3D modelēšanas pielietojums būvniecībā

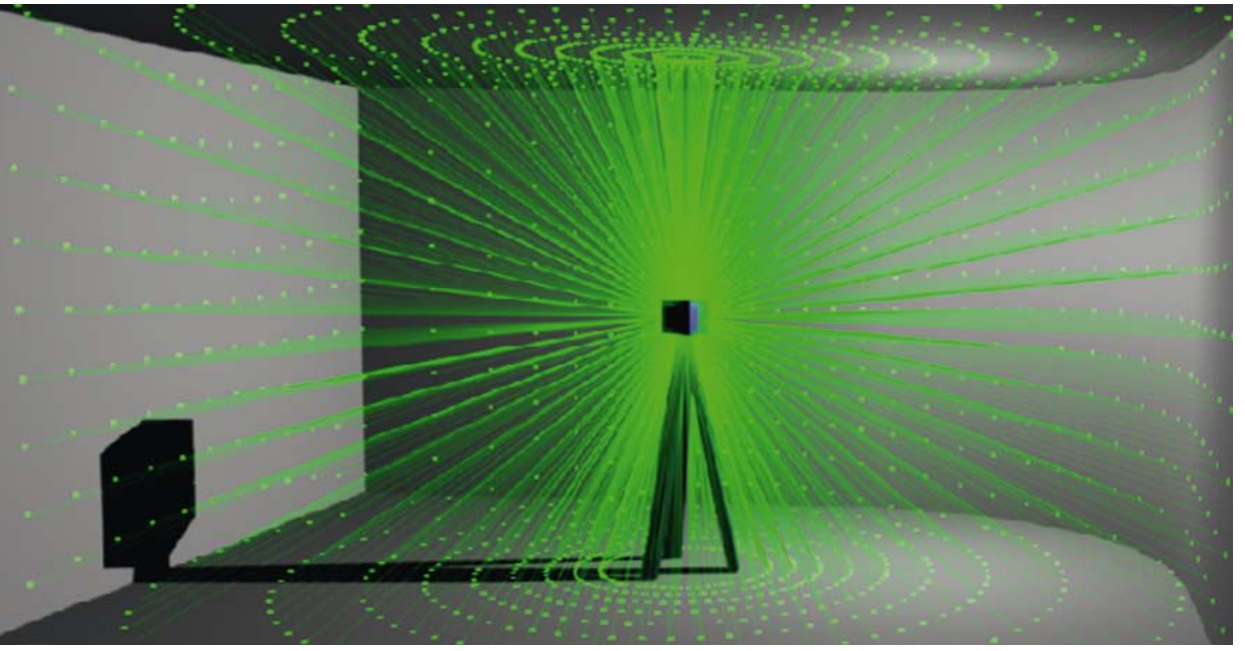
Ints Lukss, mg. sc. phys., SIA *Mikrokods* projektu vadītājs
Attēli no autora arhīva

Realitāte ir tikai ilūzija, kaut arī ļoti noturīga. Šis bieži citētais Alberta Einšteina teiciens trāpīgi raksturo mūsu subjektīvo uztveri par apkārtējo reālo pasauli.

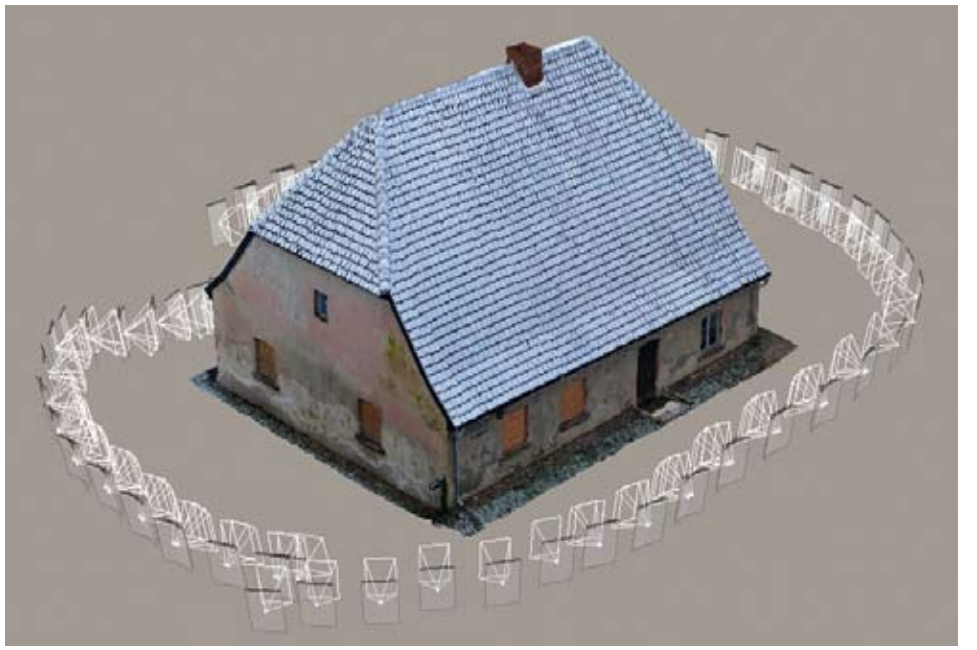
Jau no seniem laikiem cilvēki ir centušies izzināt apkārtējo pasauli ar objektīvu mērījumu palīdzību un šo mērījumu attēlošanu grafiskā formā –, veidojot kā kartes un plānus, kas papildināti ar skaitlisku un aprakstošu informāciju. Reālās pasaules atspoguļojums parasti ir divās dimensijās jeb plakans, ko noteica informācijas iegūšanas, glabāšanas un apstrādes tehniskās iespējas.

Realitātes iegūšana

Pēdējos gadu desmitos modernās mērīšanas metodes mums ir devušas iespēju atsevišķu mērījumu vietā iegūt masveida datus par reālo pasauli, kas ļauj to attēlot datorizētā vidē trijās dimensijās (3D) ar tādu detalizācijas pakāpi, kas ir salīdzināma ar pašu reālo vidi. Šīs mērīšanas metodes ir ieguvušas apzīmējumu *realitātes iegūšana* jeb *Capturing Reality*, kas faktiski nozīmē realitātes detalizētu dokumentēšanu.



1. attēls. Lāzerskeneris skenē telpu un apkārtni ar lāzera staru.



2. attēls. Attēlu uzņemšana fotogrammetriskai apstrādei.

Patlaban datu iegūšanai par reālo vidi galvenokārt lieto divas metodes – 3D lāzerskenēšanu un modernizēto fotogrammetriju. Pirmā metode izmanto aktīvo sensoru lāzeru, otrā – pasīvo sensoru fotokameru.

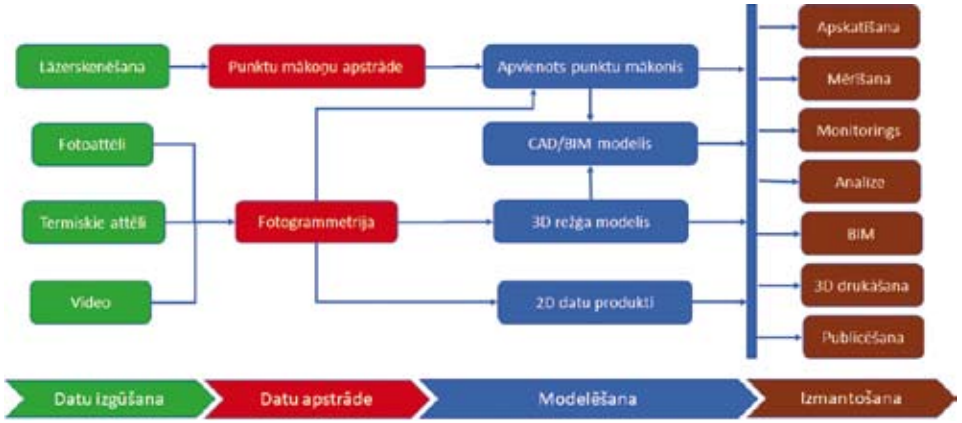
Lāzerskenēšana, ko pēc analoģijas ar labi zināmo radara tehnoloģiju sauc arī par lidara tehnoloģiju (Light Detection and Ranging – LIDAR), ir attālumu un leņķu mērīšana ar apvidu vai telpu skenējošu lāzera staru (1. attēls), kas dod miljoniem telpisku lokalizētu punktu jeb punktu mākoni. Tā ir tieša mērīšanas metode.

Modernā fotogrammetrija analizē reālās vides attēlus, kas ir uzņemti no daudziem skatu punktiem (2. attēls), un automātiski detektē pikseļus attēlā, kuri atbilst vienam un tam pašam fiziskajam punktam. No daudzām attēlbilstībām nosaka attēlu relatīvo orientāciju un fotografēto objektu 3D formu. Tā ir netieša mērīšanas metode.

Realitātes modelēšana

Abām metodēm ir savas stiprās un vājās puses. Lāzerskenēšana vispārīgā gadījumā dod augstākas precizitātes mērījumus, tai nav nepieciešams labs apgaismojums, bet tai ir ierobežots attāluma diapazons. Savukārt fotogrammetrija ir pieejamāka, jo neprasa dārgu aparatūru – datu iegūšanai pietiek ar parastu kompaktkameru, ko var lietot uzņemšanai no zemes, kā arī kopā ar mehāniskiem palīglīdzekļiem, no kuriem pašlaik lietošanai ērtākie ir bezpilota lidaparāti – droni. Tieši modernās fotogrammetrijas pieejamība plašam lietotāju lokam ir apstāklis, lai tai pievērstu lielāku uzmanību praktiskā izmantošanā.

Datu iegūšana ir tikai pirmais solis ceļā uz to praktisko pielietošanu. Datus apstrādājot ar atbilstošām datorprogrammām, tiek izveidota mērāmā objekta virsmu matemātiskā reprezentācija, kas kalpo par pamatu



3. attēls. Realitātes modelēšanas process.

produktu radīšanai dažādiem pielietojumiem. Realitātes modelēšanas procesa vispārinātā diagramma ir parādīta 3. attēlā.

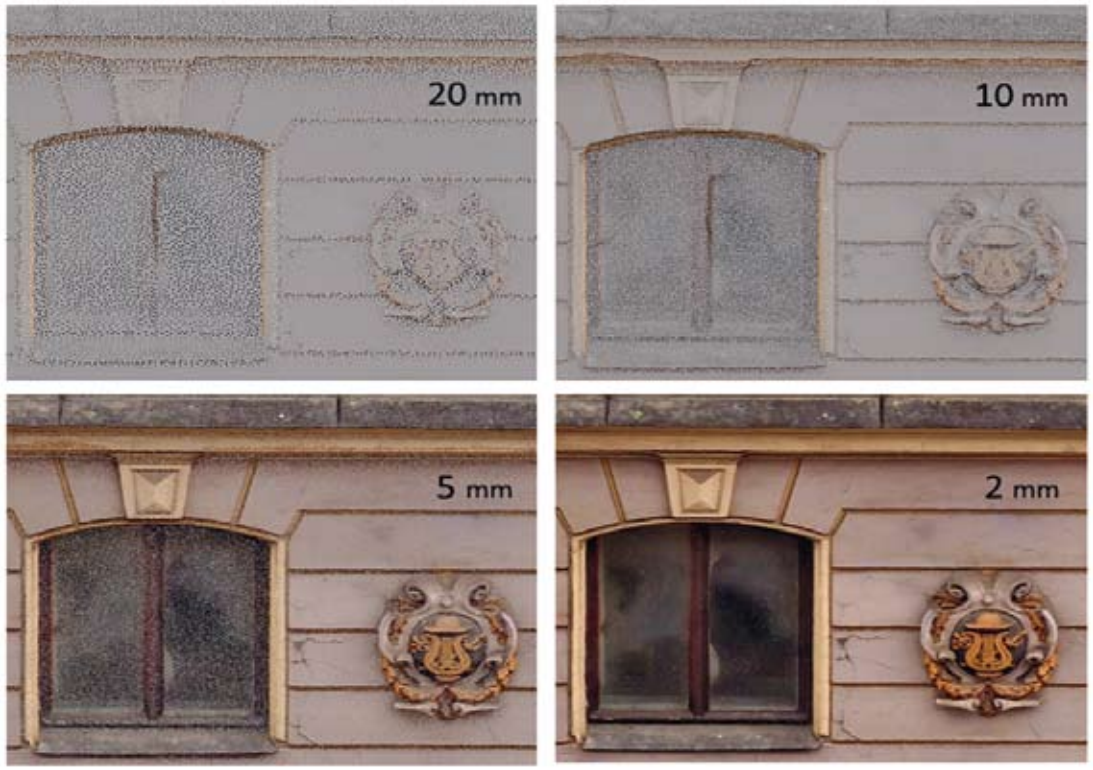
3D datu produkti

Vislielākais pielietošanas potenciāls ir 3D datu produktiem, kas satur vispilnīgāko telpisko informāciju par mērīto objektu vai apvidu. Šie produkti ir punktu mākonis un režģa modelis (4. attēls).

Punktu mākonis ir punktu kopa kādā noteiktā koordinātu sistēmā. Punkti ir reprezentēti ar X, Y un Z koordinātām un, iespējams, ar krāsu (RGB) vai intensitāti. Punktu mākonim raksturīgs liels datu daudzums – desmiti un simti miljonu punktu, kas aizņem daudzus gigabaitus datu glabāšanas ierīcēs.

Režģa modelis ir virsotņu, šķautņu un skaldņu apkopojums, kas reprezentē daudzskaldņu objektu formu. Skaldnes var tikt attēlotas ar tekstūrām, veidojot fotoreālistisku objekta modeli. Salīdzinot ar punktu mākoni, režģa modelis vairākas reizes ekonomē datora atmiņu, jo glabā tikai virsotņu koordinātas, bet ne skaldnes reprezentējošus punktus.

4. attēls. Punktu mākonis (pa kreisi) un režģa modelis (pa labi).



5. attēls. Punktu mākoņa detalizācijas līmenis kā minimālais attālums starp punktiem.

3D datu produktus raksturo divi galvenie rādītāji:

pirmā – ģeometriskā precizitāte – punktu (punktu mākonim) un virsotņu režģa modelim telpiskais novietojums atbilst punkta novietojumam mērāmajā objektā;

otrais – detalizācijas līmenis – punktu blīvums punktu mākonim un skaldņu skaits virsmas platības vienībā režģa modelim. Jo lielāks ir detalizācijas līmenis, jo sīkākas objekta detaļas attēlo punktu mākonis vai režģa modelis, kas parādīts 5. attēlā.

Lāzerskenēšanā ģeometriskā precizitāte un detalizācijas līmenis galvenokārt ir atkarīgi no lāzerskenera klases un uzņemšanas attāluma līdz objektam. Fotogrammetrijā šos lielumus nosaka kameras parametri, attālums līdz objektam un attēlu uzņemšanas plāns.

Moderna būvju un apvidus uzmērīšana, izmantojot realitātes 3D modelēšanu

MikroKods®

Sniedzam realitātes 3D modelēšanas pakalpojumus, nodrošinot klientus ar plašāku informāciju par objektu, nekā izmantojot tradicionālās uzmērīšanas metodes.

Izstrādājam klientu vajadzībām piemērotu platformu dažādu telpisko datu integrācijai vienotā ģeotelpiskā vidē (uz virtuālā globusa), nodrošinot nepārtrauktu pieeju datiem interneta vidē.

Brīvības gatve 224B, Rīga, LV-1039 Tālrunis: 67840256 mikrokods@miko.lv

www.mikrokods.lv modeļi apskatāmi: http://demo.mikrokods.lv/

Ortofotokarte no aerofotouzņēmumiem (LĢIA, 2016) Ortofotokarte no 3D relitātes modeļa (2018)

6. attēls. Ortofotokaršu salīdzinājums.

2D datu produkti

2D datu produkti tiek radīti kā 3D realitātes modeļa projekcijas uz izvēlētās plaknes vai virsmas, kas ir izklājama plaknē. Šie produkti ir pielietojami tradicionālā veidā kā izejas dati, risinot projektēšanas uzdevumus plaknē. Viens no uzdevumiem ir teritorijas kartēšana, kur var izmantot no modeļa iegūtu *patiesu* ortofotokarti. Šajā kartē ēkas un citi augsti objekti attēloti precīzā horizontālā projekcijā un negāžas uz sāniem kā tradicionālās ortofotokartēs (6. attēls).

Ēku fasāžu uzmērīšanai un dokumentēšanai 3D realitātes modeli var projicēt uz plaknes, kas paralēla fasādei, veidojot fasādes notinumus (7. attēls) vai virsmas, kas izklājamas plaknē, veidojot izklājumus (8. attēls).

8. attēls. Pulvertorņa izklājums.

7. attēls. Fasādes notinums.

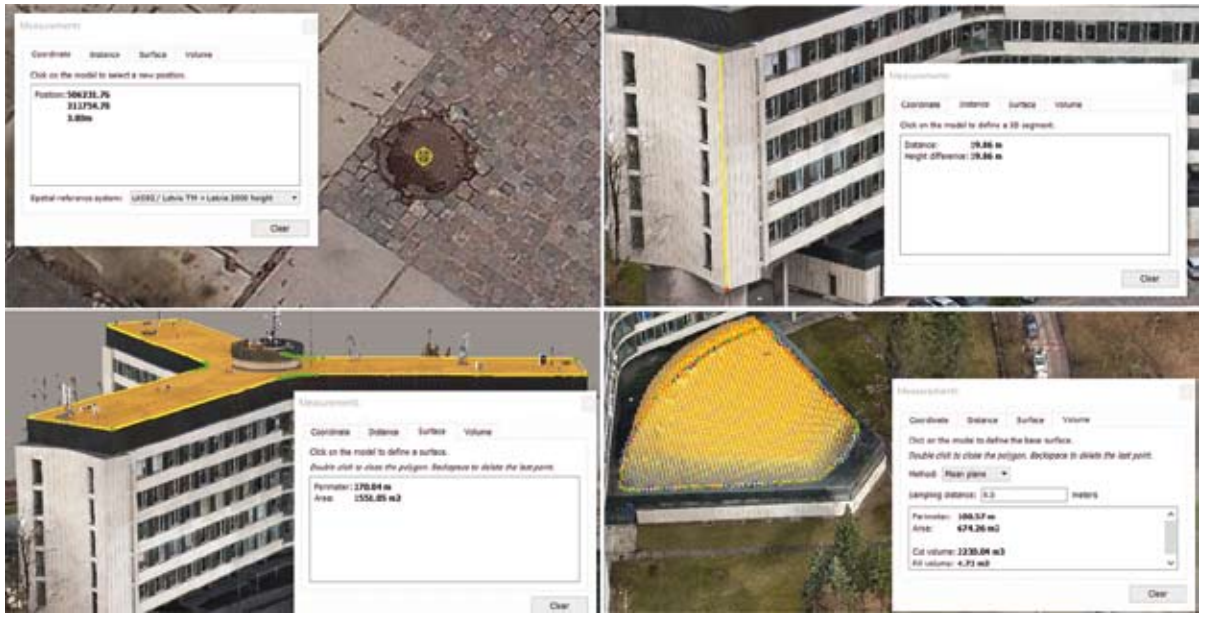
9. attēls. Realitātes modelis (augšējais attēls) un CAD modelis (apakšējais attēls).

CAD/BIM modelis

Projektēšanas vajadzībām no datu produktiem ar datorizētās projektēšanas (CAD) programmatūru var izveidot modeli, kas ar ģeometriskiem primitīviem – līnijām, virsmām, ķermeņiem – attēlo projektējamo objektu trijās vai divās dimensijās (9. attēls). Šis process gan var būt darbietilpīgs un lielā mērā manuāls, jo, lai reālās pasaules objektu attēlotu ar taisnām līnijām, plaknēm un ideālām virsmām, nākas pieņemt kompromisa lēmumus par pieļaujamām atkāpēm no realitātes. Šādi reprezentētais modelis būs neprecīzs, salīdzinot ar dabā esošo, tomēr pašlaik lietotā CAD/BIM programmatūra ir ar ierobežotām iespējām realitātes modeļu nepastarpinātai izmantošanai.

3D modeļa aplūkošana un mērīšana

Viens no vienkāršākajiem un tiešākajiem 3D realitātes modeļa pielietojumiem ir tā aplūkošana būves inspekcijas un tehniskā stāvokļa novērtēšanas nolūkos. Aplūkošanas funkcionalitāti nodrošina 3D grafikas atbalsta rīki, kas mūsdienās ir pieejami jebkurā datorā, ieskaitot planšetdatorus un viedtālruņus, kā arī interneta pārlūkprogrammās. Mēs varam paraudzīties uz modelēto objektu no jebkura skatu punkta, pietuvināties un attālināties no tā, pārvietoties ap objektu.



10. attēls. Koordinātas noteikšana, attāluma, platības un tilpuma mērīšana.

Ļoti vērtīga iespēja ir mērīt modelī zemes un būvju galvenos raksturojošos lielumus – izmērus, augstumu, perimetru, platību, tilpumu, turklāt mērījumi iegūstami arī ar citiem instrumentiem nepieejamās vietās (10. attēls). Vajadzīgo datu savākšana notiek no attāluma, neieejot īpašumā vai objektā, un mērījumus var veikt birojā.

Rekonstruējamās ēkas fasāžu un jumta uzmērīšana

Parasti ēkai, ko plāno rekonstruēt vai renovēt, nav pieejami aktuāli fasāžu un iekštelpu plāni. Ēkas lāzerskenēšana un fotogrammetriskā uzmērīšana ir operatīvi veidi kā iegūt telpiskos datus, kas nepieciešami ēkas rekonstrukcijas sagatavošanai un būvprojekta izstrādei. Fotogrammetriskā uzmērīšana var notikt vienlaikus ar lāzerskenēšanu, papildinot to ar datiem par būves daļām, kas nav vai ir grūti sasniedzamas ar stacionāro lāzerskeneri, piemēram, jumti un būves augšējās daļas. 11. attēlā parādīts ēkas punktu mākonis, kas fasādēm iegūts ar lāzerskenēšanu, bet jumti ir uzmērīti fotogrammetriski.

11. attēls. 3D uzmērīšanas metožu kombinēšana.

12. attēls. 3D realitātes modelis savietots ar topogrāfiskās uzmērīšanas plānu.

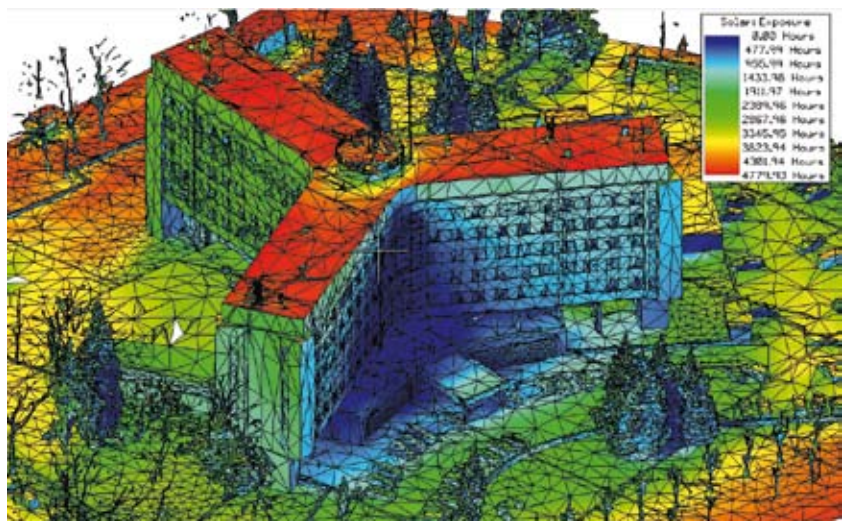
Fotogrammetriskā uzmērīšana būvniecības sagatavošanai

Ar fotogrammetrisko uzmērīšanu iegūst aktuālos datus, kas nepieciešami būves konceptuālā dizaina un būvprojekta, kā arī situācijas plāna izstrādei un prezentācijai – esošā apbūve, teritorijas reljefs, veģetācija u. c. Šos datus papildina ar informāciju no citiem datu avotiem – topogrāfiskā uzmērīšana, kadastra informācija, detālplānojums utt. (12. attēls). Aptveramā platība nav nekādi ierobežota – tā var ietvert atsevišķu esošo būvi, visu būvlaukumu vai arī plašāku teritoriju ap plānoto apbūvi.

Telpiskā analīze

Būvobjekta un apkārtnes 3D reprezentācija dod iespēju veikt telpisko analīzi, kas balstās uz reljefa modeli, būvju, veģetācijas un citu objektu novietojumu, dažādu virsmu novietojumu un īpašībām. Pie šādām analīzes metodēm pieder:

- 3D virsmas īpašību noteikšana – izolīniju konstruēšana, nogāžu slīpuma un augstuma noteikšana;
- punktu mākoņu un virsmu salīdzināšana, nosakot izmaiņu apjomu un raksturu;
- redzamības un noēnojuma analīze;
- Saules ekspozīcijas analīze, kas gada gaitā parādīta 13. attēlā;
- vēja plūsmu modelēšana un slodzes analīze;
- trokšņu izplatīšanās analīze;
- plūdu modelēšana un risku analīze.



13. attēls. Saules ekspozīcijas analīze.

Būvlaukuma modelēšana monitoringam un būvuzraudzībai

Būvniecības laikā būvlaukumu pēc noteiktiem laika intervāliem fotogrammetriski uzmēra un izveido secīgus 3D modeļus, kas ietver laika dimensiju. Šie modeļi dod iespēju kontrolēt būvniecības procesu, salīdzinot reālo situāciju ar projekta dokumentāciju, novērtēt pārmaiņas laikā un izpildīto būvdarbu apjomu, ietverot gan montāžu (14. attēls), gan zemes darbus (15. attēls). Piemēram, divu 3D modeļu salīdzināšana ļauj aprēķināt norakumu un uzbērumu tilpumu un kartēt zemes virsmas izmaiņas.

14. attēls.

15. attēls. Zemes darbu apjoma mērīšana 3D modelī.

Būvju tehniskā stāvokļa dokumentēšana ekspluatācijas laikā

Ēku un būvju ekspluatācijas laikā notiek dabiskā nolietošanās un iespējamas pārmaiņas, kas saistītas ar projektēšanas un būvēšanas laikā pieļautām kļūdām un nepilnībām – ēkas nosēšanās, konstruktīvo elementu deformācija utt. Normatīvie akti paredz daudzdzīvokļu māju un sabiedrisko ēku regulāru apsekošanu, galvenokārt balstoties uz ēkas un tās inženierkomunikāciju iekārtu tehniskā stāvokļa vizuālo pārbaudi. Būves fotogrammetriskā uzņemšana (16. attēls) ļauj ne tikai pārbaudīt ēku vizuāli, tai skaitā novērtēt grūti pieejamās daļas, bet arī nomērīt deformācijas un izmaiņas, modelēt griezumus, šķēlumus un citu telpisko analīzi.

3D modelēšana ļauj risināt dažādus ēku apsaimniekošanas un uzturēšanas uzdevumus: teritorijas izmantošanas optimizācija, redzamības analīze novērošanas kamerām, rīcības plānošana avārijas situāciju novēršanai un evakuācijai, apmeklētāju plūsmas organizācija, iznomājamo platību un telpu pārvaldīšana, komerciālo piedāvājumu mārketings utt. Šie pielietojumi ir aktuāli ēku un būvju pārvaldniekiem un apsaimniekotājiem.

Ēkas 3D fiksācija pirms demontāžas

Būvnoteikumi paredz pirms ēku, kas vecākas par 40 gadiem, nojaukšanas iegūt tās fotofiksāciju. Realitātes 3D modelēšana ir pašlaik labākā fotofiksācijas metode, jo tiek saglabāts ģeometriski precīzs ēkas 3D modelis (17. attēls). Ideālā gadījumā jāsaglabā arī visi uzņemtie fotoattēli un neapstrādātie skenēšanas dati, jo progresē to apstrādes metodes un algoritmi, kas nākotnē ļaus iegūt precīzāku zudušās ēkas virtuālu rekonstrukciju.

3D realitātes modelēšanas pielietojuma loks ir vēl daudz plašāks, tas saistīts ar Būvniecības informācijas modelēšanas (BIM) tehnoloģiju ienākšanu projektēšanā un būvniecībā, kur aktuāli un precīzi 3D dati ir nepieciešami visos BIM procesa etapos, sākot no būvniecības ieceres un darba uzdevuma un beidzot ar ekspluatāciju un nojaukšanu. Patlaban ne visiem projektētājiem un būvniekiem ir iemaņas darbam ar 3D datiem, tāpēc te ir daudz darāmā, pilnveidojot būvnormatīvus, rīkojot jaunas speciālistu mācību programmas, pārskatot būvniecības vadības un kontroles procesus, ieviešot modernas digitālās tehnoloģijas būvlaukumos. **BI**

16. attēls. Daudzstāvu dzīvojamās mājas fotogrammetriskā uzņemšana.

17. attēls. Mežaparka estrādes vecās ēkas 3D modelis pirms demontāžas.