RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Māris KAĻINKA

ARHITEKTŪRAS TELPISKĀS DOKUMENTĒŠANAS TEHNOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2008

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības fakultāte
Transportbūvju institūts
Ģeomātikas katedra

Māris Kaļinka
Būvniecības doktora programmas doktorants

ARHITEKTŪRAS TELPISKĀS DOKUMENTĒŠANAS TEHNOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. hab.hist., profesors
J.ŠTRAUHMANIS

Rīga 2008

“Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas “Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēc doktorantūras pētījumiem” projekta “Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai“ ietvaros “.

„This work has been partly supported by the European Social Fund within the National Programme „Support for the carrying out doctoral study programm’s and post-doctoral researches” project „Support for the development of doctoral studies at Riga Technical University”.

„Эта работа выполнена при содействии Европейского социального фонда в рамках проекта «Поддержка развития докторантуры РТУ» Национальной программы «Содействие осуществлению программ докторантуры и исследований после нее».

Satura rādītājs

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS 4
Tēmas aktualitāte 4
Darba mērķis 7
Darba zinātniskā novitāte 8
Darba praktiskā vērtība 8
Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes 9
Darba sastāvs un apjoms 9
Darba aprobācija un publikācijas 9
DARBA SATURS 10
Pirmā nodaļa 10
Otrā nodaļa 10
Trešā nodaļa 14
Ceturtā nodaļa 16
Piektā nodaļa 21
SECINĀJUMI 30
PUBLIKĀCIJU SARAKSTS 33

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Arhitektūras dokumentēšana ietver daudzus uzdevumus, kas dod priekšstatu par arhitektūru: sniegt telpisko, vēsturisko, tekstuālo informāciju, datus par būvmateriālu ķīmisko sastāvu u.c. Promocijas darbā no arhitektūras dokumentēšanas uzdevumiem tiek apskatīta arhitektūras telpiskā – ģeometrisko izmēru un vizuālā – dokumentēšana.

Objekta ģeometrija nav tikai dokumentēšanas parametrs. Visas specifiskās iespējas radīt objektu kā unikālu ir ar nodomu; visas potenciālās vērtības – arhitektūra, māksla, vēsture, zinātne un sabiedrība – ir parametri, lai to pārdomātu.

Arhitektūras dokumentēšanas uzdevumi Latvijā un pasaulē ir ļoti aktuāli. Tas ir saistīts gan ar objektu fiziskiem restaurācijas vai pārbūves darbiem, gan ar vēsturisko objektu izpēti un restaurāciju, kā arī objektu dokumentēšanu kara vai nemieru apstākļos. Telpiskās dokumentēšanas jautājumi kultūrmantojuma saglabāšanā Latvijā sāka aktualizēties 1960.-1970.gados. Savukārt tehnoloģijas attīstības pirmsākumi ir meklējami jau 19.gs beigās, kur dažāda veida tehnoloģijas un to pielietojuma metodes ir bijušas saistītas ar pašreizējo augstāko mācību iestādi Rīgas Tehniskā universitāti. Laika posmā no 1970.gadiem dokumentēšanas uzdevumi vienmēr ir bijuši saistīti ar ģeodēzijas nozares speciālistiem.

Latvijā vēsturiski dokumentēšanas jautājumi arhitektūrā bijuši saistīti ar kultūrvēsturiskiem pieminekļiem un Valsts Kultūrpieminekļu inspekciju, bet retos gadījumos dokumentēšana pilnvērtīgi tiek veikta restaurācijas vai pārbūves vajadzībām, ne kultūrvēsturiskām ēkām.

Starptautiskā līmenī arhitektūras telpiskā dokumentēšana un to tehnoloģiskie risinājumi ir saistīti ar organizācijām CIPA (International Committe for Heritage Documentation), ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing), ICOMOS (International Counsil on Monuments and Sites), UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) un FIG (International Federation of Surveyors), kuras aktīvi un pasīvi pārstāv arī Latvija.

Šīs organizācijas ir ietvērušas savās rezolūcijās un uzdevumos četrus galvenos virzienus, kas ir tieši saistīti ar promocijas darba tēmu:

- dokumentēt plašu daudzumu informācijas četrās dimensijās (3D + laiks), dažādos formātos, ar dažādiem izejas avotiem un tehniskiem līdzekļiem, ar dažādu līmeņu precizitāti un detalizētības pakāpi,
- digitālā aprīkojuma izstrāde 3D modeļu radīšanai,
- pārvaldīt 4D informāciju un nodrošināt tās pieejamību citiem lietotājiem,
- vizualizēt un prezentēt informāciju lietotājam draudzīgā veidā, nodrošinot tā pieejamību dažādu lietotāju grupām.

Promocijas darbā veiktie pētījumi aptver šo organizāciju uzdevumus. Attīstoties digitālai tehnoloģijai, arhitektūras telpiskā dokumentēšana ir komplicēts process, jo tas ietver iegūto mērījumu objektu parametru aprakstīšana, vizuālās informācijas attēlošanu un datu informācijas strukturizēšanu datubāzēs.

Arhitektūras objektu dokumentēšana ir saistīta ar šādām problēmām:

- objekta ir sarežģītību ,
- objekts ir pieejams īsu laika sprīdi, jo tajā ir bīstami uzturēties vai ir atvēlēts īss laika sprīdis dokumentēšanai,
- objekts ir bīstams dokumentēšanai (konstrukciju stiprība, ārējie apstākļi).

Līdz ar to ir nepieciešams izvērtēt digitālās dokumentēšanas metodes, lai spētu pilnvērtīgi dokumentēt dažādas sarežģītības objektus, ievērtējot objektu izmērus un sarežģītību, kā arī dokumentēšanas precizitātes līmeņus. No arhitektūras telpiskās dokumentēšanas metodēm visplašāk darbā tiek apskatītas terrestiskā digitālā fotogrammetrija, kas tiek izmantota no 1994.gada un 3D lāzerskeneru tehnoloģija, kas Latvijā ir sākta pielietot no 2005.gada Abas iepriekšminētās tehnoloģijas Latvijā sāka pielietot, neveicot padziļinātu izpēti, bet uz pieredzes principu, kas bija iegūta, pielietojot analītisko fotogrammetriju. Bez šīm tehnoloģijām ir arī manuālās uzmērīšanas metodes, kas netiek apskatītas šajā promocijas darbā.

Terrestiskā fotogrammetrija ir mērījumu veikšana no fotogrāfiju kopas, kas uzņemta ar fotokameru zemes virsmas līmenī. Pēdējos gados, attīstoties tehnoloģijai, strauji attīstījušies arī metožu pielietojumu veidi. Fotogrammetrija ir attīstījusies no grafiskās fotogrammetrijas līdz digitālai fotogrammetrijai, visu laiku papildinot vienai otru un nav notikusi ļoti strauja tehnoloģijas maiņa, bet ir pilnveidojušās datorprogrammas. Līdz ar to digitālai terrestiskai fotogrammetrijai nav nepieciešama tehnoloģiskā izpēte, bet ir nepieciešama metodikas

apkopojums, uzlabojums un skaidrojums digitālo reducēto datu pielietošanai. Rezultāti tiek izmantoti dažādu uzdevumu risināšanai: kultūrmantojuma saglabāšanā, objektu rekonstrukcijā, prezentācijā un kontrolē.

Viena no modernām objektu telpiskās informācijas izpētes tehnoloģijām ir 3D lāzerskeneru tehnoloģijas un to rezultāts, kas dod punktu mākoņu kopu, reprezentētu ar RGB krāsu dalījumu. Šai augstas klases mērījumu tehnoloģijai ir lielas iespējas attīstīties arhitektūras, kultūrmantojuma objektu dokumentēšanas un rekonstrukcijas vajadzībām. Šās tehnoloģijas pielietošanas iespējas nav izpētītas arhitektūras dokumentēšanā un nav arī risinājumi rezultātu pielietojumiem. Rezultāti pašreiz tiek izmantoti līdzīgi kā terrestiskās fotogrammetrijas gadījumā, izzīmējot nepieciešamo informāciju 2D vidē. Līdz ar to tiek izmantota tikai daļa no pieejamās informācijas. 3D lāzerskeneru datu kopas mūsdienās saprot arī kā terrestisko fotogrammetriju.

Attīstoties būvniecībai un labklājībai, kļūst aktuāla arī ātru un kvalitatīvu metožu izmantošana esošo būvju dokumentēšanai un restaurācijas projektu precīzai izstrādāšanai. Pieaugot attīstības tendencēm, ir nepieciešams arī iegūt maksimāli pilnvērtīgākus gan būvju apsekošanas rezultātus, gan arī šo rezultātu iespēju izmantošanu turpmākiem objekta attīstības līmeņiem. Īpaši svarīgi tas ir kultūrvēsturisko mantojumu saglabāšanas jomā, kur restaurācijas darbi ir saistīti ar valsts, pašvaldības, ziedojumu vai citiem līdzekļiem, kuri visai bieži ir ierobežotā daudzumā. Šajā sakarā ir nepieciešams iegūt maksimāli daudz ģeometrisko un informatīvo datu par arhitektūras objektu.

Līdz šim Latvijā arhitektūras telpiskās dokumentēšanas jomā ar iespēju iegūt ģeometriskos izmērus un vizuālās informācijas datus izmantoja terrestiskās fotogrammetrijas metodes, kas pārsvarā bija balstītas uz divdimensiju darba vidi, un ļoti daudzos gadījumos tie ir tikai grafiski dati. Tie sniedz daļēju informāciju par objekta telpisko stāvokli. Tai pašā laikā ar šim metodēm bija iespējams analizēt pārsvarā plaknes objekta informāciju, bet apgrūtinoši bija to veikt ar telpiskiem, skulpturāliem objektiem. Izmantojot terrestiskās fotogrammetriskās metodes, objekta dokumentēšana ir sarežģīta gan no ģeometriskā, gan arī laikietilpīguma viedokļa. Respektīvi, datu apstrāde notika ilgstoši un bija sarežģīta, kas savukārt prasa papildus finanšu un cilvēku resursu līdzekļus, ar nepilnīgu atdevi nākotnē. Fotogrammetrisko datu rezultāti tiek uzkrāti papīra veidā. Līdz šim maz tiek izmantotas arī jaunākās tehnoloģijas, kā, piemēram, lāzertehnoloģijas - pilnvērtīgai arhitektūras objekta telpisko datu iegūšanai un lietošanai, kam par iemeslu ir tehnoloģiju augstās izmaksas, rezultātu izmantošanas pieredzes , zinātnisko pētījumu trūkums un atbilstošo speciālistu

trūkums. Tāpat arī iegūtās informācijas pielietojuma un izmantojamība ir bijis aktuāls visos laikos, kad tiek izmantoti privātie, valsts vai ziedotāju līdzekļi

Līdz šim Latvijā un pasaulē nav precīzi definēti metožu izmantošanas veidi un iespējas, kā arī to ietekme uz rezultātu un pielietojuma izdevīgumu nākotnē, kā arī nav pētīta dažādu grafisko programmatūru kombinēšanas iespējas ar telpiskās dokumentēšanas rezultātiem, lai veiktu digitālo datu apmaiņu starp lietotājiem. Tas ir saistīts arī ar to, ka arhitektūras telpiskās dokumentēšanas tehnoloģijas netiek plaši izmantots komerciāli, bet ir piesaistītas pie zinātniskiem un pētniecības centriem.

Ļoti svarīgs jautājums ir dokumentēšanas rezultātā iegūtās informācijas uzkrāšana arhīvu datubāzēs un pieejamība plašam lietotāju lokam, nepazaudējot datu sākotnējo kvalitāti un kvantitāti, bet panākot maksimālo efektivitāti uz informācijas iegūšanu ar maziem finanšu līdzekļiem.

Darba mērķis

Darba mērķis ir izanalizēt un atrast optimālas arhitektūras dokumentēšanas tehnoloģijas, apkopojot 3D lāzerskeneru un terrestiskās fotogrammetrijas rezultātus, un nodrošinot dažādām metodēm iegūtās informācijas apvienošanu augstākās pilnības datu kopu izveidei analīzes, datorizētas vizualizācijas un viegli atjaunojamas informācijas arhivēšanas vajadzībām.

Lai sasniegtu izvirzīto mērķi, promocijas darbā tika izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- Arhitektūras datorizētas telpiskās dokumentēšanas stāvokļa un esošās situācijas apzināšana Latvijā un citur pasaulē;
- Terrestiskās fotogrammetrijas un 3D lāzerskeneru tehnoloģiju izpēte no to precizitātes paaugstināšanas un informācijas apvienošanas viedokļa,
- Arhitektūras datorizētās telpiskās dokumentēšanas rezultātu apvienošana, izvēloties optimālo uzkrāšanas un arhivēšanas veidu.

Darba zinātniskā novitāte

- Ir izpētīta 3D lāzerskeneru tehnoloģijas pielietojums arhitektūras objektu telpiskai dokumentēšanai, un veikta tās rezultātu analīze uz objekta precizitāti un vizualizāciju.
- Ir veikta digitālās terrestiskās fotogrammetrijas un 3D lāzerskeneru tehnoloģiju reducēto datu apvienošana, kas dod iespēju dažādu metožu rezultātus attēlot 3D vidē ar augstu vizuālo izšķirtspēju un absolūtās piesaistes precizitāti, ietverot dažādu grafisko datorprogrammatūru kombinēšanu
- Ir izpētītas fotogrammetrijas un 3D lāzerskaneru programmatūras un atrastas dažādām programmatūrām piederošu moduļu kombinētas izmantošanas iespējas izvirzīto uzdevumu optimālai risināšanai.
- Izstrādāta arhitektūras objektu telpiskās dokumentēšanas informācijas uzglabāšanas struktūra, arhivēšanas un lietojumu vajadzībām.

Darba praktiskā vērtība

- Darba ietvaros ir apkopotas pašreiz izmantojamās digitālās terrestiskās fotogrammetrijas metodes, raksturotas un izvērtētas to pielietošanas priekšrocības un trūkumi Latvijas arhitektūras un kultūrvēsturisko pieminekļu dokumentēšanā. Kā arī izvērtētas dažādu arhitektūras telpiskās dokumentēšanas metožu kombinēšanas iespējas.
- Raksturotas un izvērtētas 3D lāzerskeneru izmantošanas iespējas dažādos apstākļos un tā priekšrocības.
- Veikta digitālo terrestisko fotogrammetrisko un 3D lāzerskaneru datu apstrāde, un rezultātu analīze Rīgas Doma baznīcā, kā arī Karnakas templī un Džosera piramīdā Ēģiptē, analizējot reducēto datu kombinēšanu.
- Izstrādātas arhitektūras objektu telpiskās dokumentēšanas informācijas uzglabāšanas struktūra fotogrammetriskiem un 3D lāzerskeneru rezultātiem, kas ievērojami paplašina telpiskās informācijas pielietošanu dažādam lietotāju lokam.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

- Arhitektūras objektu ģeometrijas dokumentēšanas metožu analīze, kur secināts ,ka nepieciešams veikt rezultātu apvienojumu,
- Pirmoreiz analizēts 3D lāzerskeneru izmantošana kā dokumentēšanas metodi arhitektūras objektu ģeometrijas dokumentēšanā, kuru rezultātā atrasti kļūdu avoti un doti risinājumi datu izmantošanai,
- Pirmoreiz izstrādāta arhitektūras objektu telpiskās dokumentēšanas informācijas uzglabāšanas struktūra, arhivēšanas un lietojumu vajadzībām, aptverot dažādus lietotājus.

Darba sastāvs un apjoms

Promocijas darbs ir patstāvīgs zinātnisks pētījums un tas sastāv sastāv no ievada, 5 nodaļām, secinājumiem un bibliogrāfijas. Darba apjoms ir 127 lappuses, 51 attēls, 3 tabulas, 10 pielikumi un literatūras saraksts, kas satur 140 nosaukumus.

Darba aprobācija un publikācijas

Promorcijas darba rezultāti ziņoti un apspriesti starptautiskajās konferencēs:

- 2008.gada 10.februāris- LU 66.zinātniskā konference,Rīga,
- 2007. gada. 12.oktobris- 48.RTU zinātniskā konference, Rīga,
- 2006.gada 10.februāris- LU 64.zinātniskā konference,Rīga,
- 2006.gada marts –Igaunijā Mērnieku biedrības organizētā starptautiskā konference, Tartu,
- 2005. gada. 13.oktobris- 46. RTU zinātniskā konference, Rīga,
- 2004.gada 15.oktobris- 45.RTU zinātniskā konference, Rīga,
- 2004.gada 10.februāris- LU 62.zinātniskā konference,Rīga.

Galvenie darba rezultāti izklāstīti 6 publikācijās.

Darbs veikts Rīgas Tehniskās universitātes Ģeomātikas katedrā laika posmā no 2002.gada līdz 2008.gadam.

DARBA SATURS

Pirmā nodaļa. Promocijas darba ievadā un **pirmajā nodaļā** ir parādīta problēmas nostādne, kas saistīta ar tradicionālām arhitektūras ģeometrijas dokumentēšanas tehnoloģijām, un formulēts darba mērķis, uzdevumi, zinātniskā un praktiskā nozīme.

Otrajā nodaļā apkopotas arhitektūras dokumentēšanas stāvoklis Latvijā un citur pasaulē, apskatot dažādu periodu dokumentēšanas tehnoloģijas.

Arhitektūras ģeometrijas dokumentēšana ir dažādu ģeometrisku izmēru un to atribūtu (vizuālā un tekstuālā informācija) iegūšana digitālā veidā.

Darbojoties ar arhitektūras telpiskās dokumentēšanas uzdevumiem, izdalām sekojošas galvenās prasības, kas attiecas uz arhitektūras telpisko informāciju:

- Precizitāte- prasības var būt ļoti plašas, kas ir saistītas ar dokumentēšanas rezultāta izmantošanas mērķi, izmaksām utt.,
- Objekta arhitektoniskā analīze- arhitektonisko stilu un tehnisko lielumu analīze. Mērogi ir 1:100, 1:50, 1:10 ar precizitāti līdz 5 cm. Arhitektūras fasāžu plānu un griezumus, kā arī citus dokumentus, iespējams attēlot 2D vektora formā,
- Skulptūru un artefaktu analīze – 3D reprezentācija ar ļoti augstu precizitāti līdz 2 mm,
- Sasaiste ar ĢIS (Ģeogrāfiskās Informācijas Sistēmām),
- Vizuālā interpretācija- objekta ieklāšana ar objekta vizuālā attēla tekstūru.

Galvenās problēmas ir saistītas ar dokumentēšanas rezultātu iegūšanas tehnoloģiju savietošanu ar lietotāju piekļūšanu datiem, un to izmantošanas iespējām digitālā veidā. Latvijā daudzi dokumentēšanas rezultāti tiek sagatavoti papīra formā vai arī tiek sagatavoti digitālā veidā ar izdruku papīra formātā, nenodrošinot digitālā materiāla pieejamību tālākai izpētei. Tas pašreiz ir pilnīgi nepietiekami. Izmantojot mūsdienu tehnoloģijas, dokumentēšanas rezultāts ir jāveido digitālā veidā, aptverot arī telpiskos risinājumus, kur aptvert attēlu un vektoru apstrādi. Dokumentēšanas rezultātā iegūtos digitālos reducētos datus izmanto dažādi lietotāji dažādiem mērķiem. Savukārt katra arhitektūras telpiskās dokumentēšanas metode ietver arī problemātiskos jautājumus, kas saistīts ar dokumentēšanas procesu un rezultātu pieejamību digitālā veidā.

Izmantojot ***fotogrammetrisko uzmērīšanu,*** jāsastopas ar sekojošām problēmām:

- liels attēlu daudzums, lai varētu veikt detalizētu izzīmēšanu;
- ilgstošs ofisa darbs, atkarībā no objekta sarežģītības

un detalizētības nepieciešamības;

- ortofoto izgatavošana skulpturāliem objektiem ir ļoti darbietilpīgs process;
- 3D modeļa radīšana ar augstu precizitāti - 2-3 cm arī ir darbietilpīgs process.

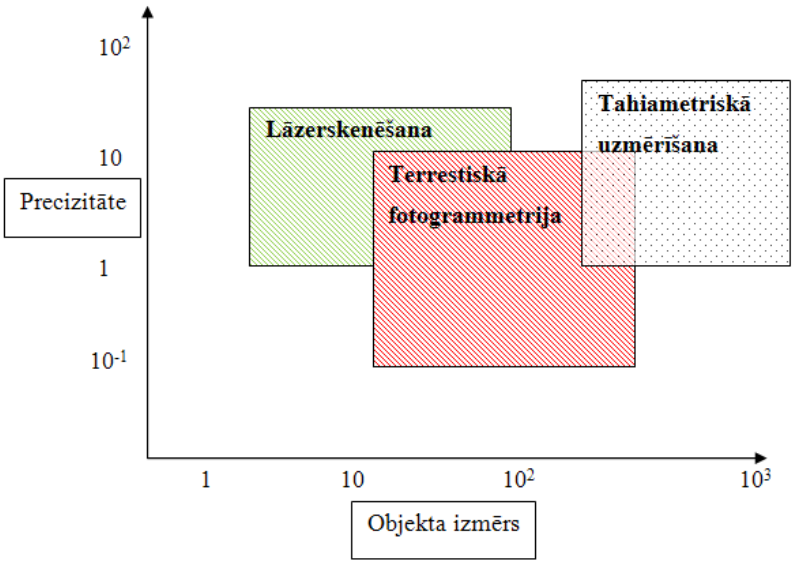
Pielietojot ***tahimetrisko uzmērīšanu*** jāsaskaras ar šādām problēmām:

- zema detalizētība;
- vizualizācijas trūkums;
- darbietilpīgs process augstas detalizētības pakāpes sasniegšanai .

Veicot arhitektūras telpisko dokumentēšanu ar ***3D lāzerskeneri****, ir* nepieciešams atrisināt šādas problēmas.

- Ļoti liels punktu daudzums (kas ne vienmēr ir nepieciešams).
- Punktu mākonis ir izmantojams bieži kopā ar skeneru ražotāju piedāvātām programmatūrām.
- Datu apmaiņa starp dažādām grafiskajām programmām ir problemātiska.
- Nepieciešams nodefinēt uzreiz maksimālās un minimālās precizitātes, jo tas ir saistīts ar laiku, kas tiek pavadīts veicot skenēšanu un mērīšanas soli.
- Uzmērīšanas darbus iespējams veikt tikai pie labvēlīgiem laika apstākļiem.
- Zema digitālā attēla izšķirtspēja (pašreiz 1-2 Mpx).
- Dažādu arhitektonisku virsmu veidošanas programmatūras pagaidām nav pieejamas, bet ir tikai ražotāju vai dažu izstrādātāju programmatūras, piemēram, Geomagic Studio, Phidias.
- Dārgas uzturēšanas izmaksas (līdz 10000 LVL gadā).
- Automātisko 2D vai 3D modeļu iegūšanai nav pietiekami daudz risinājumu.
- Skanēšanu pozīciju izvēle.

Digitālā fotogrammetrija un 3D lāzerskenēšanas pielietošana dokumentēšanā ir ļoti saistīta ar citām mērīšanas tehnoloģijām, datu apstrādes metodēm, kā arī ar inženieruzmērīšanu un lietotāju vajadzībām. Līdz ar to arī precizitāte ir atkarīga no tā, kādas papildus uzmērīšanas tehnoloģijas tiek izmantotas, lai apstrādātu attēlu. (1. att.)



1. att. Sakarība starp objekta izmēriem un dažādu mērīšanas metožu precizitātēm

Dokumentēšanas tehnoloģijas izvēle ir atkarīga no vairākiem iemesliem, no tiem jānosauc:

- objekta arhitektūras stils,
- nepieciešamā precizitāte,
- objekta fiziskās īpašības,
- rezultāta izmantošanas mērķis,
- objekta pieejamība,
- objekta dokumentēšanai atvēlētais laiks.

Veicot dokumentēšanas procesus ar dažādām metodēm, kas izpildītas objektos Rīgas Doma baznīca, Cēsu pilsdrupas, Karnakas templis un Džosera piramīda Ēģiptē, ir apkopotas to priekšrocības un trūkumi.

Apskatot uzskaitīto metožu priekšrocības un trūkumus, var secināt, ka vienas konkrētas metodes izmantošanas priekšrocība nav viennozīmīga. Līdz ar to varam secināt, ka jāveic dažādu metožu un to rezultātu kombinēšana.

Galvenās priekšrocības, ko iegūst no kombinēšanas:

- Ātra datu informācija iegūšana.
- Iespēja izmantot dažādiem mērogiem.
- Iespēja pielietot dažādiem rezultātu attēlošanas un izmantošanas mērķiem.

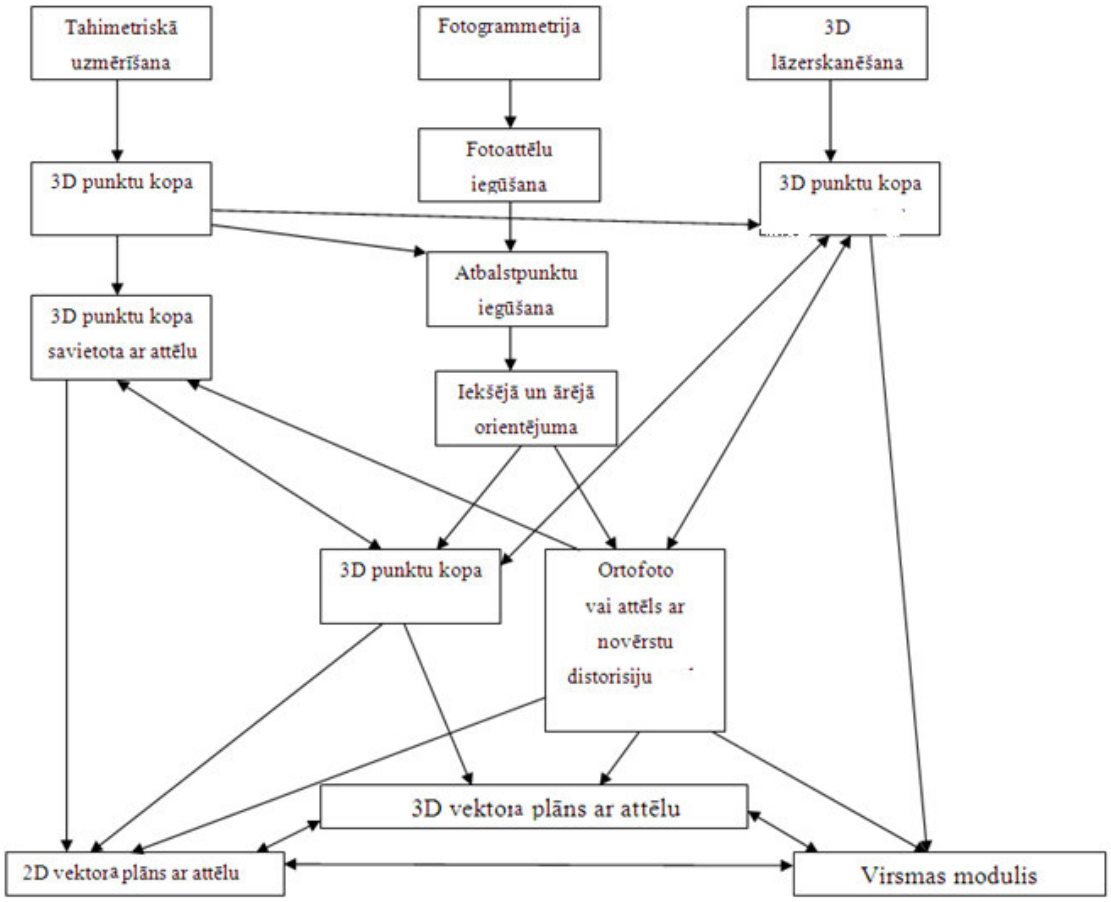
- Iespēja pielietot dažādiem arhitektūras stiliem, attēlojot tos kā punktu mākoņu kopu.
- Ērta izmantošana skulptūru un liektu virsmu dokumentēšanā.
- Datu apstrādi ir iespējams veikt ilgākā laika periodā, apstrādājot tikai nepieciešamās objekta vietas.
- Augsta precizitāte, veicot ortofoto izgatavošanu - ir iespējams iegūt maksimāli daudz atbalstpunktu.
- Veicot objekta fotografēšanu fotogrammetriskai apstrādei, nav nepieciešama objekta marķēšana.
- Iespēja vienai metodei aizvietot otru vietās, kur kādu tehnisku vai fizisku iemeslu dēļ (piemēram, virsmas atstarošanās īpašību dēļ) nav iespējams kādu no metodēm izmantot.

Apvienošanas ceļā rada un attēlo objektus pa dažādiem etapiem:

- izteiktām plaknes šķautnēm rada 2D vai 3D vektora elementus,
- skulptūrām un citām telpiskām figūrām rada virsmas objektus,
- veic plaknes un virsmu apvienošanu,
- veic elementu animēšanu.

Pielietojot dažādas metodes iegūst iespēju apmainīties ar izejas datu informācijām, piemēram, izpildot fotogrammetriskos, tahimetriskos vai lāzerskeneru mērījumus, atbalsta punkta koordinātas iegūst no tahimetriskiem vai lāzerskeneru mērījumiem, kur izvēlas labi identificējamu objektu. Savukārt tahimetriskos mērījumus papildina ar attēliem no fotogrammetriskās apstrādes, veicot šo attēlu transformēšanu uz objekta koordinātu sistēmu. Savukārt ortofoto iegūšanai fotografēta attēla vietā pielieto punktu mākoņu kopas attēlojumu RGB krāsu dalījumā. Tādā veidā ir iespējams iegūt laika ekonomiju gan dokumentēšanas laikā, gan datu apstrādes un rezultāta iegūšanas laikā. Ir iespējams ieekonomēt aptuveni 2/3 laika, ko aizņem datu apstrāde. Šo laiku veido, ka fotogrammetriskai apstrādei dati tiek iegūti no 3D lāzerskenera datiem un nav nepieciešama veikt papildus datu iegūšana attēlu apstrādi veic tikai plaknes virsmām, un pārējo daļu attēlo kā 3D lāzerskeneru datu kopu RGB formātā, neveicot izzīmēšanu 2D plaknē.

Dokumentēšanas gaita pēc metožu kombinēšanas un rezultātu iegūšana digitālā veidā parādīta 2.attēlā.



2.att. Kombinēto metožu dokumentēšanas datu savstarpējā apmaiņa

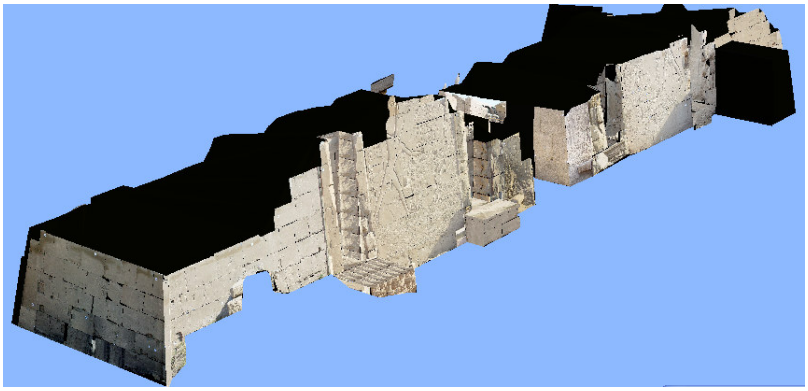
Trešajā nodaļā apkopotas dažādu digitālās dokumentēšanas tehnoloģijas, doti to raksturojumi un metožu kombinēšanas analīze.

Šajā nodaļā sniegts digitālo dokumentēšanas tehnoloģiju metožu raksturojums, izmantojot digitālo fotogrammetriju un tahimetrisko uzmērīšanu. Digitālā fotogrammetrija un tahimetriskā uzmērīšana ir visvairāk izmantotās uzmērīšanas metodes, kas Latvijā ienāca ar 1994. gadu, bet kā ēkas telpiskās dokumentēšanas metodi bija iespējams izmantot ar 1998-2002. gadu. Tas bija saistīts ar tahimetru, digitālo fotoaparātu un citu digitālo tehniku attīstību. Veicot attēla digitālo apstrādi un tā savietošanu ar vektora datiem, ir svarīgi apskatīt attēla transformācijas uzdevumus, piemēram, afīnā vai projektīvā transformācija, un to raksturojumus.

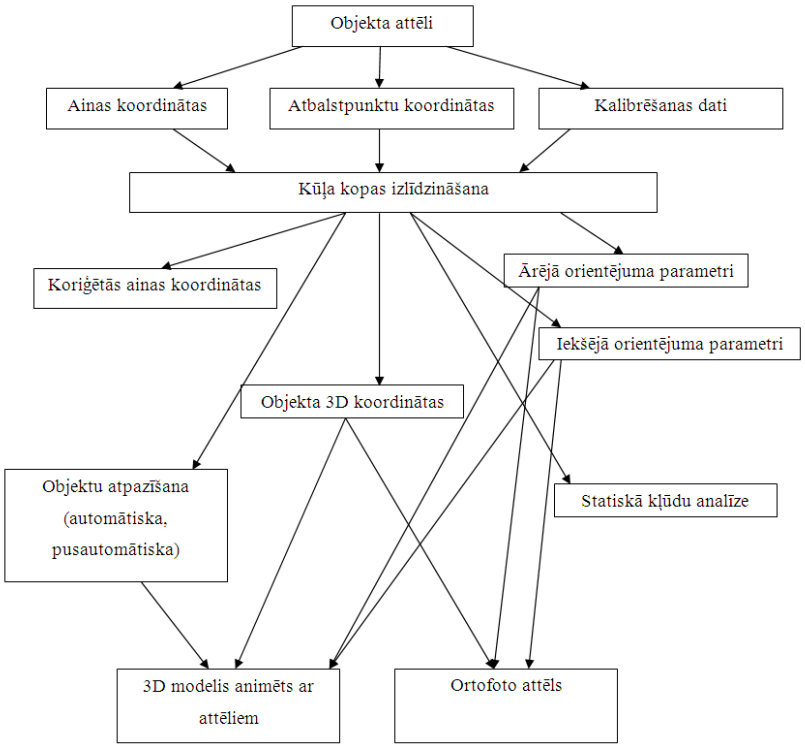
Fotogrammetrija un tahimetriskā uzmērīšana viena otru papildina. Fotogrammetriskās metodes mūsu gadījumā tiek piedāvātas, lai iegūtu objekta vispārējo ģeometriju un fotoattēlus

bez sagrozījumiem. Savukārt tahimetrisko uzmērīšanu izmanto, lai iegūtu atbalstpunktu koordinātas un uzlabotu absolūto objekta ģeometriju, kur tas nav iespējams vai nav efektīvi ar fotogrammetrisko uzmērīšanu.

Fotogrammetriskā uzmērīšanas tehnoloģija arhitektūras ģeometrijas dokumentēšanā ir saistīta ar attēlu apstrādes diviem gadījumiem: **attēla apstrādi plaknē un uz liektas virsmas.** Šos apstrādes uzdevumus ir iespējams skatīt 3D vidē vai arī to projekciju 2D vidē. Arhitektūras ģeometrijas dokumentēšanā attēlu apstrāde pārsvarā gadījumu, pēc mūsu domām ir saistīta ar attēla izklāšanu uz plaknes virsmas telpā, kas ir saistīts ar arhitektūras dokumentēšanas rezultāta pielietojumu un apstrādes ilgumu. Izmantojot galveno kontūru vektoru datu iegūšanu no fotogrammetriskās apstrādes un tā papildināšanu ar attēliem, kuri ir transformēti uz plaknes virsmu, ir ātrāks rezultātu attēlošanas veids nekā attēla vektorizēšana 2D vidē. 3.attēlā ir attēlots Karnaka tempļa Ēģiptē 7.pilona 3D modelis, kas ir iegūts, apstrādājot fotogrammetriski attēlus, un animēts ar transformētiem attēliem uz slīpu plakni 3D telpā Bentley MicroStation vidē. Šāds risinājums dod iespēju taupīt laiku uz vektorizāciju un iespēju analizēt nepieciešamo objekta vietu 3D telpā. 4.attēls parāda mūsu piedāvāto objekta apstrādes tehnoloģisko gaitu, veicot objekta dokumentāciju, izmantojot fotogrammetriju un tahimetrisko uzmērīšanu, rezultāta animēšanu ar attēliem 3D vidē. Attēlā 4. attēlotā kūļa attēla apstrādes gaita ir papildināta ar 3D modeļa radīšanu ar animētiem attēliem, kas ir izmēģināts Karnakas tempļa un citu Ēģiptes republikā atrodošo objektu dokumentēšanā.



3.att. Karnakas tempļa 7.pilona 3D modelis ar attēliem Ēģiptē



4.att. Kūļa apstrādes tehnoloģiskā līnija

Šajā nodaļā, apskatot digitālās dokumentēšanas metodes, ir pirmoreiz Latvijā definētas pielietošanā izpildāmie etapi un raksturoti to izpildes gaita. Nodaļā raksturotās tehnoloģijas ir izmantotas Karnakas tempļa 7. pilona dokumentēšanā Ēģiptē, kur pirmoreiz šajā objektā tika izmantota digitālā arhitektūras telpiskā dokumentēšana, izmantojot datu apstrādi ar fotogrammetrisko programmatūru Photomodeler, karkasa uzmērīšanu ar elektronisko tahimetru un attēla transformāciju uz vektora elementiem ar similāro un projektīvo transformācijas metodēm, izmantojot Bentley programmatūru Image Analyst.

Veicot digitāla attēla apstrādi plaknē, nav nepieciešama specializētas fotogrammetriskas programmatūras lietošana, bet apstrādi var veikt izmantojot CAD programmatūru, piemēram, Bentley programmatūru. Tā satur attēla transformācijas moduļus, kur novērsti attēla sagrozījumi.

Analizējot digitālās tehnoloģijas, secinām, ka neviena tehnoloģija un metode nenodrošina ātru attēla transformāciju un virsmas modeļa iegūšanu uz kompleksiem arhitektūras objektiem, kas satur skulptūras un apaļas formas.

4.nodaļā ir analizēta 3D lāzerskeneru tehnoloģija un tās izmantošanas iespējas. Nodaļas mērķis ir dot ieteikumus par 3D lāzerskeneru izmantošanu kā arhitektūras telpiskās dokumentēšanas instrumentu. 3D lāzerskeneru pamatmērķis ir dot virsmas modeli objektam,

kas satur gan attēlu, lāzerstara intensitātes un punktu mākoņu kopu. Līdz ar to ir nepieciešams apkopot dokumentēšanas principus un kļūdu rašanās avotus, un dot risinājumus kā 3D lāzerskenerus pielietot dokumentēšanas procesā.

Lāzerskenera pielietošanas priekšrocības, salīdzinot ar fotogrammetrijas izmantošanu, ir šādas:

- detalizētāki rezultāti,
- augstāka punktu izšķirtspēja,
- iegūto 3D punktu (x, y, z, un RGB (red-green-blue) krāsās) pārvaldība,
- liela skaita punktu kopas uz skanētās virsmas iegūšana,
- izcila tehnika, aprakstot neregulāras virsmas (reljefu, skulptūras),
- rezultātu (telpiskās koordinātas) pieejamība ļoti īsā laikā.

Lāzerskeneru pielietošanas trūkumi:

- augstas tehniskās aparatūras un uzturēšanas izmaksas,
- liels izkliedētu punktu daudzums,
- apkārtējās vides ierobežojumi (laika apstākļi).

Terrestriskās lāzerskenēšanas sistēmas nodrošina objektu modelēšanu bez mērogošanas un kompleksētības. Lāzerskenēšanas tehnoloģijas pielietošana arhitektūrā atkarīga no sasniedzamā mērķa un gala rezultātiem.

Lāzerskenēšanas tehnoloģijas pielietošana arhitektūrā saistīta ar sasniedzamo mērķi un gala rezultātiem, kas minēti 2. nodaļā. Šīs metodes pielietojums nemaina dokumentēšanas jēgu- iegūt gan ģeometrisko, gan vizuālo informāciju par objektu.

Veicot dokumentēšanas procesus praktiski promocijas darba ietvaros, pielietojot 3D lāzerskeneri, promocijas darba ir definēti sekojoši uzdevumi:

- Objekta 3D koordinātu iegūšana.
- Precīza virsmas moduļa noteikšana.
- Neregulāras virsmas noteikšana.
- Liela apjoma rezultātu iegūšana samērā īsā laika momentā.
- Rezultātu izmantošanas iespējas datubāzēs.
- 2D vektora informācijas iegūšana, kas ir dažāda veida profila vai frontālie rasējumi.
- Ilglaicīgais monitorings, kad ar noteiktu vai nenoteiktu laika sprīdi atkārtoti veic virsmas novērojumus.
- Virsmas materiāla atpazīšana pēc atstarošanas īpašībām.

Citas pielietošanas sfēras kultūrmantojuma dokumentēšanā.:

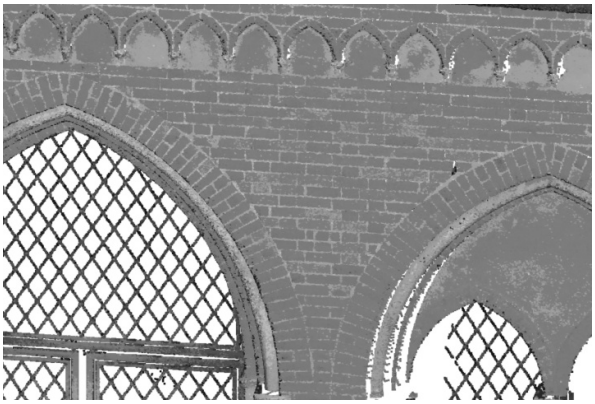
- Dažāda veida grafiskā materiāla radīšana dokumentēšanas datubāzes veidošanai.
- Slēgta diapazona redzes spēju un telpiskās sistēmas attīstība un izmantošana datu ierakstīšanai, kartēšanai un 3D modelēšanai un attēlošanai arhitektūras struktūras kultūras mantojumā.
- Kultūrmantojuma sekmēšana un darba atvieglošana, lietojot interneta tīmekli un animācijas tehnoloģiju.

3D lāzerskeneru rezultātu ietekmējošie faktori, veicot praktisko uzmērīšanu, ir sekojoši, ja tiek pieņemts tradicionālais veids, ka nepieciešams ortofoto un 2D vektora rasējums vai 3D modelis:

- attālums līdz objektam,
- attēla kvalitāte,
- virsmas kvalitāte,
- virsmas atstarošanās īpašības attiecībā pret lāzeri,
- attēla optiskās īpašības,
- objekta arhitektoniskais risinājums un aizēnojuma jautājums,
- stara diverģence.

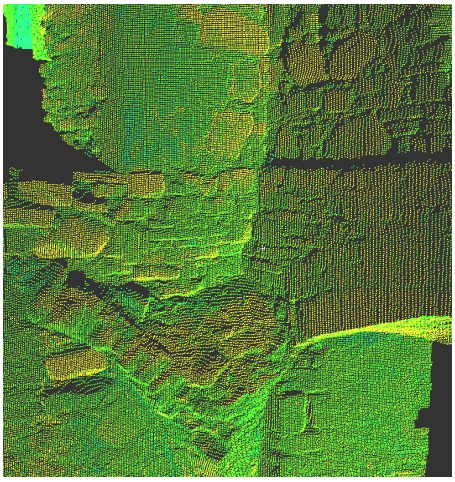
Lāzerskenera rezultātu ietekmē gan optiskie, gan ģeodēziskie un fiziskie faktori.

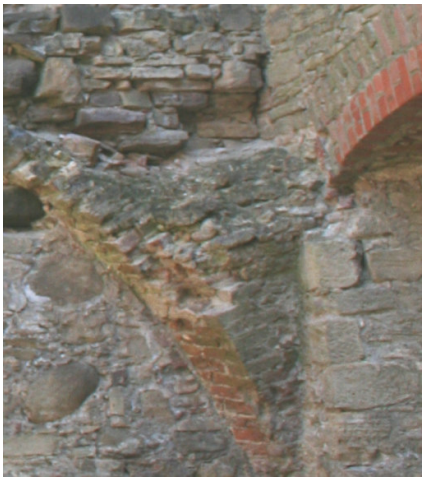
- Lāzermērīšanas kļūdas.
- Koordinātu sistēmas definēšanas kļūda.
- Ģeodēziskā tīkla kļūda.
- Kalibrēšanas parametri.
- Digitālās kameras izšķirtspēja.
- Subjektīvās kļūdas.
- Meteoroloģiskie faktori – saule, temperatūra.
- Virsmas atstarošanas īpašības, multi-ceļa ietekme.
- Konverģences kļūda .
- Punktu daudzums uz laukuma vienību *(5.att.)*.



5.att. Punktu izšķirtspēja uz ķieģeļu un cementa javas virsmas [autora]:
a) ar soli 1-2 cm, b) ar soli 1-5 mm

Apskatot visus iepriekšminētos ietekmes faktorus, var secināt, ka tie visi ietekmē 3D skenera datu attēlošanu programnodrošināšanā, kur lāzermērīšanas kļūdas attēlojas kā datu intensitāte. Datu intensitāte ietver vairākus parametrus, tādus kā objekta dziļums jeb lāzerstara attālums līdz objektam, atstarošanās īpašības. Lāzerstara intensitāte ir proporcionāla attāluma kvadrātam. Attēla kvalitāte ir atkarīga no attāluma, kāds ir līdz objektam un fotokameras datiem. Datu intensitātes rezultāts ir redzams 6.attēlā.





6. att. Akmens materiālu sienu skenējums ar soli 1-2 cm Cēsu pilsdrupas 10 m attālumā no skenera

Latvijas apstākļiem, kur arhitektūrā ir pieejami dažādi arhitektūras stili, piemēram, romānika, gotika, jūgendstils u.c., nepieciešams izanalizēt konkrētā arhitektūras stila pazīmes un noteikt skenēšanas soli un attēlošanas veidu : 3D punktu mākonis, 3D vektora modulis vai 2D vektora modulis. Galvenie problemātiskie jautājumi, kam jāpievērš uzmanība, darbojoties ar 3D punktu kopu ir:

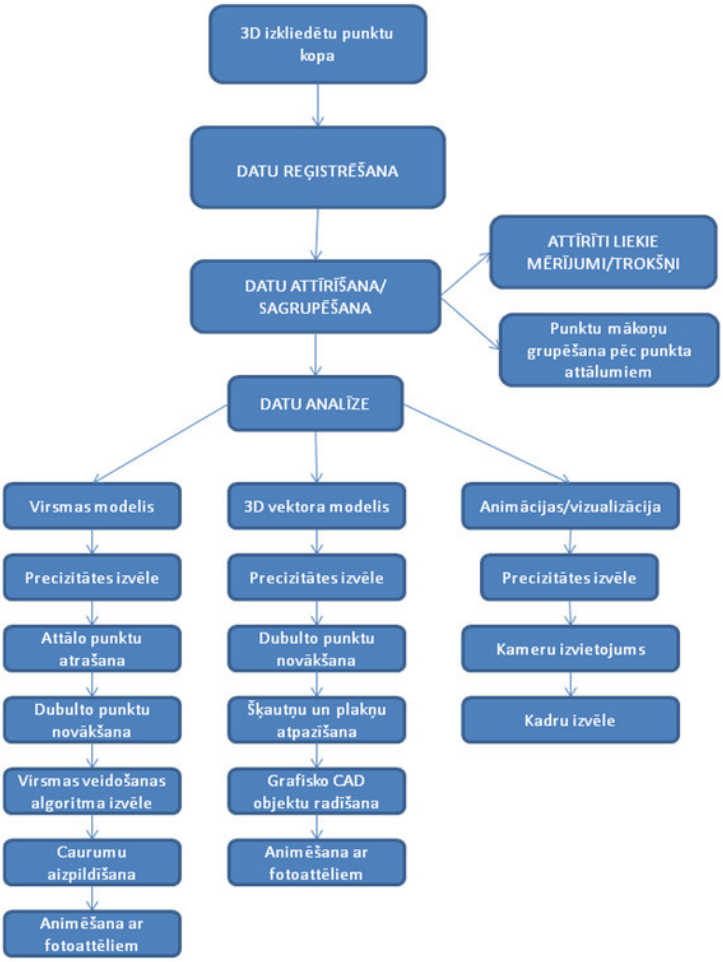
- šķautņu izšķiršana, novēršot konverģenci,

- 3D punktu kopas krāsas īpašības no fotokameras – objekta vizuālā interpretācija un uztvere saistīta ar fotokameras izšķirtspēju.

Eksperimentālo mērījumu analīzē konstatēts, ka optimālākais punktu savstarpējais attālums ir 1-3 cm, kur: līdz 3 cm plakanai virsmai, līdz 1,5 cm apaļām virsmām.

3D lāzerskeneru tehnoloģiju ir iespējams lietot Latvijas arhitektūras ģeometrijas dokumentēšanā un citur. Optimālākais skenēšanas solis ir 1 līdz 1,5 cm. Punktu mākoņu kopu var pielietot gan kā vizuālu informācijas attēlojumu, gan kā ģeometrijas informācijas avotu. Kā punkta mākoņa vizuālai attēlošanai un ģeometriskās informācijas iegūšanai no punktu kopas, tiek rekomendēts izmantot lāzerstara punkta intensitātes krāsas.

Ir definēti datu apstrādes un analīzes etapi 3D izkliedētu punktu datiem, kas attēloti 7.attēlā



7. att. 3D punktu kopas datu apstrādes un analīzes galvenie etapi

Piektā nodaļā analizēti arhitektūras objektu telpiskās dokumentēšanas piemēri, piedāvāts grafisko datu apmaiņas veids starp programmatūrām. Izstrādāts 3D lāzerskenēšanas un fotogrammetriskās tehnoloģijas datu un rezultātu uzglabāšanas, arhivēšanas datubāzes struktūra.

Veicot arhitektūras telpisko dokumentēšanu ar 3D lāzerskeneru un terrestiskās fotogrammetrijas tehnoloģiju, tiek iegūts liels apjoms informācijas digitālā formātā. Dokumentējot objektus ar mērķi iegūt ģeometrisko un vizuālo informāciju par arhitektūras objektu, pielietojot fotogrammetrisko un lāzerskenēšanas metodes, tiek iegūti sekojoša veida dati:

- 3D koordinātu punktu kopa,
- vektora dati,
- attēlu stereo pāru ainas,
- kūļa attēlu apstrādes datubāze,
- atsevišķu attēlu datubāze,
- 3D lāzerskeneru punktu kopa,
- 3D lāzerskeneru attēlu datubāze.

Visus iepriekš uzskaitītos datus ir nepieciešams strukturizēt un atrast optimālāko datu glabāšanas, apmaiņas un publiskai lietošanai pieejamāko variantu. Lai varētu atrisināt šo uzdevumu, nepieciešams atrisināt sekojošus jautājumus:

- nepieciešams apzināt datu uzglabāšanas uzstādījumus un rezultātus,
- datu apmaiņas iespējas starp lietotājiem bez specializētām datu iegūšanas programmatūrām, kā, piemēram, 3D lāzerskeneru datu un fotogrammetrisko datu apstrādes programmatūras.

Šajā nodaļā apskatītie jautājumi ir balstīti uz pētījumiem, kas veikti izmantojot Rīgas Doma baznīcas, Ēģiptē un Cēsu viduslaiku pilī iegūtos dokumentēšanas informāciju. Pētījumu metodika ir balstīta uz grafisko, terrestiskās fotogrammetrijas un 3D lāzerskeneru datu apstrādes programmatūru iespējām, un virsmas aproksimācijas algoritmi, izmantojot 3D lāzerskeneru datus.

Tehnoloģiskais risinājums datu apmaiņai 3D punkta mākoņa datiem

Veicot datu apstrādi ar dažādākām programmatūrām, CAD programmatūrai ir jāatrod formāts, kas spēj ātri un, neprasot lieku datu konvertēšanu, darboties CAD vidē. Iespējamie

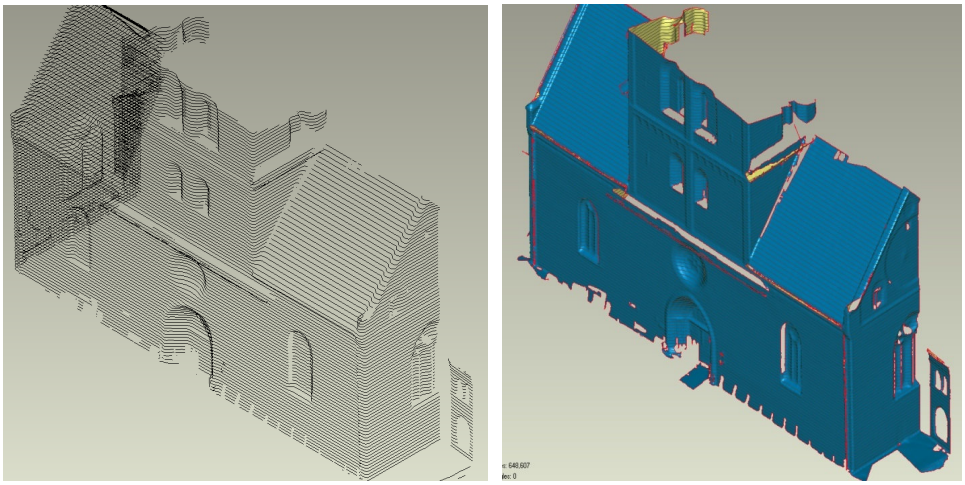
formāti ir no punkta mākoņa formāta nonākt vektora formātā, kas satur kādu no vektora elementu īpašībām.

Pieņemot, ka punktu mākonis ir izsvaidīta punktu kopa, tās pārvēršana kādā no vektora formātiem ir iespējama sekojoši:

- radīt virsmas modeli,
- radīt BSPLINE vai NURBE līknes ,
- radīt 3D vektora elementus.

Izejot no iespējamiem aprakstiem, virmas modeļa radīšanā ir nepieciešams veikt punkta mākoņa aproksimēšanu pēc BSPLINE NURBE līnijām, izmantojot

BSPLINE aproksimāciju pēc liela punkta daudzuma. 8.attēlā ir parādīti Bspline risinājumi Rīgas Doma baznīcai. Bspline līknes ir iespējams izmantot gan virsmas modeļa radīšanai, pielietojot BSPLINE virsotnes kā kontrolpunktus trijstūru ģenerēšanai, gan arī BSPLINE izmantošanu kā vektora elementu CAD grafiskajās programmās, kur šos elementus ir iespējams pārvērst gan kā mesh, gan kā smartsurface (BSPLINE surface) vai solid tipa telpiskajos elementos.



8.att. Rīgas Doma baznīcas austrumu ieeja Bspline līniju un Mesh formātā veidota ar Geomagic Studio WRML formātā

Pētījumu rezultātā rekomendējam IGES grafisko datu apmaiņas formātu izmantot kā apmaiņas formātu starp 3D lāzerskeneru punkta mākoņa datiem un CAD sistēmām. Kā grafiskos elementus datu apmaiņai rekomendējam izmantot BSPLINE un MESH.

Arhitektūras objekta virsmas attēlošana labākais variants ir MESH elementa formāts, bet priekš apmaiņas izmantot BSPLINE elementu, kas nodrošina virsmas liekuma kvalitātes

saglabāšanu un ir piemērojms gan kā virsmas attēlojuma elements, gan arī priekš virsmas veidošanas kā MESH elementu lietotāja programmatūrā.

Tehnoloģiskais risinājums datu apmaiņai un vizualizēšanai digitālās fotogrammetrijas datiem

Digitālās fotogrammetrijas rezultāti tiek izteikti vairākos failu formātos, kas satur attēla informāciju, kameru kalibrācijas informāciju, kūļa izlīdzināšanas informāciju, vektora rasējuma vai 3D virsmas modeļa informāciju. Šie datu formāti, līdzīgi kā 3D lāzerskeneru dati, ir salīdzinoši mazāki, bet tomēr apjomīgi pēc failu izmēriem. Attēla saturošie failu formāti var sasniegt līdz 100 MB.

Attēlu datu formāti ir:

- Jpg,
- Bmp,
- Tiff.

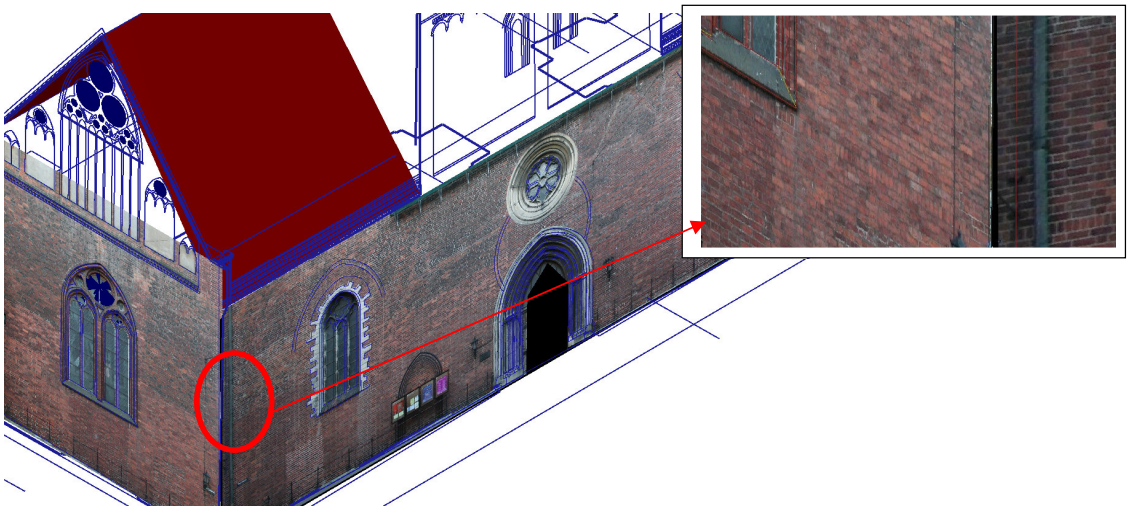
CAD datu formāti ir:

- Dwg,
- Dgn,
- Dxf.

Apskatot digitālās fotogrammetrijas datus, svarīgi ir attēla savietošana ar CAD formātiem, un 3D virsmas moduli.

Apskatot attēlu savietojamību ar grafiskajām datorprogrammām, piemēram, MicroStation, nav problēmu ar attēlu savietojamību 2D plaknes vidē. 3D vidē attēlu savietojamība ir sarežģīta, kas saistīta ar attēla uzlikšanu uz izliektas virsmas, bet uz slīpas plaknes virsmas attēlu savietojamība ir līdzīga kā 2D. 3D attēlu savietojamībā ar virsmas modeli nepieciešams izvērtēt tā lietderīgumu un svarīgumu. Tas nozīmē, ka nepieciešams izvērtēt vai lietotājam ir svarīga vizualizācija vai arī attēla savietojamības precizitāte. Ja nav svarīga augsta savietošanas precizitāte, kas ir atkarīga no virsmas reljefa, tad labākais un efektīvākais risinājums ir izmantot grafisko programmu piedāvātos ekrāna vizualizācijas (*render*) iespējas 3D vidē, piesaistot attēlu kā virsmas elementa atribūtu.*(material).* Izmantojot šo tehnisko risinājumu Bentley MicroStation vidē, iegūst, ka attēls glabājas datubāzē, un attēla informācija tiek piesaistīta konkrētam objekta laukumam grafiskajā failā neveicot visu attēlu ielādi grafiskajos failos. Plaknes rezultātu precizitāte pielikumos attēlotajos piemēros ir 6 mm, kas ir saistīta ar objekta atbalstpunktu detalizētu uzmērīšanu un

tā precizitāti. Apstrāde ir veikta izmantojot Bentley Image Analyst un Bentley MicroStation Virsmas modeļa savietošanas precizitāte Rīgas Doma baznīcas Rietumu fasādei ir 5-10 cm, kas ir saistīts ar to, ka atbalstpunkti ir izvēlēti logu ailas un fasādes stūri. Augstākas precizitātes sasniegšanai ir jāveic detalizētāka atbalstpunktu izvēle pa virsmu, ietverot raksturīgākos reljefa maiņas punktus. Piemērs ir attēlots 9.attēlā



9.att. 3D vektora modelis animēts ar ortofoto attēlu 8 Mb pikseļu

Apskatot iepriekš izklāstīto, varam secināt, ka attēlu ieklāšanu uz virsmas ir iespējams veikt gan plaknes gadījumā, gan virsmas gadījumā. Ieteicams ir izmantot attēlu kā vienu no virsmas elementa atribūtiem. Attēla ieteicamais formāts ir jpg un bmp.

Digitālās fotogrammetrijas un 3D lāzerskeneru datu apvienojums

3D lāzerskeneru datu apvienojumam ar fotogrammetrijas datiem ir vairākas priekšrocības:

- iegūst augstu vizualizācijas pakāpi;
- iegūst augstu detalizētības pakāpi;
- vizualizēts virsmas modelis.

Bet ir arī trūkumi:

- Nepieciešamas specializētas programmas, kas veic punkta mākoņa datu apstrādi un fotogrammetrijas datu apstrādi kopā. Kā piemēru varam minēt Phidias programmatūru, kas ir balstīta uz Bentley MicroStation bāzes ietverot apakšmoduli Phidias, kas veic datu fotogrammetrisko apstrādi un Bentley CloudWorks, kas veic punkta mākoņa apstrādi;

- Ilgstošs un sarežģīts attēlu savietošana ar punkta mākoņa virsmu., kas veido apaļas formas

Analizējot esošās programmatūras datu glabāšanai un attēlošanai, secināts, ka fotogrammetriskiem un 3D lāzerskeneru neapstrādātiem mērījumu datiem neveic apvienošanu, bet veic to savstarpēju uzlabošanu. Savukārt apvienošanu rekomendējam 3D lāzerskeneru un fotogrammetrisko mērījumu reducētiem datiem. Apvienošanu veic 3D vidē, izmantojot grafisko datorprogrammu vizualizāciju (render), piešķirot grafiskajam elementam kā parametru attēlu.Veicot šādu kombināciju, iegūstam augstas kvalitātes vizualizāciju ar pietiekamu precizitāti. Rezultātā precizitāte: 3D plaknes virsmai ar reljefu un izvirzījumiem no 2 lidz 5 cm: precizitāte līdz 5 cm, 3D plaknes virsmai ar reljefu un izvizījumiem zem 2 cm : precizitāte lidz 1 cm. Šādas informācijas attēlošanas kopai nepieciešama datorprogrammatūra, kas nodrošina grafisko darbību 3D vidē ar punktu mākoni, un attēlu piesaisti pie 3D elementiem. Kā vienu no piemērotākām var minēt Bentley MicroStation XM ar virsmas ģenerēšanas iespējām MESH formātā un attēla vizualizēšanu 3D virsmas elementiem.

Arhitektūras telpiskās dokumentēšanas rezultātu un datu uzglabāšanas, arhivēšanas struktūra

Galvenie uzdevumi, kas jāveic datu uzglabāšanas sistēmai ir sekojoši:

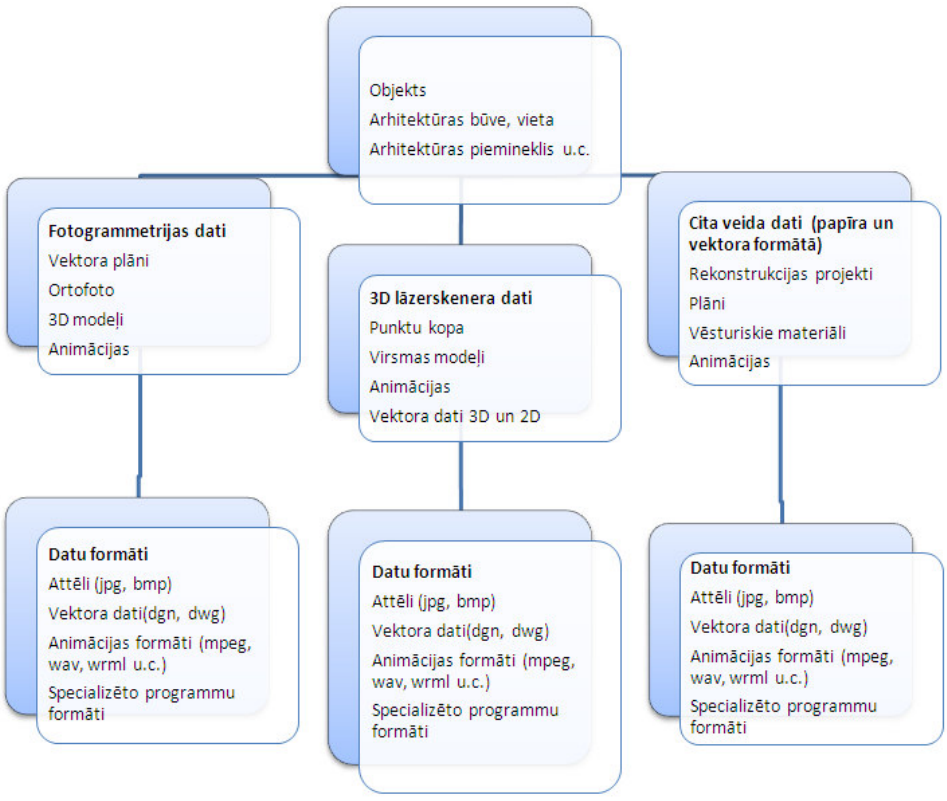
- Metadatu formāts un vadība,
- Dokumentēšanas rezultātu publicēšana,
- Saites nodrošināšana starp datubāzi, metadatiem, publicēšanas un glabāšanas(oriģinālo) formātu,
- Ekonomiski izdevīgs datorprogrammu risinājums un neprasot augstu darba izmaksas,
- Piekļūšana oriģināliem mērījuma un rezultātu failiem,
- Attālinātai datu piekļuvei,
- Datu ātra apskatīšana,
- Izdrukas iespējas,
- Datu pārsūtīšanas iespējas,
- Datu aktualizēšanas iespējas.

Cits ne mazāk svarīgs jautājums ir lietotāji, kas pārstāv dažāda veida nozares un ir dažāda veida eksperti, kas ne vienmēr ir profesionāļi CAD, 3D datu apstrādes vai citas datorprogrammatūras speciālisti:

- profesionālās nozares lietotāji – lietotāji, kas prot strādāt ar profesionālām programmatūrām, spēj sagatavot un ievietot informāciju,
- nozares eksperti un analītiķi- speciālisti, kas ne vienmēr prot strādāt ar grafiskām programmatūrām un orientēties failu sistēmā,
- interesenti – lietotāji, kas ieskatās un iegūst informāciju, bet kuriem nav nepieciešams informāciju lietot.

Lietotāji uzliek datu uzkrāšanas sistēmai papildus uzstādījumu – tai jābūt vienkārši saprotamai un vadāmai.

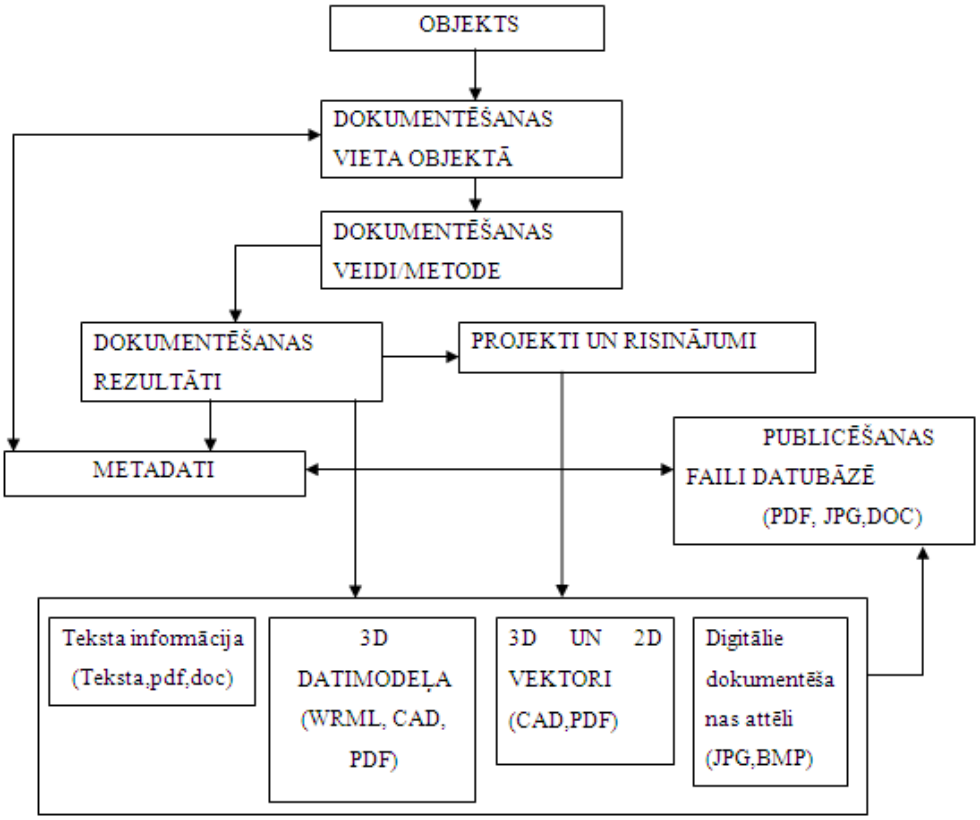
Viena no lielākajām un aktuālākām problēmām datu publicēšanas sakarā ir dažādie dokumentēšanas rezultātu formāti. No visiem datu formātiem problemātiskākie ir datu apmaiņa ar 3D lāzerskeneru datiem, kuri pārsvarā ir saistīti ar lāzerskeneru programmatūrām. 10.attēlā ir parādīti dokumentu veidi un rezultāti, kas tiek iegūti dokumentēšanas procesā.



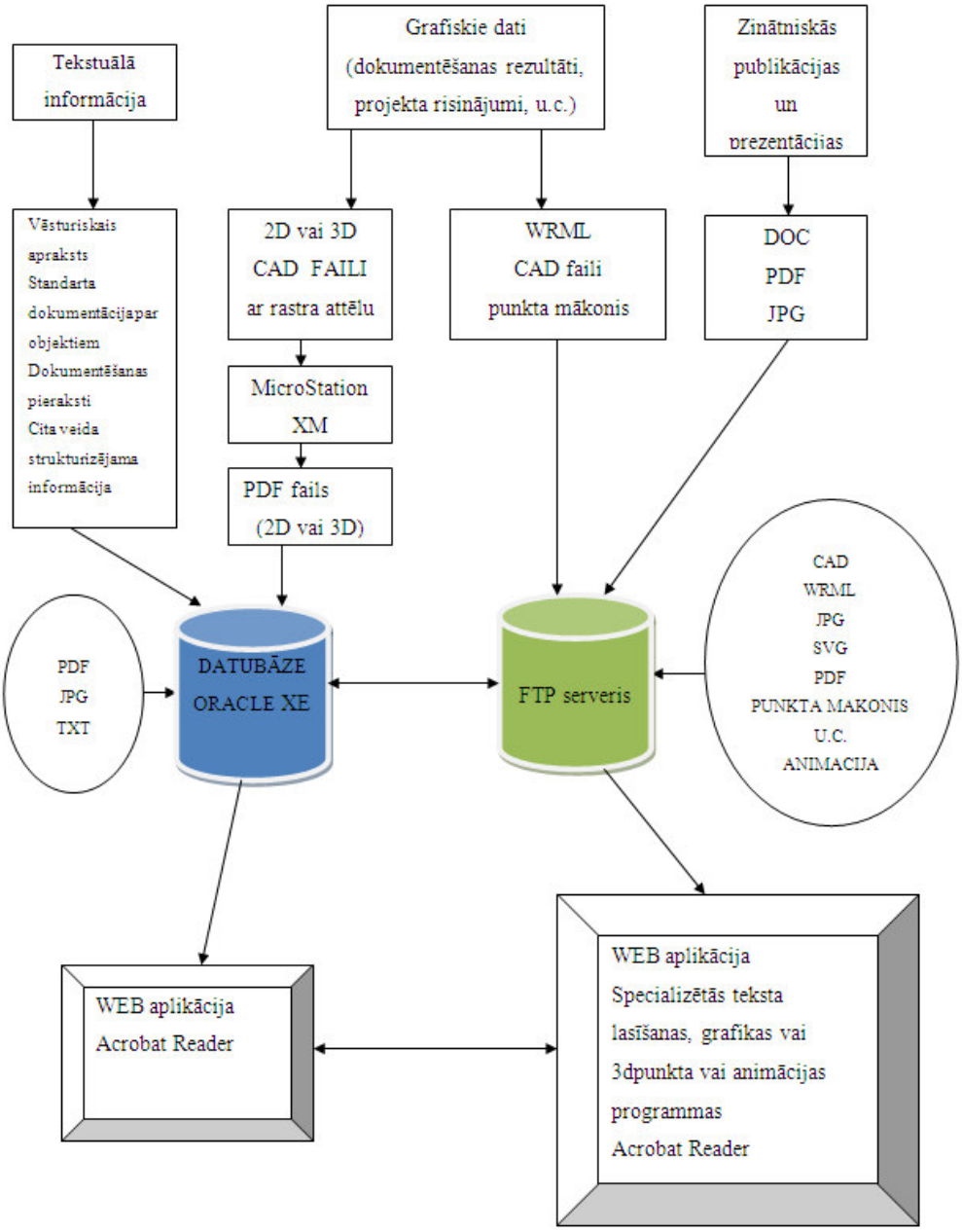
10.att. Grafisko datu publicēšanas shēma

Ievērtējot, ka datiem un rezultātiem ir dažādi lietotāji, un datu uzglabāšanas sistēmas izveidei ir dažāda veida finansējums, tad datu uzglabāšanai ir jārada pēc iespējas vienkāršākas sistēmas, un pēc iespējas mazāk izmantojot starpprogrammatūras, kas nepieciešams, lai konvertētu informāciju no viena datu formāta uz otru, un kas bieži sadārdzina visu projektu. Viens no tādiem risinājumiem ir izmantot atvērtā koda programmatūras un bezmaksas pieejamus publicitātes risinājumus. Viens no populārākiem bezmaksas publicitātes risinājumiem ir Acrobat faila formāts .pdf, kuru izveidošana nodrošina izmantojot gan CAD programmatūras, gan teksta rediģēšanas programmatūras. Piemēram, izmantojot Bentley MicroStation XM iegūst, ka 2D PDF failā tiek saglabāts Engeeneering link uz citu dokumentu vai ierakstu tekstuālā datubāzē. Ievērtējot iepriekš minētās tehniskās iespējas piedāvājam datu uzglabāšanas struktūru, kas attēlota 11. attēlā. Tas nodrošina grafisko un punktu kopu datu glabāšanu oriģinālfailu veidā uz FTP servera, savukārt tekstuālo publicēto informāciju un rezultātu grafiskos failus PDF formātā, kā arī attēlus uzglabāt ORACLE datubāzē. Lietotājs, kam interesē apskatīt tikai tekstuālos datus un rezultātus, veido pieprasījumu ORACLE datubāzei, savukārt lietotājs, kam ir interese analizēt un radīt jaunu rezultātu, veido pieprasījumu FTP serverim pēc nepieciešamā izejas datu vai rezultāta oriģinālā formāta faila, izmantojot atslēgas laukus.

Grafiskās informācijas faili, kas tiek glabāti datu uzkrāšanas struktūrā satur saites uz tekstuālās datubāzes lauku. Tas ir nepieciešams, lai varētu ātri nokļūt uz vajadzīgo ierakstu tekstuālā datubāzē un otrādi. Grafiskie faili ir diva veida: viens, kas satur vispārīgu informāciju un pilda metafaila funkcijas, otrs fails satur objekta detalizētāko informāciju, piemēram, arhitektonisks elements. Metafails tiek publicēts Acrobat Reader formātā 2D formātā, lai varētu skatīt no datubāzes vadības loga un MicroStation fails, lai varētu piekļūt datubāzes laukiem. Attēli, prezentācijas un cita tamlīdzīga informācija, caur atslēgas laukiem tiek piesaistītas tekstuālai informācijai. Šāda veida informāciju var atrast tikai caur tekstuālo datubāzi, nodrošinot faila meklēšanu uz FTP servera. Veidojot datu uzglabāšanas struktūru, kas attēlota 12. attēlā, tika ievērtēts, ka izmantojot divpusējo sasaisti starp tekstuālo datubāzi un FTP serverī glabātiem grafiskiem failiem (pdf un CAD MicroStation failu), tiek nodrošināta datu uz un informācijas meklēšana gan no grafiskā faila, gan no tekstuālās datubāzes. 11.attēlā ir parādīti dokumentēšanas rezultātu formāti



11. att. Dokumentēšanas rezultātā iegūtie datu formāti



12. att. Datu ievietošanas, glabāšanas un attēlošanas modelis

SECINĀJUMI

1. Promocijas darbā ir **izvērtētas arhitektūras telpiskās dokumentēšanas metodes**, kā rezultātā tiek secināts, ka esošās metodes nedod pilnvērtīgu rezultātu, kas nodrošinātu dokumentēšanas uzdevumu izpildi. Tādēļ ir nepieciešams veikt metožu kombinēšanu, un tas arī tika risināts promocijas darbā.
2. **Analizējot digitālās terrestiskās fotogrammetrijas un tahimetriskās uzmērīšanas metodes**, ir izstrādāti dokumentēšanas etapi un **tiek secināts, ka, kombinējot abas metodes, ir iespējams veikt pilnu dokumentēšanas ciklu arhitektūras objektu detaļās, kas atrodas 2D plaknē,** izmantojot attēla transformāciju. Tagad ir ienākusi papildus pilnīgi jauna tehnika – 3D lāzerskeneri, kas nodrošina jaunas telpiskās dokumentēšanas iespējas.
3. Eksperimentālo pētījumu rezultātā, veicot Doma baznīcas un Karnakas tempļa dokumentēšanu ar 3D lāzerskeneri, **pirmo reizi zinātniski apkopotas un izvērtētas 3D lāzerskenēšanas iespējas arhitektūras telpiskai dokumentēšanai**, parādot tās priekšrocības un trūkumus.

   Galvenās priekšrocības ir:

   - ātra izejas datu iegūšana,
   - iespēja veikt mērījumus vienlaicīgi dažādām arhitektūras mērogu precizitātēm,
   - iespēja pielietot dažādiem rezultātu attēlošanas un izmantošanas mērķiem,
   - iespēja pielietot dažādiem arhitektūras stiliem, attēlojot tos kā punktu mākoņu kopu,
   - ērta izmantošana skulptūru un liektu virsmu dokumentēšanā,
   - datu apstrādi ir iespējams veikt ilgākā laika periodā, apstrādājot tikai nepieciešamās objekta vietas.

   Vienlaikus jāņem vērā arī vairākas **šīs tehnoloģijas nepilnības**.

   - Ļoti liels punktu daudzums, kas ne vienmēr ir nepieciešams.
   - Punktu mākonis bieži ir izmantojams kopā ar skeneru ražotāju piedāvātām programmatūrām.
   - Problemātiska ir datu apmaiņa starp dažādiem grafiskajiem programmproduktiem.

- Nepieciešams nodefinēt izejas datu iegūšanas precizitātes limitējošos parametrus.
- Uzmērīšanas darbus ir iespējams veikt tikai pie labvēlīgiem ārējiem laika apstākļiem.
- Zema digitālā attēla izšķirtspēja.
- Nav pieejamas dažādas arhitektonisku virsmu veidošanas programmatūras.

4. **3D lāzerskeneru pielietojuma izpētē** arhitektūras telpiskās dokumentēšanas procesā **ir atrasti rezultātu ietekmējošie kļūdu avoti**: lāzermērīšanas kļūda, koordinātu sistēmas definēšanas kļūda, ģeodēziskā tīkla kļūda, kalibrēšanas parametri, digitālās kameras izšķirtspēja, subjektīvās kļūda, meteoroloģiskie faktori, virsmas atstarošanas īpašības, konverģences kļūda, punktu daudzums uz laukuma vienību, un doti risinājumi to novēršanai.
5. Veicot dažādu Latvijas arhitektūras objektu - Rīgas Doma baznīcas, Rīgas Krievu Drāmas teātra, Cēsu viduslaiku pils un Raunas pilsdrupas - dokumentēšanu, ir **secināts, ka 3D lāzerskeneri ieteicams izmantot kā telpiskās dokumentēšanas tehnoloģiju.** Tādejādi tiek nodrošināta atsevišķu arhitektūras objektu dokumentēšanas telpiskās datubāzes iegūšana ar sekojošām rekomendācijām:
   - optimālākais skenēšanas solis ir 1 līdz 1,5 cm,
   - punktu mākoņu kopu pielieto gan kā vizuālās informācijas, gan kā ģeometrijas informācijas avotu,
   - punkta mākoņa vizuālai attēlošanai un ģeometriskās informācijas iegūšanai no punktu kopas tiek rekomendēts izmantot lāzerstara punkta intensitātes krāsas.
6. Analizējot esošās programmatūras datu glabāšanai un attēlošanai, **secināts, ka fotogrammetriskiem un 3D lāzerskeneru neapstrādātiem mērījumu datiem neveic apvienošanu, bet veic to savstarpēju uzlabošanu.** Savukārt **apvienošanu rekomendējam 3D lāzerskeneru un fotogrammetrisko mērījumu reducētiem datiem**. Apvienošanu veic 3D vidē, izmantojot grafisko datorprogrammu vizualizāciju (render), piešķirot grafiskajam elementam kā parametru attēlu.
7. **Pētījumu rezultātā rekomendējam IGES grafisko datu apmaiņas formātu izmantot kā apmaiņas formātu** starp 3D lāzerskeneru punkta mākoņa datiem un CAD sistēmām. Kā grafiskos elementus datu apmaiņai **rekomendējam izmantot BSPLINE un MESH.**

8. Pirmoreiz **izveidota arhitektūras telpiskās dokumentēšanas informācijas datu uzglabāšanas struktūra** grafiskai un tekstuālai informācijai, kas nodrošina 3D lāzerskenēšanas un fotogrammetriskās tehnoloģijas datu un rezultātu uzglabāšanu, arhivēšanu un lietošanu dažādām lietotāju grupām.
9. Darbā ir **atrisināti visi arhitektūras ģeometrijas dokumentēšanas procesi**: lauku darbi, datu apstrāde, telpisko medeļu izveide, vizualizācija, uzglabāšana datubāzē un pielietošana, neveicot punkta mākoņu un attēlu pārvēršanu vektora formātā uz 2D rasējumiem. **Secināts, ka viena objekta arhitektūras telpiskai dokumentēšanai jāparedz vairāku metožu pielietojums, jo tādējādi nepieciešams aptuveni 3 reizes īsāks laiks datu iegūšanai un to apstrādei. Savukārt rezultāti aptver visus arhitektūras telpiskās dokumentēšanas uzdevumus.**

PUBLIKĀCIJU SARAKSTS

- Kaļinka M. Fotogrammetrisko un lāzerskeneru grafisko datu publicēšana. Zinātniskie raksti ĢEOMĀTIKA.Sērija 11. -Rīga:RTU, 2008.-3.sēj.-39.-54.lpp
- M. Kalinka. Use the 3D laser scanning for documentation and the data in databases in the Riga cathedral. In: Scientific Proceedings of Riga Technical University, Geomatics Science Series, the 11th issue, Vol. 2, RTU, Riga, 2007. – 95. - 103. p. ISSN 1691 – 4341
- M. Kalinka, E. Rutkovska. Use the 3D laser scanning for documentation the Riga cathedral in Latvia//Proceedings of the ISPRS Working Group v/4 Virtual reality and Computer Animation, ISPRS WG V/2 Cultural Heritage Documentation 2007.12-13 July, 2007
- Kaļinka M. Būvju deformāciju vērtību uzkrāšana un analīze. RTU zinātniskie raksti, ģeomātika ,Sērija 11, sējums 1,RTU, Riga, 2007, -26-32.lpp, ISSN 1691 – 4341
- Kaļinka M, Rutkovska E. Digitālā fotogrammetrija izmantojot digitālo kameru un 3D lāzerskeneri In: Scientific Proceedings of Riga Technical University, Architecture and construction Science Series, the 2th issue, Vol. 6, RTU, Riga, 2005. – 129. - 136. p. ISSN 1407 – 7329
- Kaļinka M. 3D lāzerskanera pielietošana Karnakas tempļa 8. pilona izpētē. Ģeomātika. Zinātnisko rakstu krājums I. – Rīga: RTU, 2005-86-89.lpp

PROMOCIJAS DARBS

IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTĒ INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2008.g 19.decembī plkst.13.00 Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātē, Āzenes ielā 16, sēžu zālē.

OFICIĀLIE RECENZENTI

1) Dr.sc.ing.,asoc.prof.Vladislavas Česlovos Aksamitauskas, , Head of Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas university.
2) Dr.sc.ing. Natalja Liba, Department of Geomatics, Estonian University of Life Sciences
3) Dr.sc.ing., prof.Modris Dobelis, RTU P-06 padomes loceklis, zinātņu nozares Būvzinātne, apakšnozares Ģeodēzija eksperts

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Māris Kaļinka …….(Paraksts)

Datums: ……

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 10 pielikumus, 51 attēli, 3 tabulas, kopā 127 lappuses. Literatūras sarakstā ir 140 nosaukumi.

Kaļinka M. Arhitektūras telpiskās dokumentēšanas tehnoloģija. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU,2008.-35 lpp.

Iespiests saskaņā ar Rīgas Tehniskās Universitātes Būvniecības fakultātes Ģeomātikas katedras 2008.gada 2.aprīļa lēmumu, protokola Nr.162/03