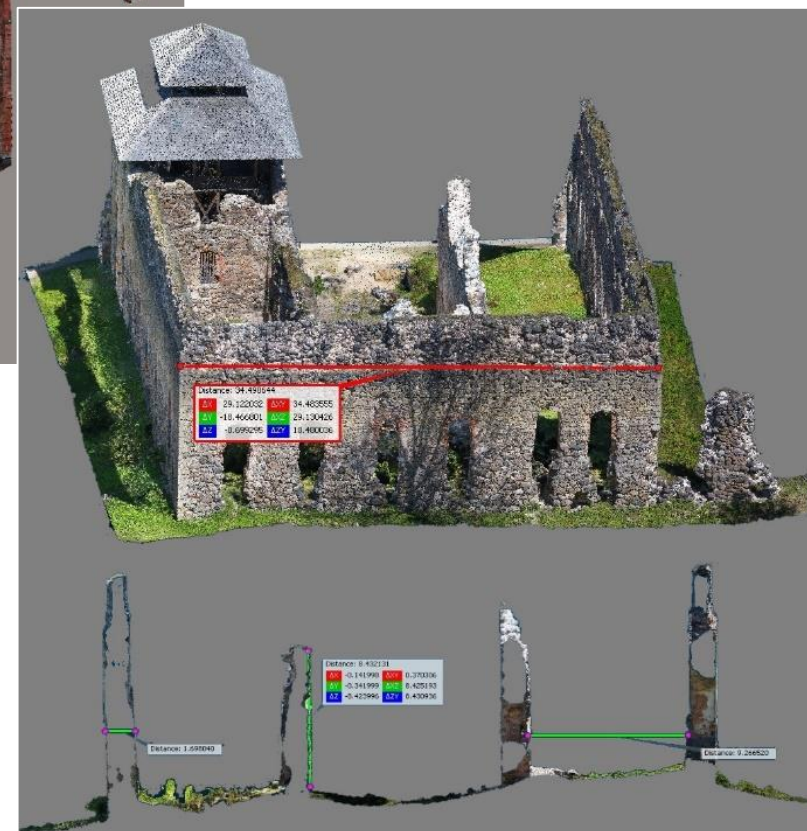
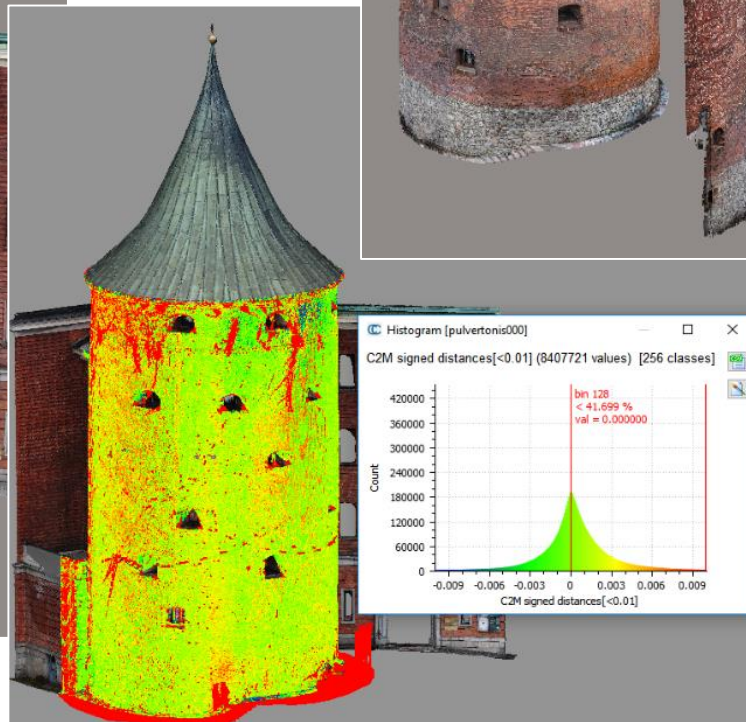
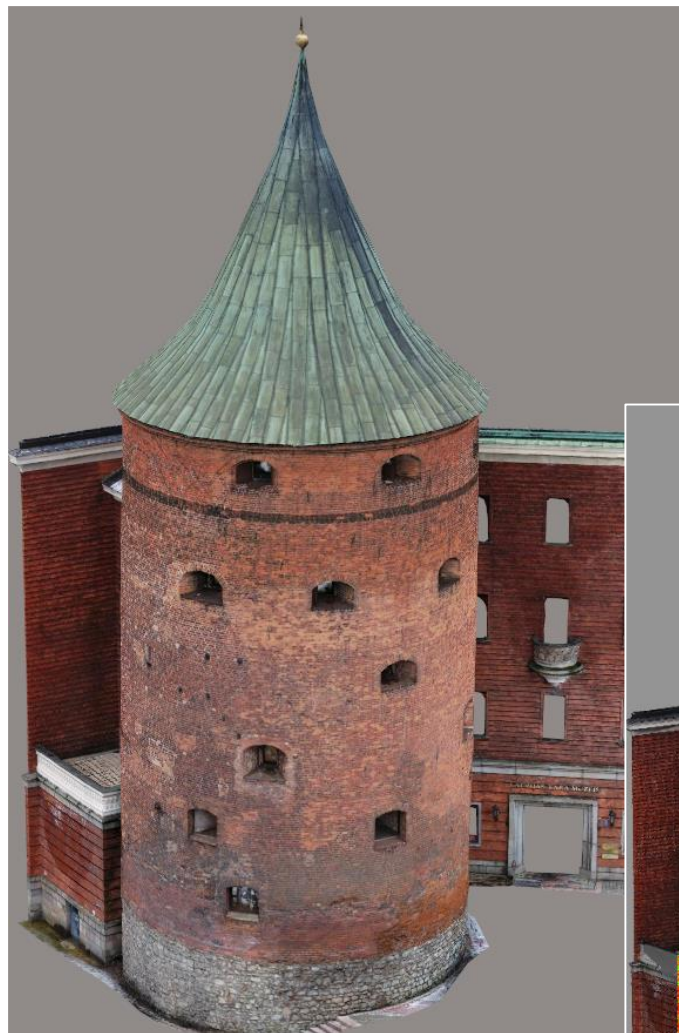


Ekspluatācija un uzturēšana

- Daudzdzīvokļu dzīvojamās mājas apsekošana (MK noteikumi Nr. 907):
 - 3. Dzīvojamās mājas, tajā esošo iekārtu un inženierkomunikāciju tehnisko stāvokli nosaka vizuālajā pārbaudē.
 - 11. Dzīvojamās mājas un tai piederīgo ēku pamatkonstrukciju profilaktiskās apsekošanas ietvaros reizi gadā tiek veiktas šādas darbības:
.....

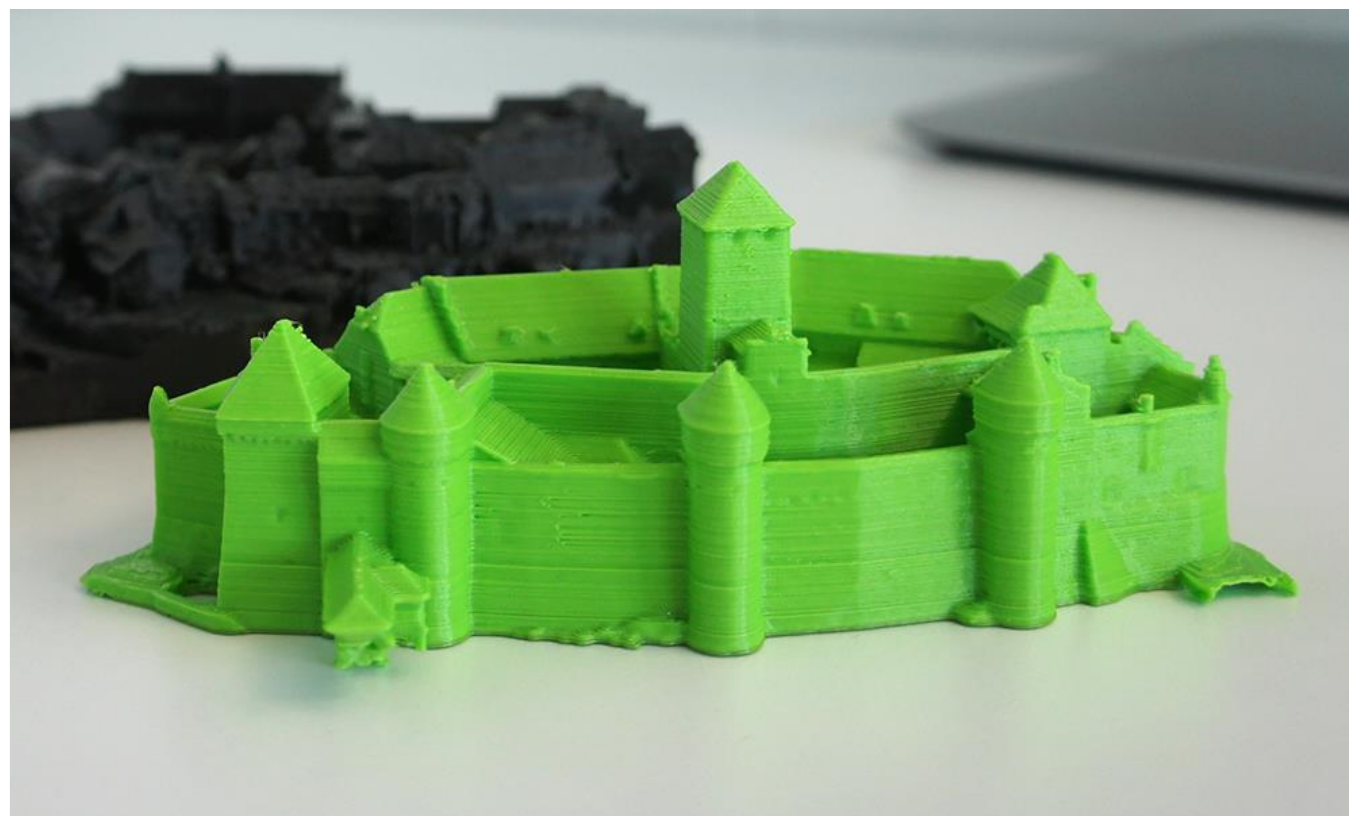


Kultūras mantojuma izpēte



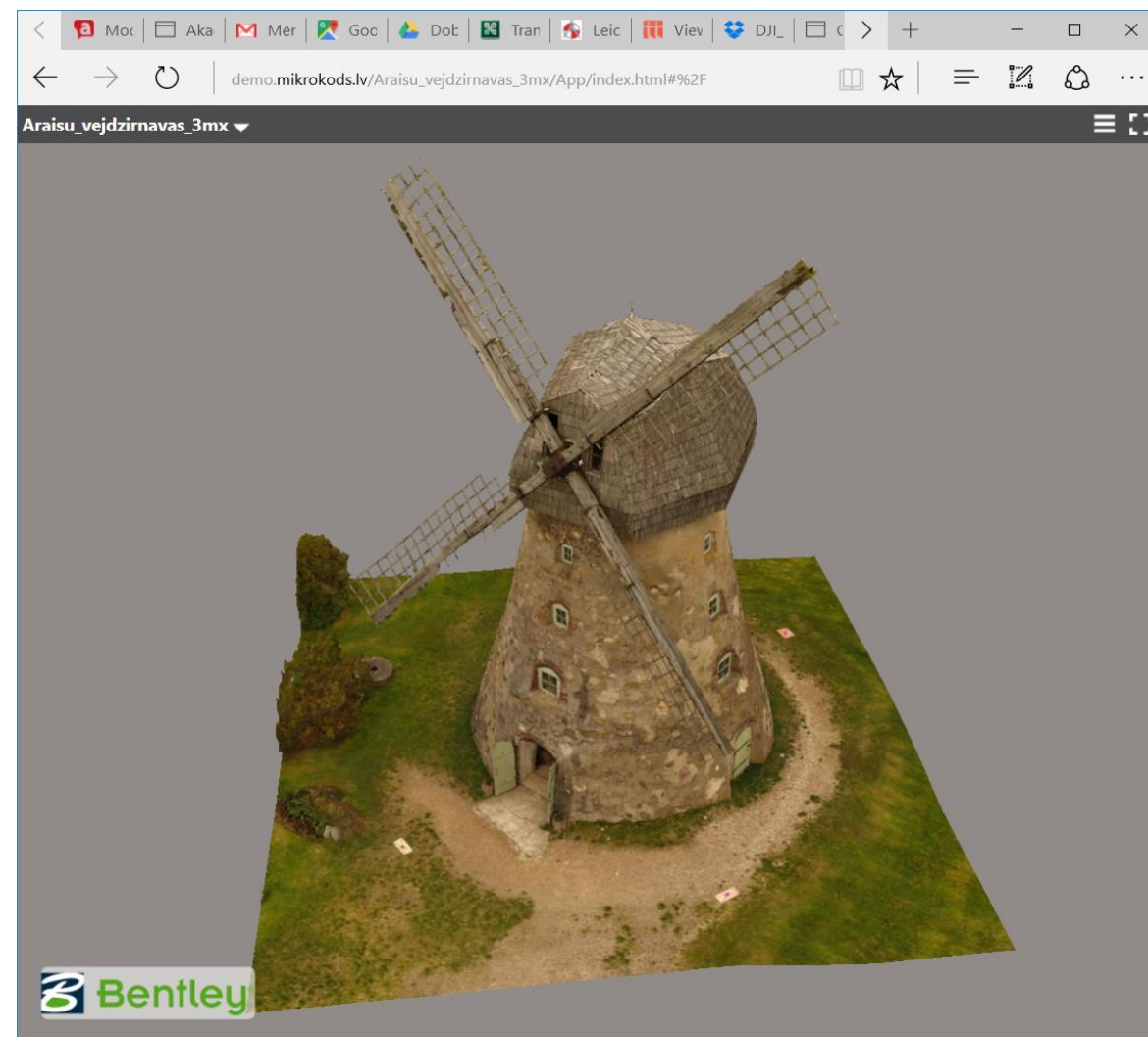
Modeļa fiziska replika

- Realitātes modelis ir izdrukājams ar 3D printeri vai izfrēzējams ar ciparu programmas vadības (CNC) darbagaidu.
- Rezultātā iegūst fizisku modeli prasītā mērogā.



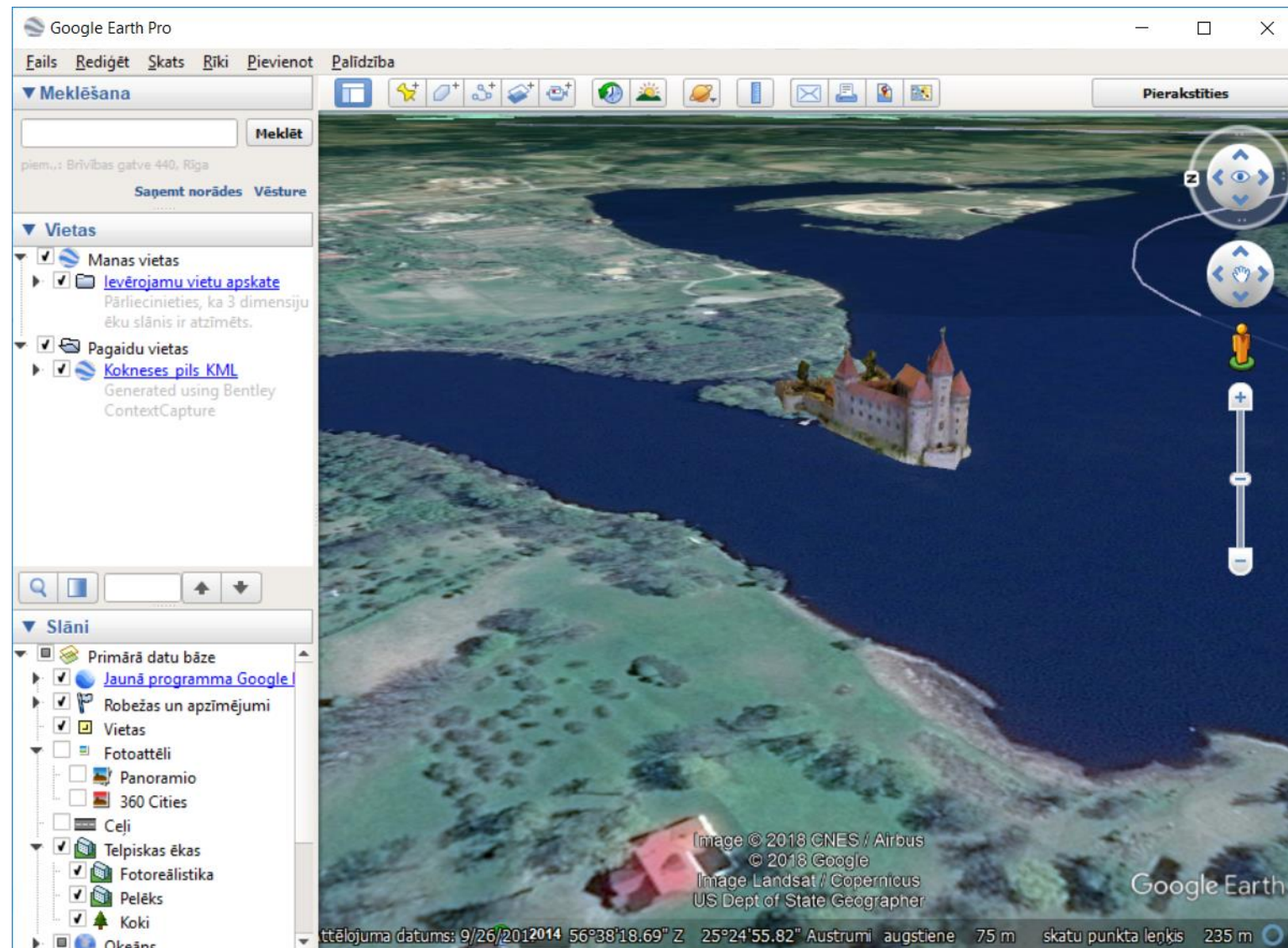
3D modeļu publicēšana

- Atsevišķu objektu un teritoriju publicēšana:
 - Apskate ar pārlūkiem, kas atbalsta WebGL, vai citiem risinājumiem, kas balstās uz interneta saturu (piem. Google Earth).
 - Pielieto arhitektūras objektu, kultūras pieminekļu, muzeju eksponātu, artefaktu pieejamības nodrošināšanai, kā arī 3D modeļu komercijai.
- Pilsētu un lielu teritoriju publicēšana:
 - Priekšnosacījumi: datu formātam jānodrošina liela apjoma datu glabāšana un straumēšana funkcijas, kā arī atbilstoši interneta servera risinājumi.
 - Tuvākais piemērs: Helsinku pilsētas 3D modelis 2 versijās : CityGML un 3D režģa modelis:
<http://kartta.hel.fi/3d/>
<http://3d.hel.ninja/mesh/>



Prezentācija Google Earth vidē

- Šim nolūkam modeli rekonstruē KML (*Keyhole Markup Language*) formātā.
- Šobrīd aktuālas ir divas Google Earth versijas:
 - Google Earth Pro – darbvirsmas programmatūra, kas no 2015.gada pieejama par brīvu;
 - Google Earth 9 – web versija (tikai Google Chrome pārlūkam).



Helsinki 3D modelis internetā

<http://3d.hel.ninja/mesh/>



Virtuālā talka (*Crowdsourcing*)

pieminekļiem

- Zaudēta vai pārveidota pieminekļa attēlu savākšana, izmantojot internetu, ar mērķi rekonstruēt tā sākotnējo 3D modeli.
- Piemērs - Plakas akmens tilts Grieķijā:
 - uzcelts 1866.gadā;
 - sabruka plūdu laikā 2015.gadā;
 - Atēnu Nacionālā tehniskā universitāte izveido mājas lapu, kurā var augšupielādēt Plakas tilta attēlus;
 - Savāc 470 attēlus, no kuriem 56 attēlus atlasa modeļa rekonstruēšanai.
- Šobrīd Krievijas valsts Ermitāža ir izsludinājusi Sīrijas senās Palmīras sagrauto pieminekļu pirmskara fotoattēlu vākšanas kampaņu ar nolūku rekonstruēt to modeļus:
<https://palmyra.photo/>





PALDIES PAR UZMANĪBU!

Rīgas Tehniskā universitāte

Māris Kaļinka
maris.kalinka@rtu.lv

[Ints Lukss](mailto:ints@miko.lv)
ints@miko.lv

LLI – 303, “Dzīve tīrākā vidē – labākai nākotnei !”
(Life in Clean Environment – a Better Future !)
Acronym “Clean Brownfields”