

# 3D modelēšanas metodes un problēmas

Jevgenija Lelamera, *Riga Technical University*

**Kopsavilkums.** Primārais konkrētās 3D modelēšanas tehnoloģijas izvēles iemesls ir atkarīgs no risināmā uzdevuma, izvirzītās gala modeļa precizitātes, operatora (projektētāja) spējām, programmatūras, datu apstrādes sistēmas fizikālās daļas. Inženierprojekta realizācijas gaitā bija izstrādātas rekomendācijas, kas palīdz efektīvāk strādāt ar *mesh* un *NURBS* tipa 3D modeļiem, realizētas dažādas analīzes; apskatītas trīsdimensiju modeļu eksportēšanas iespējas citās programmās: *Autodesk 3ds Max 2011 x64* izmēģinājuma versija, tiesības, uz kuru piešķir interneta studentu atbalsta un apmācības centrs *Autodesk Education Community*.

**Atslēgas vārdi:** 3D modeļi, lāzerskenēšana, *NURBS* virsmas, *mesh* virsmas.

## IEVADS

Datorgrafika ir 21. gadsimta mākslas virziens. Ja agrāk tā bija reti izplatīta un cilvēkos izraisīja zināmu neticību un pat bailes, tad šobrīd arvien vairāk apstiprinās tas, ka ar datora palīdzību mākslinieks, un ne tikai mākslinieks, atvieglo savu darbu un iegūst lielākas priekšrocības darba tirgū. Tādas iespējas, kādas pirms dažiem gadiem bija tikai pašām lielākajām datorgrafikas studijām, šodien ir katram datora īpašniekam. Tikai nepieciešams apzināt līdzekļus, kas šīs iespējas nodrošina, un prast ar tiem zinoši rīkoties. Dators māksliniekam ir tāds pats darbarīks kā ota vai krāsu palete. Protams, neizpaliek vizuālās mākslas vispārīgās zināšanas. Tās šajā profesijā ir visa pamats. Tāpēc var droši teikt, ka strādāt ar datorprogrammām, kas paredzētas datorgrafikai, tas nozīmē pārzināt un pielietot vizuālās mākslas vispārīgajās zināšanās, kuras iegūtas jau daudzu gadsimtu laikā. Šīs abas lietas ir savstarpēji cieši saistītas.

Mūsu laikā *CGI* (no angļu valodas *Computer Graphics Imagery* - attēls, kas veidots ar datora palīdzību) tēli ir sastopami televīzijā, kino, datorgrafikā, žurnālos un avīzēs u.c. Trīsdimensiju grafika no šauri specializētas izmantošanas izvirzījās pirmajā plānā daudzu cilvēku dzīvēs un interesēs. Datorgrafika tiek izmantota gandrīz visās zinātniskās un inženieru disciplīnās, informācijas uztveres un pārraides uzskatāmībai. Tās pamatu zināšanas mūsu laikos ir nepieciešamas jebkuram zinātniekam un inženierim.

Datorgrafika pārliecinoši ienāk biznesā, medicīnā, reklāmā, izklaides industrijā. Ar jauno tehnoloģiju un vieglāku programmatūru parādīšanos, trīsdimensiju grafika kļuvusi pieejama ļoti lielam cilvēku lokam.

## I. 3D MODELĒŠANA DATORGRAFIKĀ

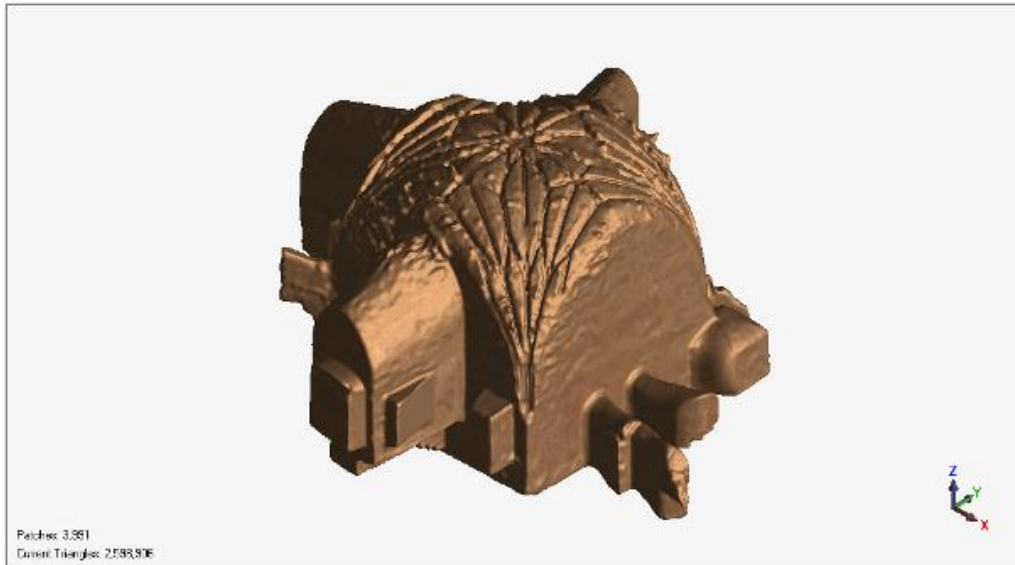
Datorgrafikas programmas starp lietojumprogrammām šobrīd ieņem lielu īpatnību, to lietojums ir ļoti daudzveidīgs un arī šo programmu darbības principi ir ļoti atšķirīgi. Visu šo programmu kopīga iezīme - informāciju var attēlot grafiskā veidā. Konkrētas datorgrafikas programmas izmantojuma iespēju kādā cilvēku radošās darbības jomā lielā mērā nosaka šīs programmas darbības princips, galvenokārt tas, kādā formā tiek saglabāts grafiskais attēls. Visas datorgrafikas programmas var iedalīt vektorgrafikas un rastrgrafikas programmās. Tomēr jāatzīmē, ka ļoti daudzas vektorgrafikas programmas ļauj izmantot failus arī rastrgrafikas formātā un var veikt failu pārveidojumus vienā vai otrā virzienā.

Datorgrafikā 3D modelēšana ir trīsdimensiju objekta reprezentēšana matemātiskā vai karkasmodeļa (*wire frame*) veidā, tas ir trīsdimensiju objekta modelis, ko parasti izmanto datorgrafikā vai datorizētās projektēšanas sistēmās un kas tiek veidots no atsevišķām līnijām un lokiem, - animētā vai statiskā, un tā pilnveidošanas process ar specializētas programmatūras palīdzību.

## II. NURBS VIRSMAS UN LĪKNES

*CAD* datorprojektēšanā tiek izmantotas brīvformas līknes, tādas kā: *Bézier*, *B-SPLINE* un *NURBS*, kas nodrošina 3D modelēšanas procesa „elastīgumu” un izsmalcinātību. *NURBS* līkne tiek specificēta pēc tās secības, pēc kontrolpunktu komplektiem un mezglu vektoriem, tās ir praktiski neaizvietošanas visās *CAD*, *CAM* un *CAE* programmās.

*NURBS* virsmu (1.att.) priekšrocības, pēc autora domām, ir šādas: elastīgs interaktīvs dizains, precīzu modificēšanas algoritmu izmantošana *NURBS* objektu pārveidošanā, to programmiskā uzbūve, viena matemātiskā modeļa koncepcijas izmantošana gan standarta analītiskām formām, gan brīvformas objektiem, datora atmiņas patēriņa samazināšana.



1. att. Cēsu pilsdrupu Ziemeļu korpusa daļas - Mestra telpas *NURBS* virsmas piemērs (autores veidots, izmantojot [1] datus).

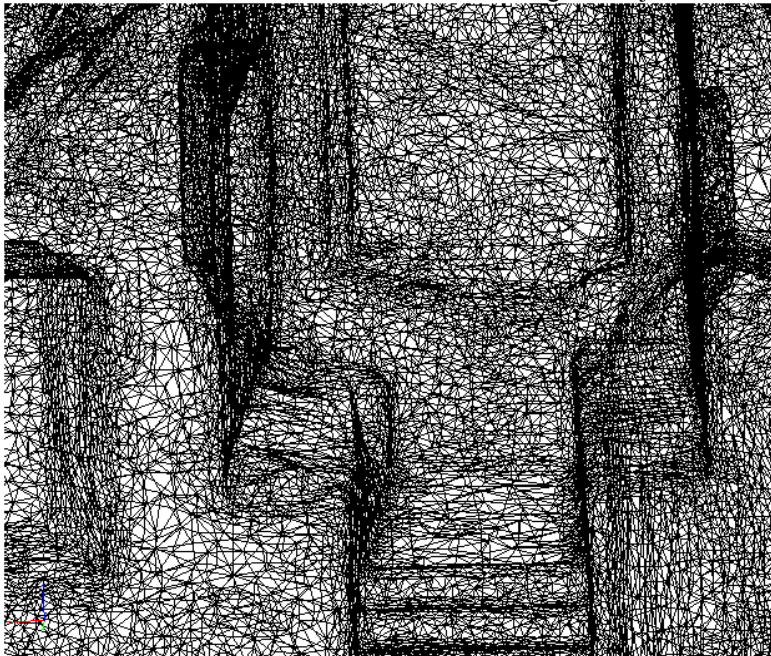
### III. 3D MODELEŠANAS PAMATTEHNOLOĢIJU PROBLEMĀTIKA

Trīsdimensiju datorgrafikas programmas būtiski atšķiras no divdimensiju programmām, jo ar tām ir iespējams izveidot telpiska priekšmeta pilnīgu ģeometrisko modeli.

1. Karkasmodeļi. Tie (2.att.) satur informāciju tikai par priekšmeta atsevišķu punktu un līniju (šķautņu, virsmu robežu u.c.) novietojumu telpā.

Karkasmodeļu būtiskākie trūkumi un problēmas, pēc autores domām, ir šādi:

- lētākajās un vienkāršākajās 3D datorgrafikas programmās priekšmeta telpisko modeli veido tikai no plakanām virsmām, tādējādi ievērojami tiek vienkāršots šī objekta matemātiskais apraksts, taču tiek pazaudēta informācija par priekšmeta patieso ģeometriju.

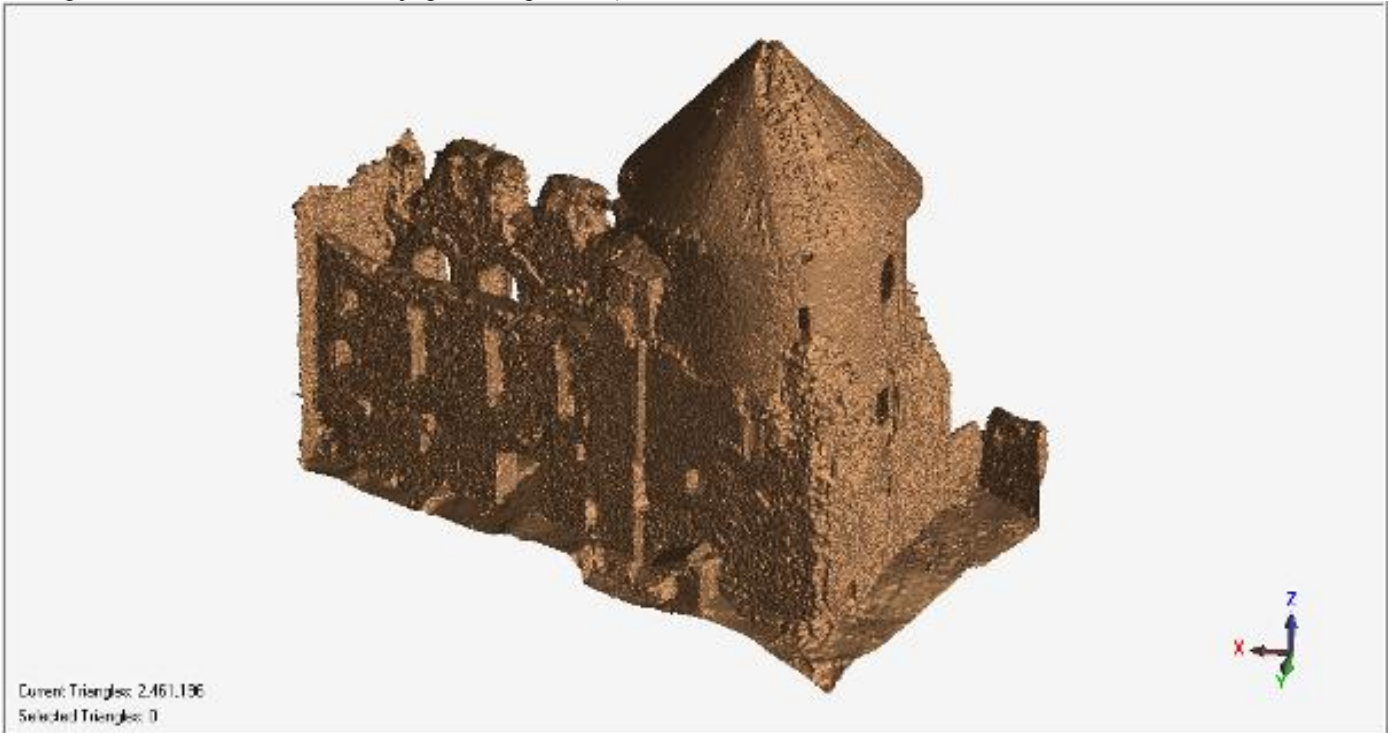


2.att. Cēsu pilsdrupu Ziemeļu korpusa elementa - Mestra telpas karkasmodeļa piemērs *Geomagic Studio 12* vidē (autores veidots, izmantojot [1] datus).

2. Laukummodeļi. Trīsdimensiju datorgrafikas programmas, kurās izmanto laukummodeļus, informācijas datubāzēs satur ziņas par ģeometrisko modeli veidojošām virsmām (interpolācijas, aproksimācijas algoritmiem - *Catmull/Clark*, *Doo/Sabin*, *Loop* u.c. Mūsdienās 3D datu apstrādes un modelēšanas lietotņu izstrādātāji savieno vairākas tehnoloģijas un algoritmus, kas ir konkrēta ražotāja patentēti produkti). Šeit

priekšmeta ģeometrisko modeli visbiežāk veido no šādiem virsmu tiem:

- plaknēm (3.att);
- cilindriskām, koniskām un sfēriskām virsmām;
- brīvās formas virsmām - *Bézier*, *B-SPLINE* un *NURBS* virsmām.



3. att. Cēsu pilsdrupu daļas - Ziemeļu korpusa 3D laukummodelis (autores veidots, izmantojot [1] datus).

Laukummodeļu būtiskākie trūkumi un problēmas, pēc autores domām, ir šādi:

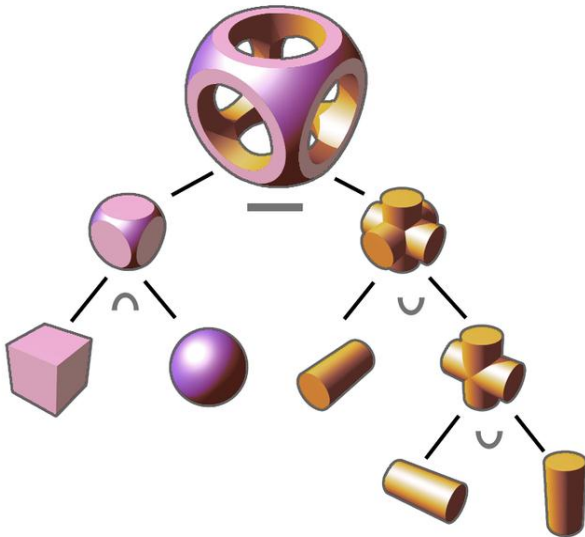
- lētākajās un vienkāršākajās 3D datorgrafikas programmās priekšmeta telpisko modeli veido tikai no plakanām virsmām, tādējādi ievērojami tiek vienkāršots šī objekta matemātiskais apraksts, taču tiek pazaudēta informācija par priekšmeta patieso ģeometriju;
- ne vienmēr ir pieejama informācija par ģeometriskā modeļa tilpumu;
- strādājot ar šīm programmām, projektētājam jāraugās, lai veidojamais modelis no visām pusēm būtu noseigts ar virsmām, jo šādas kļūdas ir automātiski nosakāmas tikai atsevišķos gadījumos.

3. Tilpummodeļi. Tilpummodeļi starp iepriekš apskatītajiem ir vispilnīgākie ģeometriskie modeļi. Divas jau samērā sen pazīstamas tilpummodeļu klases ir:

- *Boundary Representation (BREP)* - robežu reprezentācijas klase;
- *Constructive Solid Geometry (CSG)* - konstruktīvās ķermeņa ģeometrijas klase.

*CSG* būtiskākie trūkumi un problēmas, pēc autores uzskata, ir šādi:

- *CSG* modeļi ir ekonomiski aizņemtās datora atmiņas apjoma ziņā;
- tos var vienkārši pārveidot laukummodeļos vai karkasmodeļos, turpretī pretēji pārveidojumi nav iespējami;
- ir iegūstama informācija par atsevišķām modeļa virsmām un šķautnēm, taču to iegūst, veicot t.s. *CSG* koka evolucionēšanu;
- procesa vienkāršošanai un paātrināšanai lieto algoritmus, kuri pilnīgo ģeometrisko modeli aizstāj ar karkasmodeļi vai daudzskaldņa modeļi;
- mērogojot (*zoom in/out*) vai veicot darba loga atsvaidzināšanu, katru reizi datoram jāevolucionē *CSG* koks (4.att.), tas prasa papildus laiku, kas sevišķi jūtams, veidot sarežģītus modeļus;
- *CSG* modeļi veidoti no relatīvi vienkāršiem ģeometriskiem primitīviem un tāpēc ar tiem nav izveidojamas sarežģītas brīvas formas virsmas.



4. attēls. CSG koka hierarhijas piemērs. [3.]

#### IV. MŪSDIENĪGIE 3D MODEĻU DATU AVOTI

Augstprecizitātes rezultātu ir iespējams panākt, veicot padziļinātu objekta izpēti, šim nolūkam izmantojot šādus 3D risinājumus [2, 37.]:

- 3D terestriskie lāzerskeneri;
- tahimetriskie mērījumi;
- fotogrammetriskie risinājumi.

Topošās 3D lāzerskenēšanas tehnoloģijas priekšrocības, salīdzinot ar citām alternatīvajām mērīšanas metodēm, pēc autore domām, ir šādas:

- darba termiņu saīsināšana;
- pasūtītāja iespēja izvēlēties gala produkta formu- 3D modelis vai/un rasējums;
- modeļa saderība ar jebkura veida programmatūru (datu apmaiņas iespējas - eksports/ imports);
- iegūstamā materiāla precizitāte ir nesalīdzināmi augstāka par citām metodēm;
- mērījumu rezultātu detalizācija un pilnīgums;
- datu redundance, šādi nodrošinot jebkuru citu uzdevumu risināšanas iespējamību.

#### V. DATU APMAIŅAS KONCEPCIJAS UN FORMĀTI

Datu apmaiņai (eksportam un importam) starp vairākām programmām parasti lieto vienu no trim koncepcijām:

1. Izejas programmas datu tieša pārveidošana mērķa programmas datu formātā (**eksports**) un otrādi (**imports**). Parasti formāta pārveidošanas procesā ir minimāls informācijas zudums vai izkropļojums.
2. No sistēmām neatkarīgu datu formātu izmantošana (neitrāls formāts). Tas ir starpposms datu apmaiņai.

3. Moderna koncepcija, vienota programmu iekšējā datu formāta lietošana daudzām sistēmām, kas nodrošina katras sistēmas tiešu pieeju jebkuras citas sistēmas datiem.

Populārākie vektorgrafikas datu formāti CAD jomā, kuri bieži izmantoti datu apmaiņai starp CAD programmām un kas atbilst dažādām datu apmaiņas koncepcijām: *DWG*, *DGN*, *3DS*, *DXF*, *IGS* (*IGES*).

#### VI. 3D MODEĻU PIELIETOŠANAS IESPĒJAS

Izmantojot 3D modelēšanas iespējas, ir atrisināmi vairāki dažādu dzīves sfēru uzdevumi, jo ar tās palīdzību ir:

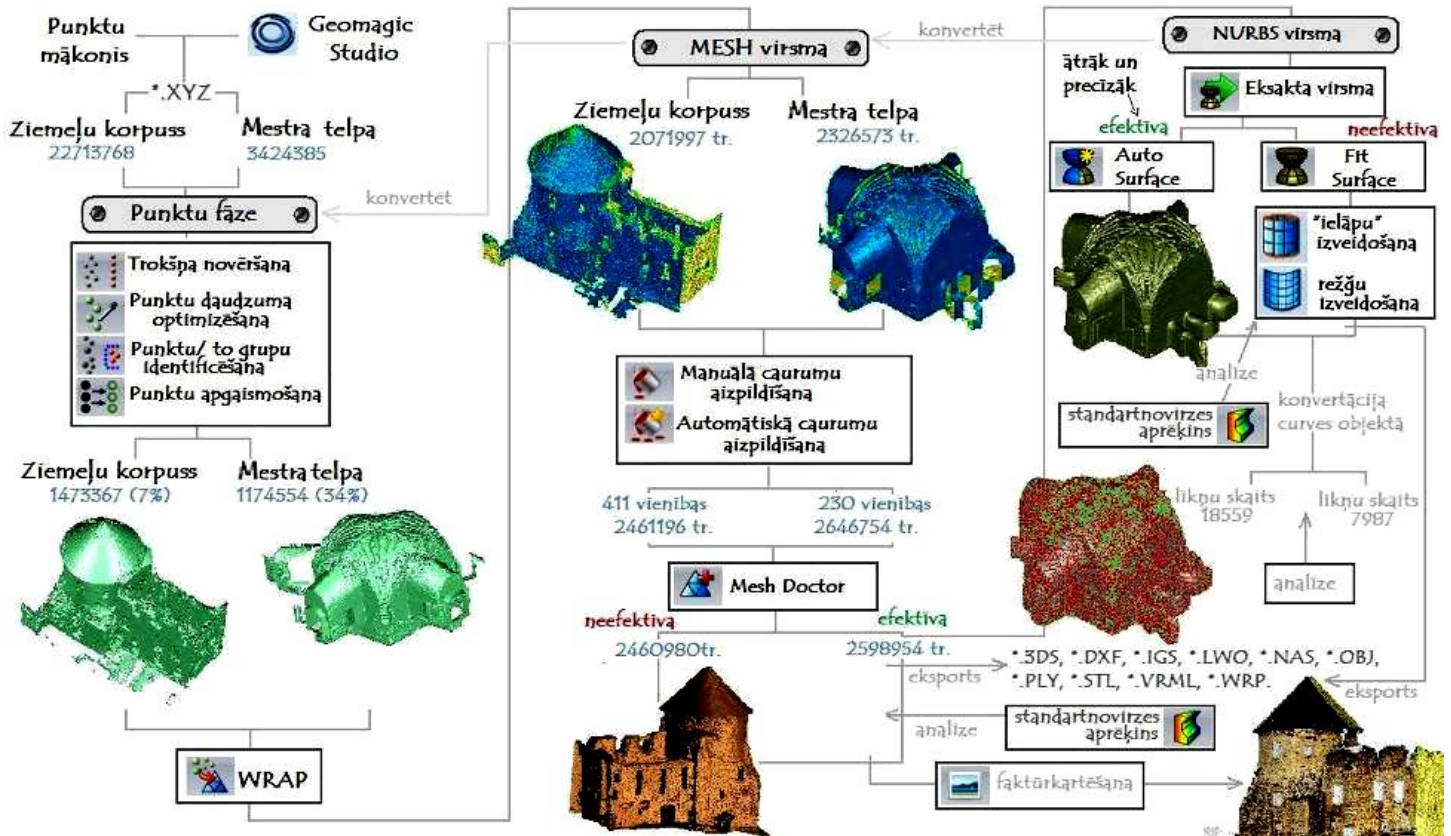
- vizualizējama jebkura veida telpiskā informācija;
- tiek nodrošināta projektēšanas, ēku rekonstrukcijas un renovācijas, infrastruktūras remonta darbu uzdevumu risināšana;
- veicama rekonstrukcijas un restaurācijas projektu izstrāde;
- realizējams objektu monitorings jebkurā laika brīdī;
- ģenerējami apvidus 3D modeļi, digitālie reljefa modeļi (*DEM*) ir neapšaubāmi noderīgi, veicot telpisko analīzi un teritoriju novērtēšanu;
- konstruējami prognozes trīsdimensiju modeļi, ievērojot raksturīgas apvidus īpatnības;
- vizualizējamas autotrašu, elektropārvades līnijas, naftas un gāzes vadu projektēšanā, inženiertīklu inventarizācijā un vadīšanā;
- prognozējams ārkārtējās situācijas seku risku novērtēšanas nolūkiem;
- identificējamas applūšanas un saindēšanas zonas;
- nosakāms ūdens vākšanas baseinu laukums;
- aprēķināms augsnes erozijas līmenis;
- veicamas fizikālās un statistiskās analīzes un simulācijas;
- u.c.

#### VII. INŽENIERPROJEKTA MĒRĶIS

**Projekta mērķis** ir radīt Cēsu pilsdrupu daļas (ziemeļu korpusa) 3D modeļi maģistra darba izstrādes gaitā, pētot *NURBS* u.c. algoritmu izmantošanas iespējas ar datiem (un to daudzumu), kas iegūti, skenējot pils sienu sagrautās un deformētās akmens virsmas *ERAF* projekta realizācijas ietvaros 2008.gadā. Dati bija pieejami *\*.XYZ* formātā. Par izpēti ir paredzēts sagatavot gan maģistra darbu, gan arī publikāciju citējamajos žurnālos.

#### VIII. INŽENIERPROJEKTA SECINĀJUMI

Maģistra darba inženierdaļas izstrādes ietvaros bija izveidoti divu objektu - Cēsu pilsdrupu daļas - Ziemeļu korpusa un Mestra telpas vairāki 3D modeļi, kas palīdzēja dziļāk izprast katra modelēšanas etapa būtību, precizitāti, algoritmu daudzveidību, šādu modeļu īpatnības un eksportēšanas iespējas, ko autore bija apkopojusi shēmā, kas reprezentēta shēmā (5.att.).



5. att. 3D modeļu apstrādes fāzes un iespējas Geomagic Studio vidē.[Autores veidots]

1. Jo augstāka ir punktu mākoņa optimizēšanas (vienkāršošanas) pakāpe (procentuālā attiecība), jo lielāks ir ģenerējamās virsmas nepilnību un kļūdu skaits un mazāka iespējamība efektīvi izmantot virsmas pilnveidošanas algoritmus.
2. Poligonālās mesh virsmas modelēšanas un apstrādes fāzē bija izpētītas un apgūtas tādas Geomagic Studio programmas papildiespējas, kā:
  - Faktūrkartēšana (texture mapping)(6.att.);
  - 3D standartnovirzes analīzes veikšana;
  - 3D modeļa renderēšana un noklusējuma tekstūru (standartiestatījumi) izvēle.



6. att. Cēsu pilsdrupu daļas - Ziemeļu korpasa sienas modeļa faktūrkartēšanas piemērs Geomagic Studio 12 vidē (autore veidots, izmantojot [1] datus).

3. Lai uzkonstruētu augstprecizitātes *NURBS* virsmu, ir nepieciešams sadalīt punktu mākonī atsevišķās sīkākās daļās un, minimāli pārveidojot, optimizēt un apstrādāt.
4. Jo mazāks ir 3D lāzerskenēšanas optimizēto punktu mākonis, jo mazāka ir *NURBS* virsmas ģenerēšanas iespēja un zemāka virsmas pilnveidošanas algoritmu pielietojšanas efektivitātes pakāpe.
5. Jo lielāks ir 3D lāzerskenēšanas optimizēto punktu mākonis, jo efektīvāka ir poligonālo *mesh* virsmu nolīdzināšanas, modificēšanas, koriģēšanas algoritmu izmantošana.
6. Apstrādājot izkliedēto punktu mākonī, datus, kas iegūti, skenējot deformētas un sagrautas akmens virsmas, poligonālās *mesh* virsmas ģenerēšanas fāzē 3D modelim veidojas vairāki caurumi (informācijas trūkums). Var pateikt, ka tikai 20% no tiem ir „vienkāršie” un var būt novērsti automātiski (*Fill All*). Aizpildot pārējos caurumus (kompleksos), ir svarīga individuāla pieeja un rūpīga komandu izvēle, ir vēlama pilnveidojamas *mesh* virsmas salīdzināšana ar fotomateriālu.
7. Apkopojot datu apstrādes un modeļa ģenerēšanas rezultātus divos dažādos režīmos (*Auto Surface* un *Fit Surfaces*), var secināt, ka ņemot vērā akmens virsmu ģeometrijas specifiku, *Auto Surface* režīms ir daudz efektīvāks (ātrāks tā realizācijā) un precīzāks,

tas izslēdz galveno kļūdu avotu - cilvēcisko faktoru, jo visas virsmas nepilnības sistēmā ir labojamas automātiski.

#### LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] M. Kaļinka, M. Reiniks. Livonijas ordeņa Cēsu pilsdrupu dokumentēšanas rezultāti ar 3D lāzerskeneri (kopsavilkums). RTU, 2009./ interneta publikācija: <https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/6716/fulltext>
- [2] RTU zinātniskie raksti, 11. sērija, 3. sējums; 3. sējums, 2008.;
- [3] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CSG\\_Tree\\_2.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:CSG_Tree_2.png)

**Jevgēnija Leļamera**, Mg.sc.ing, Professional Master's Degree in Geomatics, and Engineering Qualification in Geodesy and Cartography, Faculty of Civil Engineering, Institute of Transport Structures, Department of Geomatics (graduating year – 2011).

Professional experience:

- 24/01/2011 – present day (contract work), employer – Daugavpils Professional Building Secondary School No.38
- 24/01/2011 – 01/03/2011 (contract work), employer – MKM Engineering Ltd.
- 10/12/2007 – 31/07/2009, employer – The Ministry of Defense, Government Agency “Latvian Geospatial Information Agency”.

**Contact information:** [jevgenija.lelamera@inbox.lv](mailto:jevgenija.lelamera@inbox.lv);

#### Jevgenija Leļamera. 3D Modelling Methods and Problems

During research, positive aspects and advantages of *NURBS* curves and surfaces have been tested; three basic directions of three-dimensional modelling have been investigated: Constructive Solid Geometry, Implicit Surfaces and Subdivision Surfaces. The author of the paper has also considered the modern basic sources of the data used for creation of high-precision and realistic three-dimensional models. The research also focuses on modern software for 3D laser scanning data processing and subsequent three-dimensional modelling – Geomatic Studio 12.

The primary reason for the choice of concrete 3D modelling technology depends on the problem, which is being solved, the accuracy of final model, operator's skills to work in any given environment, the accessible software and parameters of physical part of data processing system, i.e. hardware and its ability to work for a certain period of time trouble-free (operational efficiency). The secondary factor, influencing the choice of the program, is the financial matters associated with any project. Within the framework of the practical part, the basic recommendations about work with mesh type and *NURBS* 3D models have been worked out and formulated; various analyses have been carried out (standard 3D deviation analysis; correlation analysis of efficiency of the used algorithms for mesh type surface improvement, etc.); 3D model exportability (both polygon and *NURBS* models) has been investigated in various up-to-date 3D modelling programs: Autodesk 3ds Max 2011 x64, provided by Autodesk Education Community, which is the student technical support centre. The aim of the engineering project has been to create three-dimensional models of parts of Cesis Castle ruins in Geomagic Studio 12, the northern building and the Master premises, located in the upper part of the building. The author of the paper has used laser scanning data obtained during the measurement works of destroyed and deformed surfaces of the walls of the castle (within the framework of ERAF project in 2008).

#### Евгения Леямер. Методы и проблемы 3D моделирования

Первичная причина выбора конкретной технологии 3D моделирования зависит от решаемой задачи, заданной точности конечной модели, навыков оператора работать в той или иной среде, доступного программного обеспечения и параметров физической части системы обработки данных (*hardware*), т.е. аппаратуры и её способности работать определённый период времени без перебоев (эффективности производимых операций). Вторичным фактором, влияющим на выбор программы, является финансовый вопрос любого проекта. В рамках осуществления инженерной части были разработаны и сформулированы основные рекомендации по работе с 3D моделями типа *mesh* и *NURBS*, проведены различные анализы (трёхмерный анализ модели стандартных отклонений; построена корреляционная модель эффективности применяемых алгоритмов улучшения поверхностей типа *mesh* и др.); исследованы возможности экспорта трёхмерных моделей (как на стадии полигональных мэшов, так и на стадии *NURBS* поверхностей) в различные передовые программы по 3D моделированию: *Autodesk 3ds Max 2011 x64*, которая была предоставлена интернет-центром поддержки студентов на время их обучения (*Autodesk Education Community*). Целью инженерного проекта было создание трёхмерной модели частей развалин

Цесисского замка в *Geomagic Studio 12* , северного корпуса и помещения Магистра, расположенного в верхней части здания. Были использованы данные лазерного сканирования, полученные в ходе измерительных работ разрушенных и деформированных поверхностей стен замка в 2008 году (в рамках *ERAF проекта*. Разработаны и сформулированы основные рекомендации по работе с подобными трехмерными моделями, проведены различные анализы моделей, исследованы возможности экспорта трехмерных моделей.