VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO
VADYBOS KATEDRA

Oksana Černiavskaja

STATINIŲ PRADINIO INFORMACINIO MODELIO KŪRIMO METODAS IR JO TAIKYMO GALIMYBĖS
METHOD OF CREATING BUILDINGS PRIMARY INFORMATION MODEL AND ITS UTILIZATION POSSIBILITIES

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003
Statybos ekonomikos ir verslo specializacija
Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO
VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
VGTU SF Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedros vedėjas prof.habil.dr. A. Kaklauskas
(Parašas)
(Vardas, pavardė)
2018-05-24
(Data)

Oksana Černiavskaja

STATINIŲ PRADINIO INFORMACINIO MODELIO KŪRIMO METODAS IR JO TAIKYMO GALIMYBĖS
METHOD OF CREATING BUILDINGS PRIMARY INFORMATION MODEL AND ITS UTILIZATION POSSIBILITIES

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003
Statybos ekonomikos ir verslo specializacija
Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas prof. habil. dr. Leonas Ustinovičius 2018-05-22
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas Lina Rutkienė 2018-05-24
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO VADYBOS KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos ekonomikos ir verslo specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas
VGTU SF Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedros vedėjas
prof.habil.dr. A. Kaklauskas
(Parašas)
(Vardas, pavardė)
2018-05-24
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS
2018 03 14 Nr. ...2...
Vilnius

Studentui (ei) Oksanai Černiavskajai .....
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Statinių pradinio informacinio modelio kūrimo metodas ir jo panaudojimo galimybės .....

.....

patvirtinta 2018 m. kovo 14 d. dekano potvarkiu Nr. 102st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2018 m. gegužės 23 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

1. Ištirti mokslinę literatūrą, kurioje aprašomi BIM teikiami privalumai projektų valdyme, projekto investicijų pelningumo rodiklis (ROI) ir projekto įgytosios vertės metodas (EVM) bei jo taikymo galimybės;
2. Apžvelgti statybos procesų skaitmeninimo privalumus ir trūkumus;
3. Išanalizuoti fotogrametrijos metodo panaudojimo galimybes atliekant statybos organizavimo, priežiūros ir išpildomosios dokumentacijos ruošimo darbus;
4. Atlikti investicijų pelningumo rodiklio ir įgytosios vertės metodo analizę, nagrinėjant projektą iš rangovo perspektyvos;
5. Remiantis egzistuojančia investicijų pelningumo apskaičiavimo metodika, pasiūlyti ROI apskaičiavimo metodą rangovui (dėl klaidų ir vėlavimo įtakos).

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:
.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas ..... prof. habil. dr. Leonas Ustinovičius
(Paraša) (Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau
.....
(Parašas)
Oksana Černiavskaja
(Vardas, pavardė)
2018-03-15
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo
bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Oksana Černiavskaja, 20064363
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas
(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, SEVfm-16
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. gegužės 23 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Statinių pradinio informacinio modelio kūrimo metodas ir jo taikymo galimybės“ patvirtintas 2018 m. kovo 14 d. dekano potvarkiu Nr. 102st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas prof. habil. dr. Leonas Ustinovičius.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

(Parašas)

Oksana Černiavskaja
(Vardas ir pavardė)

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Civil Engineering
Department of Construction Management and Real Estate

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master Graduation Thesis
Title **Method of Creating Buildings Primary Information Model and its Utilization Possibilities**
Author **Oksana Černiavskaja**
Academic supervisor **Leonas Ustinovičius**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

There are many participants in construction projects. This implies a complex process of construction project management and a serious requirement for processing a huge amount of information, including design, construction, time and cost parameters, cost-effectiveness and sustainability. Intelligent information and communication technologies support cost management and building project management. One of them is the information modeling of construction.

The master's thesis consists of an introduction describing the relevance of the work, its purpose and tasks, the analytical and research aspects, the conclusions and suggestions, and the list of references. The analytical part analyzes articles and methods of calculating the return on investment (ROI) and earned value management (EVM) methods. An overview of the advantages and disadvantages of digitizing construction processes. In the research part, the project uses the earned value-management method (EVM), the project is digitized using BIM technologies and the BIM technology investment return rate (ROI) is calculated. According to the results of the research, is proposed the formula for calculating ROI, in assessing the contractor's profitability indicator. The results obtained show the profitability of these investments in terms of reduced error rates and delays in schedules.

Thesis consist of 74 p. text without appendixes, 40 illustrations, 12 table, 35 bibliographical entries.

Keywords: Return on investment (ROI), Building Information Modeling (BIM), Earned Value Management (EVM).

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Statybos fakultetas
Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Statybos technologijų ir valdymo** programos magistro baigiamasis darbas
Pavadinimas **Statinių pradinio informacinio modelio kūrimo metodas ir jo taikymo galimybės**
Autorius **Oksana Černiavskaja**
Vadovas **Leonas Ustinovičius**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Statybos projektuose dalyvauja daug dalyvių. Tai reiškia sudėtingą statybos projektų valdymo procesą ir rimtą reikalavimą apdoroti didžiulę informacijos kiekį, įskaitant projektavimo, statybos, laiko ir kaštų parametrus, ekonominį efektyvumą ir tvarumą. Pažangios informacinės ir komunikacinės technologijos remia sąnaudų valdymą ir statybos projekto valdymą. Vienas iš jų - statybos informacinis modeliavimas. Magistro darbą sudaro įvadas, kuriame aprašomas darbo aktualumas, tikslas ir keliami uždaviniai, analitinė ir tiriamoji dalys, išvados ir pasiūlymai bei literatūros sąrašas. Analitinėje dalyje analizuojami mokslininkų straipsniai bei metodikos apskaičiuojant investicijų pelningumo rodiklį (ROI) ir nagrinėjantys įgytosios vertės metodus (EVM). Apžvelgiami statybos procesų skaitmeninimo privalumai ir trūkumai Tiriamojoje dalyje nagrinėjamas projektas naudojant įgytosios vertės metodą (EVM), projektas skaitmeninamas naudojant BIM technologijas ir apskaičiuojamas BIM technologijų investicijų pelningumo rodiklis (ROI). Remiantis tyrimo rezultatais pasiūlyta ROI apskaičiavimo formulė, vertinant rangovo investicijų pelningumo rodiklį. Gauti rezultatai parodo šių investicijų pelningumo rodiklį, vertinant sumažėjusį klaidų kiekį ir grafiko vėlavimus.

Darbo apimtis 74 p. teksto be priedų, 40 iliustr., 12 lent., 35 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: investicijų pelningumo rodiklis (ROI), statinio informacinis modeliavimas (BIM), įgytosios vertės metodas (EVM).

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 9

LENTELIŲ SĄRAŠAS 11

SANTRUPOS 12

ĮVADAS 14

1. LITERATŪROS APŽVALGA 15

1.1. BIM teikiami privalumai statybos projektų valdyme 15

1.2. BIM projektų investicijų pelningumo rodiklis (ROI) 15

1.3. Projekto įgytosios vertės metodas ir metodo taikymai 23

2. BIM TECHNOLOGINIO EFEKTYVUMO VERTINIMAS RANGOVUI ATLIEKANT STATYBOS DARBUS 26

2.1. Statybos procesų skaitmeninimo privalumai 26

2.2. Statinio informacinis modeliavimas (BIM) ir jo diegimas Europos sąjungoje. Diegimo vadovas 26

2.3. Kompetencijų ir BIM įgyvendinimo aprašas Lietuvoje 27

2.3.1. BIM vadovas 27

2.3.2. BIM koordinatorius 28

2.3.3. BIM specialistas 29

2.3.4. BIM įgyvendinimo plano aprašas 29

2.4. Efektyvus statybos objekto BIM modelio panaudojimas 30

2.5. Statybos klasifikatorius 31

2.6. Programinė įranga ir jos panaudojimo galimybės 36

2.6.1. Priešprojektinė analizė 38

2.6.2. Modelio patikrinimas 40

2.6.3. Kainos nustatymas 40

2.6.4. Planavimas 41

2.6.5. Projekto pakeitimų valdymas 42

2.6.6. Pasiruošimas statybai 42

2.6.7. Statybos darbų organizavimas 43

2.6.8. Statybos proceso optimizavimas, stebėjimas, kontrolė 45
2.6.9 Skaitmeninė išpildomoji dokumentacija, pastatų ūkio valdymas 46
2.6.10 Programinės įrangos panaudojimo sunkumai, programų nesuderinamumas 47
2.7. Statybos procesų modelis 48
2.8. BIM programinės įrangos panaudojimo sunkumai, programų nesuderinamumas 50
2.9. Projekto įgytosios vertės valdymas ir analizė 51
2.10. Investicijų pelningumo rodiklis (ROI) taikant BIM statybos rangos darbams 53
3. BIM TECHNOLOGINIO EFEKTYVUMO VERTINIMO PAVYZDYS RANGOVUI ATLIEKANT STATYBOS DARBUS 57
3.1. Pagrindiniai statybos projekto rodikliai 57
3.1.1. Projekto apibūdinimas. Architektūrinė dalis 57
3.1.2. Projekto apibūdinimas. Konstrukcinė dalis 57
3.1.3. Pagrindiniai statybos dalyviai 58
3.1.4. Darbų skaidymo struktūra 59
3.1.5. Rizikos veiksniai, darantys poveikį projekto baigimui 61
3.1.6. Darbų vykdymo planiniai ir faktiniai grafikai 64
3.2. Projekto įgytosios vertės valdymas ir analizė 66
3.2.1. Projekto biudžetas 66
3.2.2. Projekto įgytosios vertės skaičiavimas 66
3.3. Investicijų pelningumo rodiklio (ROI) apskaičiavimas taikant BIM statybos rangos darbams 68
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI 70
LITERATŪRA 72

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. SLAM BIM procesas (Won, Lee 2016) 17
1.2 pav. BIM teikiama nauda (Love *et al.* 2013) 21
1.3 pav. Problematikos nagrinėjimo schema (Barlish, Sullivan 2012) 22
1.4 pav. EVM priklausomybė ir prognozės (Narbaev, De Marco 2014) 24
1.5 pav. EVM grafikas (Vakhrushkina *et al.* 2017) 24
1.6 pav. Siūloma EVM koncepcija (Vakhrushkina *et al.* 2017) 25
2.1 pav. BIM specialistai (parengta autorės) 27
2.2 pav. Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai (Skaitmeninė statyba 2017) 30
2.3 pav. Komponentų klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017) 33
2.4 pav. Erdvių klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017) 34
2.5 pav. Funkcinių sistemų klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017) 34
2.6 pav. Techninių sistemų klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017) 35
2.7 pav. Identifikavimo kodas (Skaitmeninė statyba 2018) 35
2.8 pav. Klasifikatoriaus kodo informacijos mainai (Skaitmeninė statyba 2018) 36
2.9 pav. Atskirų proceso dalyvių bendradarbiavimo schema (parengta autorės) 37
2.10 pav. Pagrindiniai valdymo etapai statyboje (parengta autorės) 38
2.11 pav. Kompiuterizuojas modelio elementas 39
2.12 pav. Skaitmeninis pastato modelis 39
2.13 pav. Projektavimo klaidos 40
2.14 pav. Programos modelio aplinka 41
2.15 pav. Modelis ir Ganto grafikas 41
2.16 pav. Projekto fragmento keitimas 42
2.17 pav. Statybvietės modelis 43
2.18 pav. Planuojamo statyti projekto vizualizavimas realioje aplinkoje 43
2.19 pav. Projektuojamas pastatas interguotas į statybos vietą 44
2.20 pav. Statybvietės fotogrametrinis vaizdas 44
2.21 pav. Statybos eigos fiksavimas 45
2.22 pav. Išpildomosios nuotraukos fragmentas 46
2.23 pav. Skaitmeninė išpildomoji dokumentacija pastatų ūkio valdyme 46
2.24 pav. BIM informacijos keitimosi žemėlapis (parengta autorės) 47
2.25 pav. Tradicinis statybos proceso modelis (parengta autorės) 48
2.26 pav. BIM statybos proceso modelis (parengta autorės) 49
2.27 pav. Grafinis įgytosios vertės metodo atvaizdavimas (Anbari 2001) 52

3.1 pav. Gyvenamosios paskirties pastato su administracinėmis patalpomis statybos dalyvių sąveika (parengta autorės) 59
3.2 pav. Trigubas apribojimas (Banatienė 2017) 61
3.3 pav. Nenumatytų rizikų poveikis projekto įgyvendinimui (Banaitienė 2017) 62
3.4 pav. Projekto rizikų deimantas (Banaitienė 2017) 62
3.5 pav. Statybos projektų rizikos veiksnių struktūra (Banaitienė, Banaitis 2014) 63
3.6 pav. Planinio projekto grafiko fragmentas (parengta autorės) 65
3.7 pav. Faktinio projekto grafiko fragmentas (parengta autorės) 65

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Projekto klaidų sklaida pagal klaidų grupes (Lee *et al.* 2017) 16
1.2 lentelė. Projekto klaidų sklaida pagal klaidos priežastis ir aptikimo galimybes (Lee *et al.* 2017) 16
1.3 lentelė. Nagrinėjamo projekto BIM ROI rezultatai (Lee *et al.* 2017) 17
1.4 lentelė. A ir B projektų informacija (Giel, Issa 2011) 18
1.5 lentelė. A ir B projekto investicijų pelningumo rodiklio skaičiavimai (Giel, Issa 2011) 19
1.6 lentelė. C ir D projektų informacija (Giel, Issa 2011) 19
1.7 lentelė. C ir D projekto investicijų perlningumo rodiklio skaičiavimai (Giel, Issa 2011) 20
1.8 lentelė. BIM technologijų taikymo nauda skirtinguose projektuose (Barlish, Sullivan 2012) 22
1.9 lentelė. BIM technologijų taikymo nauda skirtinguose projektuose (Barlish, Sullivan 2012) 23
3.1 lentelė. Darbų skaidymas pagal darbų grupes (parengta autorės) 60
3.2 lentelė. Įgytosios vertės skaičiavimo vertės (parengta autorės) 67
3.3 lentelė. Projektinės dokumentacijos keitimas (parengta autorės) 68

SANTRUPOS

BIM (Building information modeling) – pastato informacinis modeliavimas;

ROI (Return on investment) – investicijų pelningumo rodiklis;

SLAM BIM (Success level assesment model for building information modeling) – sėkmės lygio vertinimo modelis pastato informaciniam modeliavimui;

KPI (Key performance indicators) – pagrindiniai veiklos rodikliai;

IS (Information systems) – informacinės sistemos;

EVM (Earned Value Management) – įgytosios vertės metodas;

EDM (Earned Duration Management) – įgytosios trukmės metodas;

AC (Actual Cost of Work Performed) – faktinės atliktų darbų sąnaudos;

PV (Budgeting Cost for Work Scheduled) – numatytiems darbams atlikti skirtos lėšos;

EV (Budgeting Cost for Work Performed) – atliktiems darbams planuotos lėšos;

AT (Actual Time) – faktinė trukmė;

TV (Time Variance) – grafiko (laiko) skirtumas;

CV (Cost Variance) – išlaidų skirtumas;

SV (Schedule Variance) – grafiko skirtumas;

PV (Planned Value) – planinė vertė;

CPI (Cost Performance Index) – išlaidų efektyvumo rodiklis;

SPI (Schedule Performance Index) – grafiko įvykdymo rodiklis;

BAC (Budget at completion) – objekto pasirašytas biudžetas;

MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – absoliutinė procentinė paklaida;

CEAC (Cost Estimate at Competion) – projekto statybos pabaigos išlaidos;

3D (three-dimensional) – trijų dimensijų;

4D (four-dimensional) – keturių dimensijų;

5D (five-dimensional) – penkių dimensijų;

6D (six-dimensional) – šešių dimensijų;

IFC (Industry Foundation Classes) – OpenBIM dokumentų formatas;

CAD (Computer-aided design) – automatizuotas projektavimas;

ŠVOK – šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas;

VN – vandentiekis ir nuotekos;

E – elektrotechnika;

ER – elektroniniai ryšiai;

AS – apsauginė signalizacija;

GS – gasiro signalizacija;

LVN – lauko vandentiekio ir nuotekų tinklai;

IRT (Information and communication technologies) – Informacinės ir ryšių technologijos;

GLN (Global Location Number) – visuotinis lokalizacijos numeris;

GTIN (Global Trade Item Number) – visuotinis prekinio vieneto numeris;

SSCC (Serial Shipping Container Code) – identifikaciniai pervežamo krovinio numeriai;

BK – brūkšniniai kodai;

ISO (International Organization for Standardization) – tarptautinė standartizacijos organizacija;

IEC (*International Electrotechnical Commission*) – tarptautine elektrotechnikos komisija.

ĮVADAS

Pastato informacinis modeliavmas vis labiau įsitvirtina statybos pramonėje. BIM yra pastato kūrimo ir duomenų valdymo procesas per jo gyvavimo ciklą. BIM tapo modernių statybos bendrovių valdymo įrankių dalimi. Statybos projektuose dalyvauja daug dalyvių. Tai reiškia sudėtingą statybos projektų valdymo procesą ir rimtą reikalavimą apdoroti didžiulį informacijos kiekį, įskaitant projektavimo, statybos, laiko ir kaštų parametrus, ekonominį efektyvumą ir tvarumą. Pažangios informacinės ir komunikacinės technologijos remia sąnaudų valdymą ir statybos projekto valdymą. Vienas iš jų - statybos informacinis modeliavimas. Projekto skaitmeninimas suteikia daug privalumų, tačiau kiekvienu atveju labai svarbu apskaičiuoti investicijų pelningumą prieš investuojant į šias technologijas.

Baigiamojo darbo tikslas – atsižvelgiant į literatūros šaltiniuose pateikiamą informaciją, išnagrinėti projekto įgytosios vertės metodo (EVM), investicijų pelningumo rodiklio (ROI) diegiant BIM bei BIM privalumus ir taikymo galimybes statybos projektų valdyme. Išnagrinėjus literatūroje pateikiamus ROI skaičiavimo principus, pasiūlyti ROI skaičiavimo metodiką rangovui.

Magistro darbo praktinis gautų rezultatų pritaikomumas turėtų teigiamos įtakos Lietuvos statybų sektoriaus technologiniam vystymui, įgyvendinant BIM diegimą statybos įmonėse.

Darbo uždaviniai:

1. Ištirti mokslinę literatūrą, kurioje aprašomi BIM teikiami privalumai projektų valdyme, projekto investicijų pelningumo rodiklis (ROI) ir projekto įgytosios vertės metodas (EVM) bei jo taikymo galimybės;
2. Apžvelgti statybos procesų skaitmeninimo privalumus ir trūkumus;
3. Išanalizuoti fotogrametrijos metodo panaudojimo galimybes atliekant statybos organizavimo, priežiūros ir išpildomosios dokumentacijos ruošimo darbus;
4. Atlikti investicijų pelningumo rodiklio ir įgytosios vertės metodo analizę, nagrinėjant projektą iš rangovo perspektyvos;
5. Remiantis egzistuojančia investicijų pelningumo apskaičiavimo metodika, pasiūlyti ROI apskaičiavimo metodą rangovui (dėl klaidų ir vėlavimo įtakos).

Tyrimo metodai. Teorinėje dalyje buvo atlikta įvairių literatūros šaltinių bei programinės įrangos analizė. Tiriamojoje dalyje nagrinėjamas projektas naudojant įgytosios vertės metodą (EVM), projektas skaitmeninamas naudojant BIM technologijas ir apskaičiuojamas BIM technologijų investicijų pelningumo rodiklis (ROI).

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. BIM teikiami privalumai statybos projektų valdyme

Progresinių technologijų naudojimas statybos projektų valdyme kiekvieną dieną suteikia daugiau galimybių (Mesaroš *et al.* 2016). Galimybė naudoti naujas technologijas statybos projektų valdyme (ypač išlaidų valdymui, sąnaudų mažinimui, pastatų projektavimui, statybos projektų sudarymui ir planavimui apskritai) nuolat plečiasi kuriant naujus programinius sprendimus (Mesaroš *et al.* 2016). Išlaidų valdymas yra esminė sąlyga efektyviam statybos projektų valdymui (Mesaroš 2016). Tiesą sakant, išlaidų mažinimas nėra vienintelė pažangios technologijos išnaudojimo nauda. Pasak kitų mokslininkų, šiandien būtina analizuoti kitas privalumus, kuriuos naujosios technologijos teikia kiekvienoje srityje (Krsak *et al.* 2016). Statybos projektų valdyme BIM technologija yra vienas iš galimų ir galimų sprendimų minėtoms užduotims. Todėl BIM (statybų informacijos modeliavimas) paprastai buvo paminėtas ir apibrėžtas daugelyje leidinių, konferencijų ir praktinių užsiėmimų. Kiti autoriai (Černy *et al.* 2013) teigia, kad BIM yra tokia sąvoka, kuri vis dažniau patenka į statybos pramonės sąmoningumą. Pirmasis BIM koncepcijos paminėjimas buvo užregistruotas 2002 m. Labai dažnai BIM sąvoka suvokiama kaip kompiuterio programa arba 3D modelis, kuris yra tik jo dalis. BIM koncepcija turi keletą apibrėžimų (Černy *et al.* 2013). Informacijos apie modeliavimą kūrimas - tai procesas, kurio metu sukuriamas ir tvarkomas duomenų apie pastato modelis per jo gyvavimo ciklą. Pasak Nacionalinio statybos mokslų instituto, informacija, gauta naudojant informacinį modeliavimą, yra labai svarbi siekiant efektyviai ir tiksliai suprojektuoti statybos dokumentus, planuoti statybos, apskaičiuoti sąnaudas ir prognozuoti eismo plėtrą. Taigi informacijos modeliavimas ne tik sukuria 3D modelį, bet ir 4D (laiko), 5D (sąnaudų) ir XD modelį. Be to, galima sakyti, kad BIM yra priemonė, skirta valdyti santykius tarp projekto statybos dalyvių (Radziszewska-Zielina, Rumin 2016). Šiuo metu BIM yra labiausiai paplitęs būdas susipažinti su pastatų projektavimu, statyba ir priežiūra (Bryde *et al.* 2013).

1.2. BIM projektų investicijų pelningumo rodiklis (ROI)

Investicijų pelningumo rodiklis (ROI) yra veiklos rodiklis, naudojamas investicijų efektyvumui įvertinti arba palyginti įvairių investicijų efektyvumą. ROI parodo investicijų grąžos dydį, lyginant su investicijos kaina. Toliau yra apžvelgiama užsienio literatūra ir nagrinėjami ROI nustatymo būdai ir problematika.

Straipsnyje apžvelgiamas projekto investicijų pelningumo rodiklis (ROI) projektavimo stadijoje. Pagrindinis kriterijus – išvengtos projekto projektavimo klaidos. ROI buvo analizuojamas naudojant 709 projektavimo klaidas, kurios buvo nustatytos projektui pritaikius BIM technologijas.

Nagrinėjamas projektas Seule Korejoje, tai šeši dideli ir vidutinio aukščio pastatai. Visos klaidos buvo suskirstytos į grupes pagal klaidos priežasties tipą (žr. 1.2 lentelė.) ir klaidos aptikimo galimybę dar iki darbų pradžios (žr. 1.1 lentelė.). Klaidos buvo išskirtos į tris grupes: loginės, neatitikimai ir trūkstami elementai. Didžioji dalis klaidų yra neatitikimai - net 50,49 %, labai panašus santykis tarp loginių klaidų ir trūkstamų elementų (27,22 % ir 22,28 %).

1.1 lentelė. Projekto klaidų sklaida pagal klaidų grupes (Lee *et al.* 2017)

Priežastis	Darbų tipas	Tiesioginė priežastis	Kiekis	% nuo kiekio	% nuo viso kiekio
Nelogiškas dizainas	Konstrukcijos	Klaidos	28	17.72	6.77
		Rengimo klaidos	10	6.33	
		Neklasifikuojama	10	6.33	
		Viso	48	30.38	
	Architektūra	Klaidos	19	12.03	3.53
		Rengimo klaidos	3	1.9	
		Neklasifikuojama	3	1.9	
		Viso	25	15.82	
	Inžinerinės sistemos	Klaidos	85	53.8	11.99
		Rengimo klaidos	0	0	
		Neklasifikuojama	0	0	
		Viso	85	53.8	
	Viso		158	100	22.28
	Konstrukcijos		140	39.11	50.49
	Architektūra		99	27.65	
	Inžinerinės sistemos		3	0.84	
	Tarp konstrukcijų ir architektūros dalies		107	29.89	
	Tarp konstrukcijų ir inžinerinių sistemų		4	1.12	
	Tarp architektūros ir inžinerinių sistemų		5	1.4	
	Viso		358	100	50.49
Trukstamos detalės	Konstrukcijos	Nėra identifikavimo numero	34	17.62	21.16
		Trūkstami simboliai	8	4.15	
		Trūkstamos specifikacijos	64	33.16	
		Trūkstami matmenys	1	0.52	
		Trukstamos detalės	34	17.62	
		Nėra užbaigimo sluoksnio	1	0.52	
		Neklasifikuojama	8	4.15	
		Viso	150	77.72	
	Architektūra	Trūkstami identifikavimo numeriai	15	7.77	6.06
		Trūkstamos linijos/simboliai	0	0	
		Trūkstamos specifikacijos	3	1.55	
		Trūkstami matmenys	1	0.52	
		Trukstamos detalės	17	8.81	
		Nėra užbaigimo sluoksnio	4	2.07	
		Neklasifikuojama	3	1.55	
		Viso	43	22.28	
	Inžinerinės sistemos	Viso	0	0	0
	Viso		193	100	27.22
Iš viso			709 n/a		100

1.2 lentelė. Projekto klaidų sklaida pagal klaidos priežastis ir aptikimo galimybes (Lee *et al.* 2017)

Priežastis	Klaidos aptikimo tikimybė	Klaidų kiekis	% nuo kiekio
Nelogiškas dizainas	1	44	27.85
	2	52	32.91
	3	62	39.24
	Viso	158	100
Neatitikimai	1	55	15.36
	2	163	45.53
	3	140	39.11
	Viso	358	100
Trūkstami elementai	1	10	5.18
	2	12	6.22
	3	171	88.6
	Viso	193	100
	Iš viso	709 n/a	

Klaidų nustatymo tikimybė turėjo nemažą poveikį ROI rezultatmas (nuo keturių iki penkiolikos kartų). Papildoma analizė padėjo įrodyti (žr. 1.3 lentelė.), kad darbų vėlavimas turi didesnį ekonominį poveikį projektui nei klaidų taisymo kaštai.

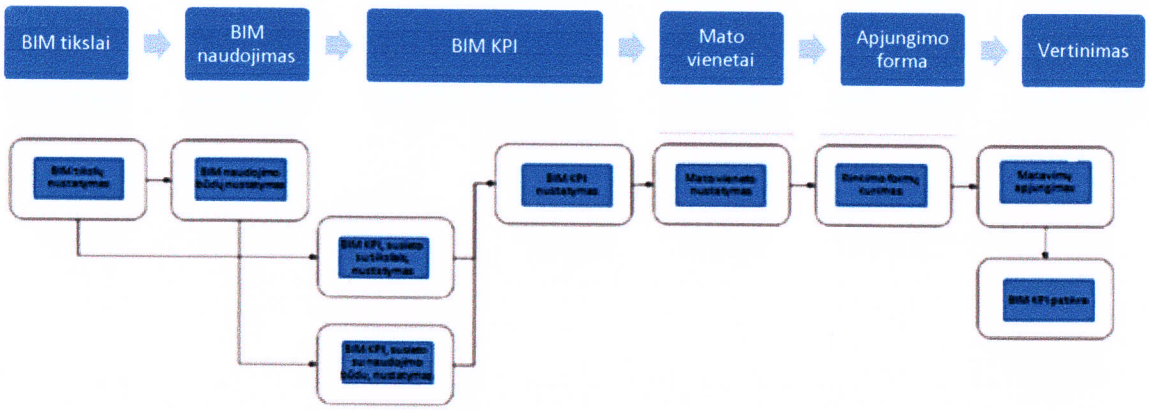
1.3 lentelė. Nagrinėjamo projekto BIM ROI rezultatai (Lee *et al.* 2017)

BIM ROI analinės rezultatai

Output skaičiavimo metodas	Input (USD)	Output (USD)			ROI
		Tiesioginės išlaidos	Netiesioginės išlaidos (11,4%)	Nuomos išlaidos	
Neatsižvelgiant į aptikimo tikimybę	887 166	3 467 020	395 240	0	335%
Taikomos statistinės identifikavimo tikimybės vertės	887 166	1 306 396	148 929	0	64%
Taikomas tikimybinis metodas	887 166	nuo 970 102 iki 1 568 127	nuo 130 449 iki 166 513	0	nuo 22% iki 97%

Priklausomai nuo nagrinėjamo pjūvio projekto investicijų pelningumo rodiklis yra nuo 22 % iki 97 % (Lee *et al.* 2017).

Kitame straipsnyje BIM projekto nauda buvo nagrinėjama, taikant SLAM BIM metodą, kuris leidžia įvertinti BIM projekto sėkmę. Vertinimas buvo sukurtas remiantis prielaida, kad projekto neįmanoma įvertinti nenustačius projekto tikslų. Todėl pagrindiniai veiklos rodikliai KPI gali skirtis priklausomai nuo projekto tikslo. Nustatant BIM tikslus SLAM BIM susideda iš penkių etapų: naudojimo pobūdis, KPI, matavimai, duomenų rinkimo forma ir procesai (žr. 1.1 pav.). Siekiant sustatyti atitinkamus BIM KPI buvo atsižvelgta į BIM KPI, kurie buvo surinkti, išmatuoti ir palyginti. Naudojant SLAB BIM procesus buvo analizuojami du projektai nuo projekto pradžios iki projekto įgyvendinimo stadijos, renkant tokius duomenis kaip grafiko pasikeitimas, dizaino klaidos, užsakymų keitimas, reagavimo laikas ir ROI. SLAM BIM buvo vertinamas dviem principais. Pirmasis principas yra tas, kad BIM projekto sėkmę galima nustatyti tik tada, kai BIM projekto įgyvendinimo tikslai yra aiškiai apibrėžti, o BIM KPI gali skirtis priklausomai nuo BIM tikslų. Antrasis principas yra tas, kad KPI duomenų rinkimas turėtų būti tvarus. Tai reiškia, kad KPI turėtų būti surenkamas nagrinėjant darbo procesus, su minimaliomis papildomomis pastangomis. KPI apibrėžiamas remiantis sąsajomis tarp BIM tikslų, naudojimo, KPI ir procesų, susijusių su papildomų duomenų rinkimo procesais (**Won, Lee** 2016).



1.1 pav. SLAM BIM procesas (**Won, Lee** 2016)

Informacinis pastato modeliavimas tai vyraujanti tendencija statybos srityje. Vis daugiau projektuotojų, architektų ir rangovų pasitelkia šias technologijas savo darbui. Labiausiai BIM naudojimas paplitęs projektavimo ir architektūros įmonėse. Dideli diegimo kaštai ir ilgas mokymosi procesas atbaido statybos sektoriaus profesionalus nuo praktinio BIM panaudojimo. Bet kurios programinės įrangos ar modelio panaudojimas turi būti finansiškai naudingas, todėl teikiama nauda turi būti apskaičiuojama.

B. Gielas ir R. Issa (Giel, Issa 2011) straipsnyje nagrinėjama BIM teikiama nauda ir investicijų pelningumo rodiklis užsakovo atžvilgiu. Nagrinėjami jau įgyvendinti projektai – tradiciniu būdu įgyvendintas projektas (A) lyginamas su panašaus sudėtingumo ir vertės projektu (B), kurio įgyvendinimui buvo naudojamas BIM (žr. 1.4 lentelė). Projektai analizuojami vertinant tokius rodiklius kaip projekto vertė, keitimų ir klaidų kaina, projekto trukmė (mėnesiais), projekto įgyvendinimo atsilikimas nuo grafiko (dienomis).

Kiekvienam straipsnyje nagrinėjamam projektui apskaičiuotas investicijų pelningumo rodiklis (ROI), kurio reikšmė varijuoja nuo 16 % iki 1654 %.

1.4 lentelė. A ir B projektų informacija (Giel, Issa 2011)

	A projektas (prieš BIM)	B projektas (pritaikius BIM)
Sutarties kaina	7 128 000 USD	8 844 073 USD
Pakeitimų išlaidos	376 837,67 USD	271 851,83 USD
Darbų trukmė	12 mėn	12 mėn
Darbų vėlavimas	7 dienos	0 dienų
Plotas	123 000 m2	81 000 m2
Paskirtis	Sandėliavimo paskirties	Sandėliavimo paskirties
Konstrukcijos tipas	Metalinis laikantis karkasas	Metalinis laikantis karkasas

A projektui apskaičiuotas investicijų pelningumo rodiklis naudojamas B projektui. Dėl nepakankamo kiekio įrašų apie projekto tiesiogines išlaidas, ROI skaičiuojamas tik netiesioginėms išlaidoms. Atlikus skaičiavimus nustatyta, kad BIM taikymas leido sumažinti atliekamų darbų trukmę 7 dienomis. B projekto investicijų pelningumo rodiklis lygus 16,2 % (žr. 1.5 lenetelė).

1.5 lentelė. A ir B projekto investicijų pelningumo rodiklio skaičiavimai (Giel, Issa 2011)

A projektas. BIM ROI	
Kainos kategorija	Suma, USD
Tiesioginės sąnaudos, susijusios su subrangos sutarčių sudarymu:	16 650
Tiesioginės išlaidos, susijusios su keitimais	928
Sijų keitimas	8 499
Klaidinga durų varstymo kryptis	5 664
Viso	15 091
Netiesioginės išlaidos, kurios gali būti išvengtos naudojant BIM (7dienos):	
Kasdienės išlaidos, susijusios su sutarties perviršiu(855USD/diena)	5 985
Palūkanos už paskolą statyboms (5%) (976USD/dienai)	6 832
Administracinės išlaidos, susijusios su grafiko vėlavimu (446USD/diena)	3 122
Papildomos išlaidos, susijusios su architekto paslaugomis dėl grafiko vėlavimo (149USD/diena)	1 043
Viso	16 982
Viso sutaupymas	48 723
BIM kaina (0.5% sutarties kainos)	35 640
Taupymas dėl BIM	13 083
ROI	36.70%

B projektas. BIM ROI netiesioginėms išlaidoms	
Kainos kategorija	Suma, USD
Tiesioginės sąnaudos, susijusios su subrangos sutarčių sudarymu:	31 590
Netiesioginės išlaidos, kurios gali būti išvengtos naudojant BIM (7dienos):	
Kasdienės išlaidos, susijusios su sutarties perviršiu(888USD/diena)	6 216
Palūkanos už paskolą statyboms (5%) (1 212USD/dienai)	8 484
Administracinės išlaidos, susijusios su grafiko vėlavimu (544USD/diena)	3 808
Papildomos išlaidos, susijusios su architekto paslaugomis dėl grafiko vėlavimo (181USD/diena)	1 267
Viso	19 775
Viso sutaupymas	51 365
BIM kaina (0.5% sutarties kainos)	44 220
Taupymas dėl BIM	7 145
ROI	16.20%

Analogiškas skaičiavimas atliktas C ir D projektams, kurių vertė beveik šešis kartus didesnė nei A ir B projektų (žr. 1.6 lentelė).

11.6 lentelė. C ir D projektų informacija (Giel, Issa 2011)

	C projektas (prieš BIM)	D projektas (pritaikius BIM)
Sutarties kaina	41 757 618 USD	44 400 000 USD
Pakeitimų išlaidos	5 097 222 USD	513 632 USD
Darbų trukmė	601 diena	652 dienos
Darbų vėlavimas	426 dienos	0 (60 dienų anksčiau)
Plotas	439 760 m2	456 594 m2
Pastatų skaičius	14	7
Vienetų skaičius	311	218
Konstrukcijos tipas	Metalinis laikantis karkasas	Metalinis laikantis karkasas

Atlikus visus skaičiavimus gauti rezultatai:

- Pirmu atveju BIM taikymas labiau naudingas rangovui (36,7 %), nei užsakovui (16,2 %). Rangovui pavyko išvengti projekto klaidų ir baigti darbus anksčiau numatyto termino;

- Antru atveju matyti, kad BIM teikiama nauda labiau pastebima dideliuose projektuose (žr. 1.7 lentelė).
-

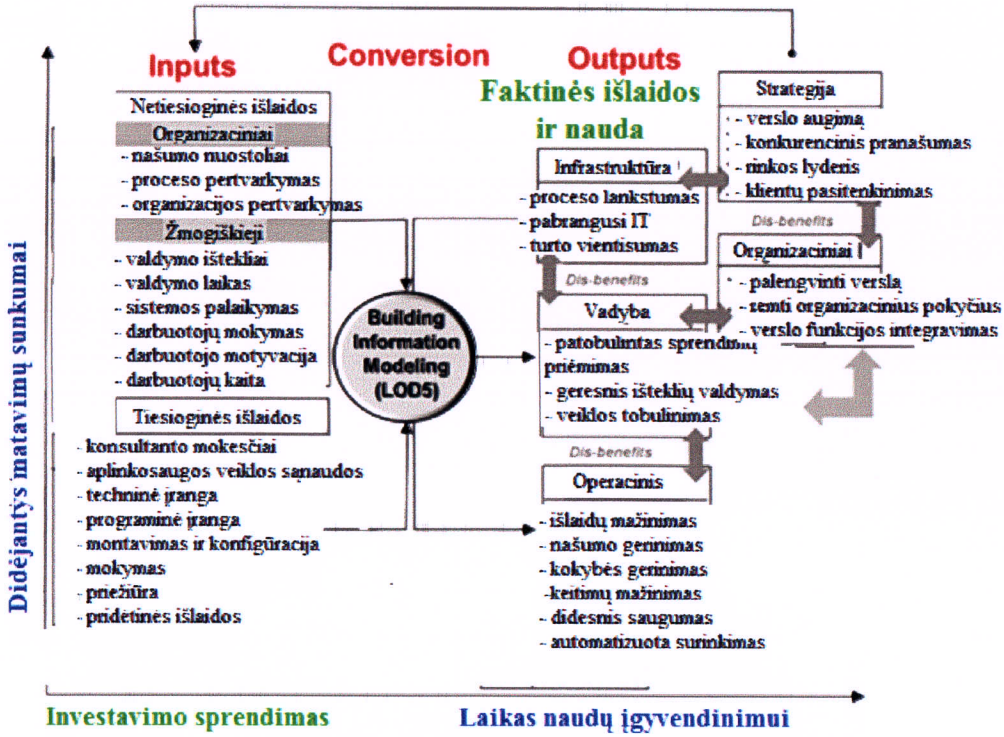
1.7 lentelė. C ir D projekto investicijų perlningumo rodiklio skaičiavimai (Giel, Issa 2011)

C projektas. BIM ROI	
Išlaidos	Suma, USD
Tiesioginės išlaidos skirtos taisymams:	
(COR 00004) Sienos tyrimai	24 862
(COR 00013) Papildoma sija	787
(COR 00014) Sienos nr. 1 poslinkis	3 396
(COR 00015) Kolonos nr. 2 perkėlimas dėl trūkstamo elemento brėžinyje	419
(COR 00025) Papildoma kanalizacija	19 158
(COR 00095) Gaisrinio vandentiekio sprinkerių reguliavimas dėl lubų altitudės pokyčio	1 777
(COR 00092) Naujo langa užsakymas	2 632
(COR 00104) Slenkančių durų sistema pažymėta kaip fasadinė sistema	2 208
(COR 00146) Lubų aukščio korekcijos dėl vėdinimo kanalų	13 062
(COR 00151) Papildoma lietaus nuvedimo sistema nuo stogo	19 081
(COR 00178) Ortakio korekcijos	2 722
(COR 00213) Papildomas sandarinimas prie ortakių	14 115
(COR 00231) Papildomi sprinkleriai dėl lubų altitudės keitimo	1 285
(COR 00175) Lifto durų demontavimas ir remontas	66 812
(CO 17) Papildomos medžiagos ir išlaidos dėl 221 dienos vėluojamų darbų	300 000
Viso	472 316
Netiesioginės išlaidos, kurių galima buvo išvengti	
Statybos darbų vėlavimas (5 425USD/diena)	1 198 925
Paskolos palūkanos 5% (5 720USD/diena)	1 264 120
Administracijos išlaidos (2 466USD/diena)	544 986
Architekto papildomas darbas/autorinė priežiūra (822USD/diena)	181 662
Viso	3 189 693
Viso apskaičiuota taupymo	3 662 009
BIM kaina (0.5% projekto vertės)	208 788
Taupymas dėl BIM	3 453 221
ROI	1653.90%
D projektas. BIM ROI	
Išlaidos	Suma, USD
Netiesioginės išlaidos, kurių galima buvo išvengti	
Statybos darbų vėlavimas (5 425USD/diena)	325 500
Paskolos palūkanos 5% (5 720USD/diena)	364 920
Administracijos išlaidos (2 466USD/diena)	147 960
Architekto papildomas darbas/autorinė priežiūra (822USD/diena)	49 320
Viso	887 700
Viso apskaičiuota taupymo	887 700
BIM kaina (0.5% projekto vertės)	222 000
Taupymas dėl BIM	665 700
ROI	299.90%

Straipsnio autoriai vieningai sutaria, kad norint taikyti BIM, reikia pirmiausia atsižvelgti į projekto dydį.

Dažnai projekto pelningumas vertinamas naudojant ROI metodą. Straipsnyje nagrinėjama turto savininkui teikiama nauda ir atkreipiamas dėmesys, kad negalima vertinti tik ROI, kadangi šis metodas neatspindi tikros situacijos turto savininko atžvilgiu.

Ankstesni tyrimai parodė, kad daugelis turto savininkų planuodami investicijas į informacines sistemas (IS) neruošia investicinio plano ir negali nustatyti, ar tikėtina nauda bus pasiekta. Vis dažniau pastebimi nepakankami arba netinkami investicijų vertinimai, kurie dažnu atveju neleidžia panaudoti sukuriančių pridėtinę vertė programinių įrangų. Atlikus BIM teikiamų naudų studiją 1.2 paveiksle pateikiama BIM teikiama nauda.

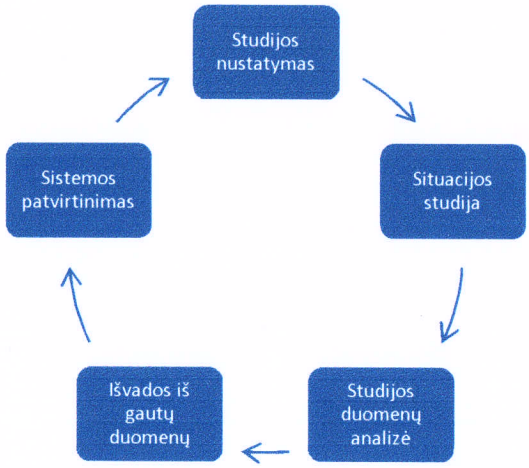


1.2 pav. BIM teikiama nauda (Love *et al.* 2013)

Straipsnio autoriai skaičiavimuose įvertina platų kriterijų spektrą, tokių kaip projekto realizavimas, kainų svyravimai. Straipsnyje siūloma, kad turto savininkai nesivadovautų tik ROI rodiklais, bet vertintų ir realizavimo naudas ir sukuriamą vertę (Love *et al.* 2013).

Kitame straipsnyje buvo nagrinėtas BIM poveikis projekto efektyvumui. Tyrimas buvo atliekamas dideliuose pramoniniuose projektuose. Lyginami panašūs projektai, vieni buvo įgyvendinami taikant BIM metodus, kiti taikant tradicinius metodus.

Atliekant tyrimus projekto autoriai naudojo 1.3 paveiksle pateiktą nagrinėjimo sistemą.



1.3 pav. Problematikos nagrinėjimo schema **(Barlish, Sullivan** 2012)

Apžvelgti sąnaudų ir investicijų rodikliai kartu su pelno ir investicinio pelningumo rodikliais. Taip pat buvo nagrinėjami tokie rodikliai kaip užsakymų pakeitimas, darbų trukmės priklausomybė, projektavimo ir statybos sąnaudos. Atlikta trijų projektų analizė, kuri leido įrodyti vienareikšmišką BIM technologijų taikymo naudą.

BIM sėkmė priklauso nuo daugelio faktorių, tokių kaip projekto dydis, BIM koordinatorių komandos teikiama nauda, projekto komandos komunikacijos ir kitų išorinių faktorių. Taigi, BIM sėkmė priklauso nuo konkretaus projekto ir įmonės.

Šiame straipsnyje aptariami trys BIM panaudojimo atvejai, nagrinėjant projektų kiekybinius duomenis ir nustatant investicijų naudą. Naudos sistema skirstoma:

- Atsiperkamumas: projekto klaidos/keitimai, užklauos (RFI) ir grafikai;
- Investicijos: projektavimo išlaidos, statybų išlaidos.

Rezultatai (žr. 1.9 ir 1.10 lentelės) kiekvienu atveju labai individualūs priklausomai nuo projekto sudėtingumo, tačiau visais atvejais projekto skaitmeninimas ir informacinių modeliavimo taikymas naudingas **(Barlish, Sullivan** 2012).

1.9 lentelė. BIM technologijų taikymo nauda skirtinguose projektuose **(Barlish, Sullivan** 2012)

Kriterijus	Mato vnt	Netaikant BIM	BIM	Netaikant BIM vs. BIM
RFIs	Kiekis	6	3	3
Keitimai	% nuo projekto vertės	12%	7%	42%
Grafikas	% vėlavimas nuo grafiko	15%	5%	67%

1.10 pav. BIM technologijų taikymo nauda skirtinguose projektuose (Barlish, Sullivan 2012)

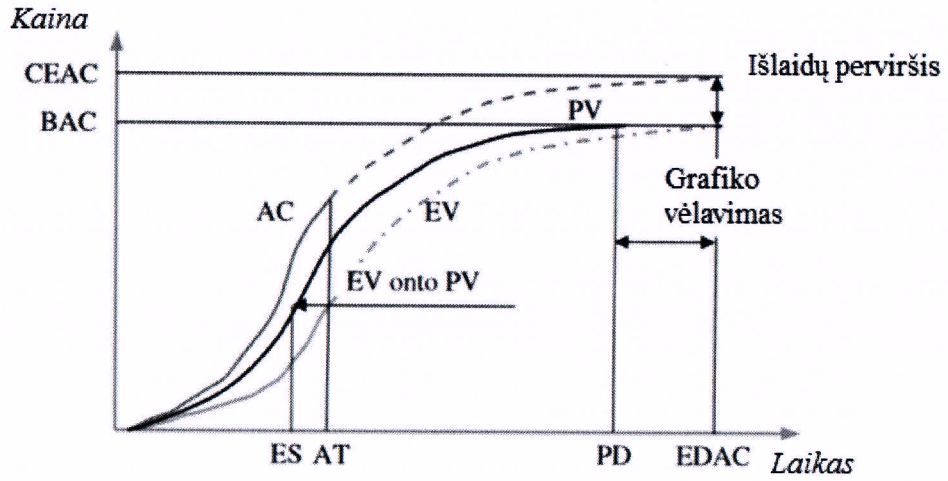
Kriterijus	Mato vnt	Netaikant BIM vs. BIM
Projektavimas		
A&E kaina	% nuo projektavimo kainos	31%
3D modelio kūrimo kaina	% nuo projektavimo kainos	34%
Statybos darbų kaina		
Rangovo kaina	% nuo rangos darbų	(-5%) taupymas
Projektavimas + statybos darbai		
Viso taupymas naudojant BIM	% nuo projektavimo ir rangos darbų	(-2%) taupymas

Pirmu nagrinėjamu atveju 42 % sumažėjo klaidų/keitimų kiekis, įrangos parinkimo užklausų kiekis (RFI) sumažėjo 50 %, projekto trukmė sumažėjo 67 % palyginus su planuojama projekto trūkme. Antru nagrinėjamu atveju investicijos, reikalingos projektui pritaikyti BIM technologijas: projektavimo išlaidos padidėjo 31 % dėl A, E sąnaudų, 34 % padidėjo projektavimo išlaidos dėl 3D modelio kūrimo, rangos darbų išlaidos sumažėjo 5 %. Gautas rezultatas: taikant BIM technlogijas projektavimo ir rangos darbų išlaidos sumažėjo 2 %.

1.3. Projekto įgytosios vertės metodas ir metodo taikymai

Įgytosios vertės metodas (EVM) yra veiksminga projekto vykdymo priemonė. Tačiau daugelyje EVM taikymo atvejų pagrindinis dėmesys skiriamas galutinei projekto kainai ir projekto trukmei, bet ne projekto tobulinimui naudojant planinę vertę (PV), norint prognozuoti įgytąją vertę (EV) ir faktines išlaidas (AC). Šiame tyrime siūlomas tiesioginis modeliavimo metodas, kuriuo siekiama pagerinti planinės vertės (PV) reikšmę dar prieš projekto pradžią. Naudojant modeliavimo metodą, straipsnyje sukuriami EV ir AC modelių projektavimo modeliai. Siūlomi modeliai pagerina EV ir AC prognozes 23,66 % ir 17,39 %, lyginant su pirminėmis PV reikšmėmis. Naudojant vidutinę absoliutinę procentinę paklaidą (MAPE), parodoma, kad PV prognozuojama galia prieš projekto vykdymą užtikrina patikimesnę prognozuojamą informaciją apie EV ir AC ir leidžiančią efektyviai imtis aktyvių veiksmų siekiant užtikrinti palankius rezultatus. (Chen *et al.* 2015).

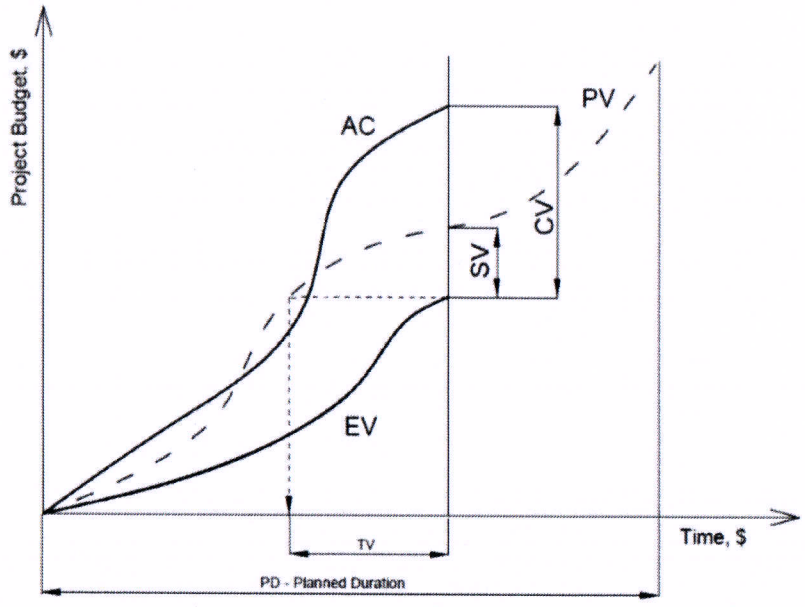
T. Narbaevo ir A. De Marco (Narbaev, De Marco 2014) straipsnyje nagrinėjamas tradicinis EVM metodas ir lyginams su CEAC (žr. 1.4 pav.).



1.4 pav. EVM priklausomybė ir prognozės (Narbaev, De Marco 2014)

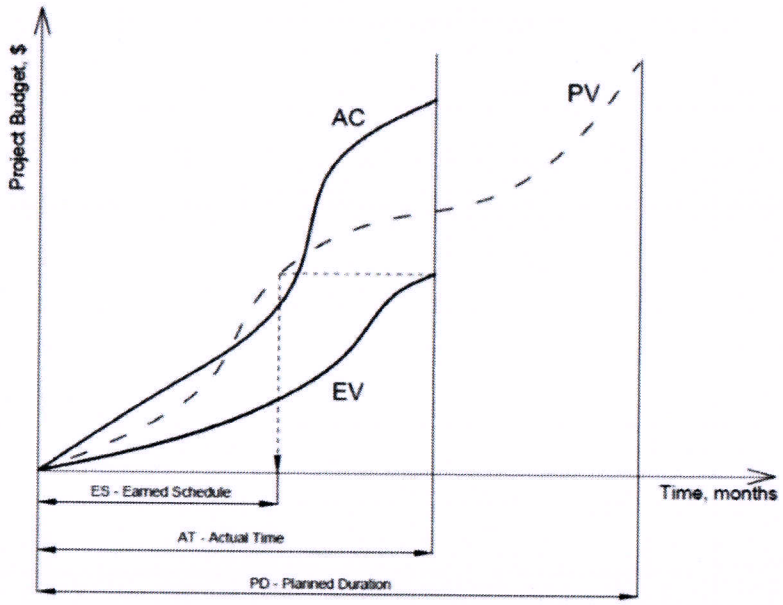
Siūloma nauja CEAC metodika, pagrįsta modifikuota indekso formuluote, pagal kurią prognozuojamos išlaidos pavaizduojamos naudojant netiesinės regresijos kreivę. Pasiūlytoje skaičiavimo formulėje atsižvelgiamą į grafiko svyravimus (pažangą) kaip į sąnaudų efektyvumo rodiklį. Todėl skaičiavimuose yra vertinama ES reikšme, kuri ir parodo projekto užbaigimui reikalingą laiką. Straipsnio autorių siūlomas metodas yra tikslesnis visuose projekto tikrinimo etapuose. Sukurta metodika yra praktinis projektų vadovo darbo įrankis, leidžiantis lengviau integruoti projekto pažangą į CEAC skaičiavimus, siekiant geriau suvokti neatsiejamą ryšį tarp kainos ir projeto trukmės (grafiko) reikšmių (Narbaev, De Marco 2014).

Vakhrushkina ir kt. (Vakhrushkina *et al.* 2017) nagrinėjamame straipsnyje ypatingas dėmesis skiriamas projekto termino nuokrypio rodikliui TV (žr. 1.5 pav.).



1.5 pav. EVM grafikas (Vakhrushkina *et al.* 2017)

Aptartas įgytosios vertės metodo trūkumas –galimybės nebuvimas taikyti šį metodą projekto laiko kontrolei (AT) (žr. 1.6 pav.).



1.6 pav. Siūloma EVM koncepcija (Vakhrushkina *et al.* 2017)

Išnagrinėtas projektas, susideda iš aštuonių darbų. Išanalizuoti trys kaštų pasiskirstymo variantai tarp kritinių ir nekritinių darbų ir nustatyta, kad U. Lipke siūlomas metodas netinka projektams, kuriuose kritinio kelio darbų vertė nėra didelė (Vakhrushkina *et al.* 2017).

2. BIM TECHNOLOGINIO EFEKTYVUMO VERTINIMAS RANGOVUI ATLIEKANT STATYBOS DARBUS

2.1. Statybos procesų skaitmeninimo privalumai

Šiai dienai statybų rinka yra labai dinamiška ir greitai besikeičianti. Didėja visų statybos proceso dalyvių lūkesčiai, susiję su kokybės gerinimu, darbo optimizavimu, produktyvumo augimu ir sąnaudų, susijusių su projekto įgyvendinimu, optimizavimu. Ši besikeičianti ir nuolat naujus lūkesčius sukelianti aplinka skatina investuotojus, rangovus, architektus ir konstruktorius naudoti naujas technologijas ir keisti požiūrį į statybos procesą. Statybos proceso skaitmeninimas yra pakankamai nauja tendencija Lietuvoje.

Pagrindiniai privalumai, kuriuos suteikia BIM technologija:

- Tikslesnis ir greitesnis informacijos pateikimas;
- Tikslesnis projektas ir projektavimas. Naudojant projekto modelį galima išsamiai išnagrinėti projektinius pasiūlymus ir atlikti tikslų bei detalų projektą;
- Trumpesnis projekto nagrinėjimo ir analizavimo laikas leidžia efektyviau įgyvendinti inovatyvius projekto sprendinius;
- Tiksli projekto vizualizacija leidžia projekto dalyviams geriau susipažinti su įgyvendinamu projektu;
- Savalaikė sąnaudų kontrolė ankstyvajame projekto etape bei visu statybos laikotarpiu leidžia lengviau naudoti turimą biudžetą ir planuoti biudžeto paskirstymą;
- Skaitmeniniai atskirų projekto dalių modeliai gali būti naudojami tolimesniuose pastato gyvavimo laikotarpio procesuose, tokiose kaip pastato eksploatavimas, pastato valdymo sistemos ir BMS sistemos.

2.2. Statinio informacinis modeliavimas (BIM) ir jo diegimas Europos Sąjungoje. Diegimo vadovas

ES valstybių narių ir Europos Komisijos iniciatyva įsteigta „EU BIM Task Group“ parengė ir 2017 metų liepos 6 d. viešai paskelbė Statinio informacinio modeliavimo (BIM) diegimo Europos viešajame sektoriuje vadovą (angl. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector).

Vadovo tikslas – suteikti strategines rekomendacijas Europos viešajam sektoriui dėl BIM įdiegimo nacionaliniu, regioniniu ar nekilnojamąjį turtą valdančių subjektų lygmeniu. Vadove surinkta bendra Europos valstybių viešojo sektoriaus nekilnojamojo turto, infrastruktūros savininkų, valdytojų, politikos formuotojų patirtis ir išdėstyti bendrieji BIM diegimo ir taikymo, formuojant nacionalinę statybos sektoriaus ir su juo susijusių pirkimų politiką, principai.

„EU BIM Task Group“grupę sudaro viešojo sektoriaus užsakovai (statytojai), infrastruktūros savininkai, valdytojai ir politikos formuotojai iš daugiau kaip 20-ies Europos valstybių. Grupės veikloje dalyvavimo ir Lietuvos institucijų, organizacijų (Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos, valstybės įmonės „Turto bankas“, Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos, akcinės bendrovės „Lietuvos geležinkeliai“) atstovai.

2.3. Kompetencijų ir BIM įgyvendinimo aprašas Lietuvoje

Lietuvos statybininkų asociacija pradeda įgyvendinti ir vysto statybos sektoriaus darbuotojų sistemą, kurios pagrindas – informacija apie statybininkus ir kitus darbininkus bei jų kompetencijas. Tikimasi, kad tai taps pagrindiniu objektyvios informacijos apie statybos darbuotojų kompetencijas šaltiniu, kuriuo naudosis ne tik darbuotojai ir darbdaviai, bet ir perkančiosios bei priežiūros institucijos. BIM kompetencijas turinčių asmenų duomenų bazė taps neatsiejama šios sistemos dalimi, o BIM įgūdžiai – vienu svarbiausiu artimos ateities statybos rinkos dalyvių atributu (Skaitmeninė statyba 2017).

Parengtuose aprašuose yra išskiriami trijų lygių BIM specialistai (žr. 2.1 pav).



2.1 pav. BIM specialistai (parengta autorės)

2.3.1. BIM vadovas

2017 metų rugsėjo mėnesį parengtame BIM vadove (Dokumento versija: SKST_S4_P01_170904) yra pateikiamas veiklos aprašas, kuris numato kokius strateginius BIM taikymo klausimus statybos projekte sprendžia aukščiausio lygio BIM specialistas, pateikiami pagrindiniai veiklos uždaviniai ir kvalifikaciniai (mokymosi/studijų ir profesinės patirties)

reikalavimai ir įgijusių kompetenciją asmenų karjeros galimybių aprašas. BIM vadovas, tai aukščiausio lygio Bim specialistas.

Pagrindiniai BIM vadovo veiklos uždaviniai (Skaitmeninė statyba 2017a):

- *ruošti BIM įgyvendinimo (skaitmeninimo) įmonėje ir/ar statybos projekte strateginius planus;*
- *nustatyti įmonės ir/ar statybos projekto BIM (skaitmeninimo) tikslus ir uždavinius;*
- *kurti ir diegti BIM standartus ir reikalavimus įmonėje ir/ar statybos projekte;*
- *prognozuoti BIM vystymąsi ir su juo susijusius procesus;*
- *prižiūrėti įmonės ir/ar statybos projekto BIM (skaitmeninimo) koncepcijos įgyvendinimą bei atskirų procesų eigą;*
- *organizuoti ir vadovauti statybos projekto skaitmeninio (BIM) turinio ekspertizei;*
- *įvertinti statybos projekto skaitmeninio (BIM) turinio kokybę, parengti ir pasirašyti statybos projekto skaitmeninio (BIM) turinio ekspertizės aktą;*
- *teikti konsultacijas, susijusias su statybos pramonės sektoriaus, įmonių ir/ar statybos projektų skaitmeninimo ir skaitmeninio koordinavimo bei kitais BIM metodologijos įgyvendinimo klausimais statybos rinkos dalyviams;*
- *organizuoti ir teikti mokymus, susijusius su statybos pramonės sektoriaus, įmonių ir/ar statybos projektų skaitmeninimo ir skaitmeninio koordinavimo bei kitais BIM metodologijos įgyvendinimo klausimais statybos rinkos dalyviams;*
- *vykdyti teismo eksperto veiklą su BIM (skaitmeninimo) technologijų panaudojimu susijusiais klausimais;*
- *atlikti geriausių praktikų analizę ir tyrimus BIM srityje, rengti galimybių studijas ir kitą analitinę medžiagą, teikti ekspertines išvadas ir rekomendacijas.*

2.3.2. BIM koordinatorius

2017 metų rugpjūčio mėnesį paruoštame BIM koordinatoriaus vadove (Dokumento versija: SKST_S4_P01_170830) pateikiamas veiklos objektas, kompetencijų aprašas, nusakantis pagrindinius veiklos uždavinius, veiklos aprašymą, kvalifikaciniai reikalavimai išsilavinimui ir profesinei patirčiai. Taip pat pateikiamas įgijusių kompetenciją asmenų profesinių galimybių aprašas. BIM koordinatorius, tai aukšto lygio specialistas.

Pagrindiniai BIM koordinatoriaus uždaviniai (Skaitmeninė statyba 2017b):

- *rengia ir koordinuoja statybos projekto turinio skaitmeninimo tikslus ir apimtį;*
- *rengia BIM projekto vykdymo planą (BEP) ir kitus (projekto) BIM dokumentus;*
- *konsultuoja projekto komandą rengiant integruoto projekto vystymo planą taikant BIM;*

- *kartu su komanda parenka BIM programinę įrangą ir formuoja BIM IT infrastruktūros sprendimus bei pasirinkus derina su vadovybe ir organizuoja diegimą;*
- *užtikrina statybos projekto duomenų, susijusių su BIM, savalaikį kaupimą, saugojimą, bendrinimą ir keitimąsi tarp projekto dalyvių;*
- *vykdo informacijos valdymo procesų organizavimą bei kontrolę;*
- *užtikrina BIM modelio atskirų dalių tarpusavio suderinamumą ir rezultatų kokybę;*
- *teikia informaciją užsakovui apie BIM kūrimo eigą;*
- *organizuoja BIM eksploatacinio modelio rengimą ir pateikia statytojui;*
- *planuoja ir atsakomybės ribose organizuoja statybos projekto dalyvių apmokymus BIM kompetencijų srityje.*

2.3.3. BIM specialistas

BIM specialistas parengtas tuo pačiu metu kaip ir BIM vadovas (Dokumento versija: SKST_S4_P01_170904). Analogiškai kaip ir BIM vadovo ir BIM koordinatoriaus apraše pateikiama visa aktuali informacija susijusi su veiklos objektu, veiklos uždaviniais, kompetencijos ir darbo patirties reikalavimais bei profesinių galimybių aprašas. BIM specialistas – dalykinės srities specialistas.

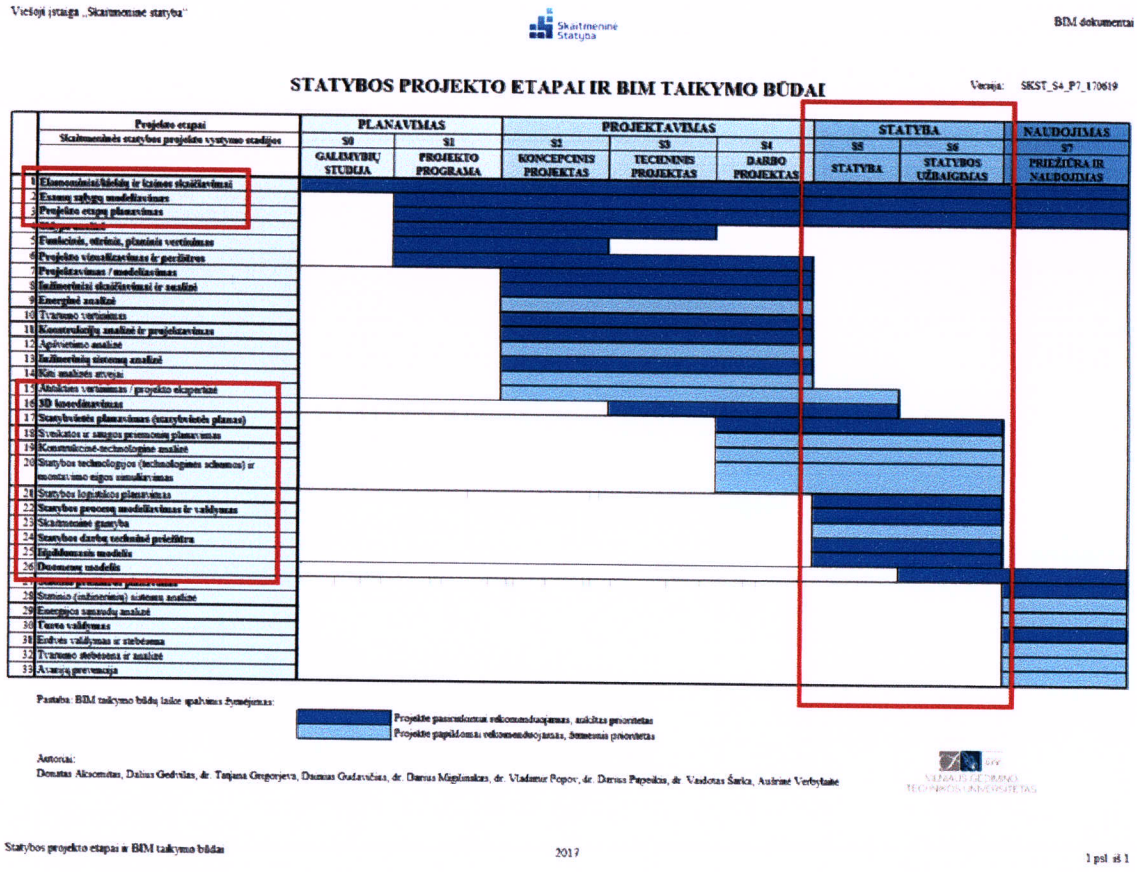
Pagrindiniai BIM specialisto uždaviniai (Skaitmeninė statyba 2017c):

- *vykdo statinių skaitmeninį (informacinį) modeliavimą dalykinės srities apimtyje (teikiant informaciją kompetencijos vertinimui, nurodyti specialisto BIM modeliavimui naudojamą programinę įrangą iš buildingSMART sertifikuotų programinės įrangos produktų, atitinkančių OpenBIM kriterijus, sąrašo. Taip pat pateikti sertifikatus, diplomus, pažymėjimus ir kitus programinės įrangos naudotojo kvalifikaciją patvirtinančius dokumentus);*
- *vykdo duomenų (informacijos) mainus su kitų dalykinių sričių atstovais ir panaudoja šiuos duomenis (informaciją) integruoto modelio vystymui savo dalykinės srities apimtyje;*
- *iš BIM modelio generuoja reikalingus rezultatus pagal dalykinės srities BIM taikymo atvejus;*
- *atlieka projektinės dokumentacijos rengimą iš skaitmeninio (informacinio) modelio.*

2.3.4. BIM įgyvendinimo plano aprašas

2017 metų gruodžio mėnesį yra parengtas BIM įgvendimo planas, kuriame yra pateikta pagrindinė informacija susijusi su BIM įgyvendinimo plano (BEP) ruošimu. Dokumentas skirtas visiems Lietuvos privatiems ir valstybės užsakovams, projektuotojams ir statybininkams

įgyvendinant konkrečius BIM projektus, parengti bendrą projekto komandos darbo ir užsakovo informacijos reikalavimų įgyvendinimo planą (Handbook for the introduction..., 2017). Taip pat pateikiami statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai (žr. 2.2 pav.). Pateiktoje suvestinėje galime matyti, kad projekto statybos etape BIM gali būti naudojamas kiekių ir kainos skaičiavimui, esamų sąlygų modeliavimui, projekto etapų planavimui, sklypo analizei, atitikties vertinimui, statybvietės planavimui (sveikatos ir saugos priemonių planavimas, konstrukcinė-technologinė analizė, statybos technologijos ir montavimoo eigos simuliavimas, statybos logistikos planavimas), statybos procesų modeliavimui ir valdymui, statybos darbų techninei priežiūrai, išpildomosios dokumentacijos ruošimui, duomenų modelio sukurymui, kuris reikalingas pastatų ūkio valdymo etape.



2.2 pav. Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai (Skaitmeninė statyba 2017)

2.4. Efektyvus statybos objekto BIM modelio panaudojimas

Pastato informacinis modelis gali būti kuriamas ne tik naujų pastatų statybai, bet ir jau eksploatuojamiems objektams. Elektroninis pastato paso sudarymas leidžia pagerinti pastato monitoringą ir padidinti šio pastato ūkio priežiūros valdymą. Ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas kultūros paveldo pastatams. Pastato informacinis modelis nepraranda savo vertės netgi likviduojamo/griaunamo pastato atveju. Modelis gali būti kuriamas bei naudojamas ir visiškai

išnykusių pastatų atžvilgiu - informacinis modelis išlieka aktualus techniniu objekto požiūriu. Galima išskirti šias nugriauto statinio informacinio modelio panaudojimo kryptis:

- Analogiškų statybos objektų duomenų bazės kūrimas. Tokios duomenų bazės turėtų turėti tipinių objektų grupių informacinius modelius, tokių kaip tipiniai pastatai, kultūros paveldo objektai, savo konstrukcijomis išskirtiniai ir unikalūs objektai;
- Informacijos kaupimas apie pastato būklės pasikeitimus eksploatacijos periodu. Duomenų bazė turi kaupti duomenis visą pastato gyvavimo laikotarpį (pvz. konstrukcijų būklė eksploatacijos metu, temperatūrinių svyravimų, karščio bei šalčio ciklų poveikį konstrukcijoms ir pan.). Taikant imitacinio modeliavimo duomenų analizę galima išgauti naują informaciją apie objekto konstrukcijose ir pačiame objekte vykstančius procesus, tame tarpe sužinoti ir apie objekto žuvimo ar griovimo priežastis;
- Projektinių sprendimų efektyvumas ir analizė. Realizavus pastatą (baigus statybas) galima atlikti projektinių sprendimų, trukmės ir kainos analizę, rasti klaidas ir išsiaiškinti jų priežastis. Šių duomenų bazių tikslas – naujų projektavimo ir statybos technologijų kurimas.

Pastato informacinis modeliavimas leidžia ne tik išspręsti daugelį statybos užduočių, bet ir iškelti naujas užduotis. Jeigu anksčiau buvo nagrinėjamas tik 3D modelis, tai dabar vis dažniau naudojamas 4D (laiko poveikis), 5D (kainos rodiklių poveikis) ir 6D (modelis nekilnojamojo turto valdymui) modeliai. Plačiausiai yra naudojami 3D modeliai. Juos naudoja, norint palengvinti projektinės ir išpildomosios dokumentacijos prieinamumą bei pastato eksploatacinių duomenų valdymui. 4D modelis gali būti formuojamas apjungiant darbų vykdymo grafikus su atitinkamų darbų trimačiais modeliais. 4D modelis gali būti naudojamas tiek virtualiam projektavimui, tiek atliekamų statybos darbų kontrolei ir monitoringui. 5D modelis gali apjungti projekto darbų kainas, apskaičiuotas naudojant faktinius modelio darbų kiekius, su atitinkamų darbų atlikimo grafikais ir erdvinėmis koordinatėmis. 6D modelis papildomai apima informaciją apie reikiamus erdvinius sprendinius, reikalingus įrangos montavimui arba aptarnavimui. Taigi informacinis modeliavimas suteikia daug galimybių objekto eksploatavimo ir projekto vertinimo klausimu.

2.5. Statybos klasifikatorius

Skaitmeninės statybos klasifikatorius – tai visų bendrai naudojama sistema, padidinanti darbo našumą ir veiksmingumą keičiantis informacija tarp atskirų projekto rengėjų grupių. Ši bendra bazė sukuria skaitmeninio bendradarbiavimo statybos pramonėje prielaidas. Šiuolaikinė statybos pramonė susiduria su iššūkiais, kuriuos sukelia programinės įrangos ir projektavimo būdų įvairovė. Statybos dalyviai dažnai vartoja skirtingus žodžius tiems patiems dalykams apibūdinti, todėl kyla

problemų perduodant duomenis tarp skirtingų BIM programinės įrangos sistemų. Perkeliant svarbią projekto informaciją iš vieno projekto formato į kitą, sugaištama daug laiko ir padidėja klaidų tikimybė (Darni statyba 2015).

Taikant BIM modelį statyboje labai svarbus yra informacijos tikslumas. Todėl labai aktualus tampa terminas BIM estetika. Geometrijos klausimas jau yra išspręstas ir visiems suprantamas, tačiau nėra kalbama apie sąvybes, sąvybių pavadinimus, reikšmes ir pan. Skirtingos programinės įrangos, skirtingi procesai, skirtingi dalyviai ir skirtingi tikslai kartais įneša BIM modeliuose chaoso, todėl sunku atkurti informacijos struktūras, sudėtinga analizuoti jas. Kad būtų galima teisingai suprasti pateikiamą informaciją, yra sukurta daugelis klasifikavimo sistemų. Labai aktualus tampa terminas BIM ontologija. Informacinių technologijų ir dirbtinio intelekto srityse terminas pradėtas naudoti nuo 1990 metų. Ontologija – tai ypatinga žinių bazė, aprašanti faktus, kuriuos tam tikra naudotojų grupė laiko visada teisingais, remiantis sutartomis naudojamo žodyno terminų prasmėmis (Guarino 1998). Norint, kad visi naudotojai vieningai ir teisingai suprastų informacinių technologijų aplinkoje pateiktą informaciją, reikalingas tam tikras terminų žodynas. Projektuotojai naudojant įvairias programines įrangas retai pagalvoja apie tokius procesus, kaip pirkimai, logistika ir pan. Jie rūpinasi tik savo kuriniu ir negalvoja apie kitus projekto įgyvendinimo dalyvius. Tokioje situacijoje gali padėti tarptautinis klasifikavimas. Klasifikuoti duomenys gali būti apdoroti ir paruošti vartotojo naudojimui. Turint aiškius ir tikslius duomenis galima įvairiais pjūviais analizuoti turimą BIM modelį (Skaitmeninė statyba 2018)

Visi klasifikatoriaus procesai yra aiškiai standartizuoti ir patvirtinti keturiais standartais: ISO 12006-2 standartas nusako klasifikavimo principus, IEC/ISO 81346-1 apibrėžia žymėjimo principus, naudojamus klasifikatoriuje, IEC/ISO 81346-2 klasifikuoja komponentus ir erdvę, ISO/ISO 81346-12 klasifikuoja funkcines ir konstrukcines sistemas. Visi procesai susieti su IFC modeliu. CoClass pateikia informaciją apie visą pastatą, apie atskirus tūrinius pastato vienetus, elementus, darbų technologijas ir rezultatus.

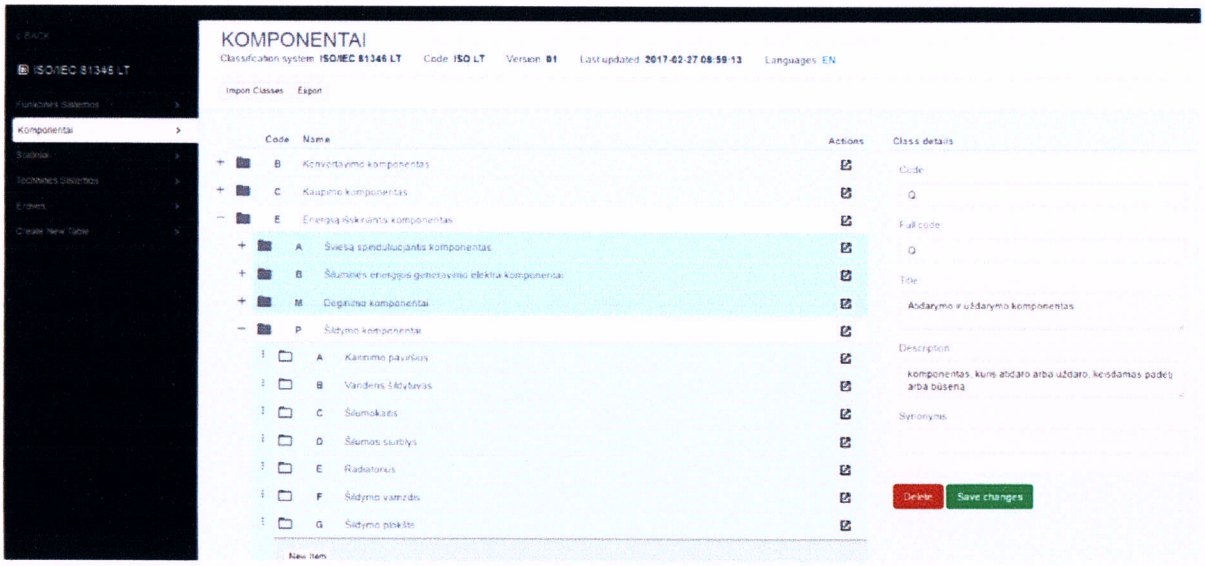
Pagrindinė klasifikatoriaus vertė:

- Kodas stabilus visuose statinio gyvavimo etapuose;
- Visus statinio elementus galima suklasifikuoti;
- Klasifikavimo ir kodavimo reikšmės suprantamos vartotojui;
- Klasifikavimas ir kodavimas objektiškai orientuotas ir tinkamas IRT.

Klasifikatorių sudaro dvi pagrindinės dalys: klasifikavimo sistema ir identifikavimo sistema. Klasifikavimas naudojamas įvairių pastato elementų paskirčiai nusakyti, o identifikavimas – kiekvienam pastato elementui atpažinti, jo ypatybėms nustatyti (Darni statyba 2015).

Klasifikatoriuje yra išskiriamos šios klasifikacijos grupės:

Elementų/komponentų klasifikacija. Statybos elemento identifikacinis kodas (žr. 2.3 pav.) labai palengvina ne tik projektavimo, bet ir statybos darbus. Kai ateina laikas pagamintus elementus montuoti, naudojamas konkretaus gaminio identifikacinis kodas (kurį ant kiekvieno gaminio užklijavo gamintojas), rangovas žino, kur konkretus gaminys turi būti sumontuotas. Identifikacinis kodas nurodo konkrečią patalpą, kuriai šis konkretus elementas skirtas, taip pat padeda greitai rasti tinkamą montavimo instrukciją, kurią konkrečiam gaminiui priskyrė gamintojas.



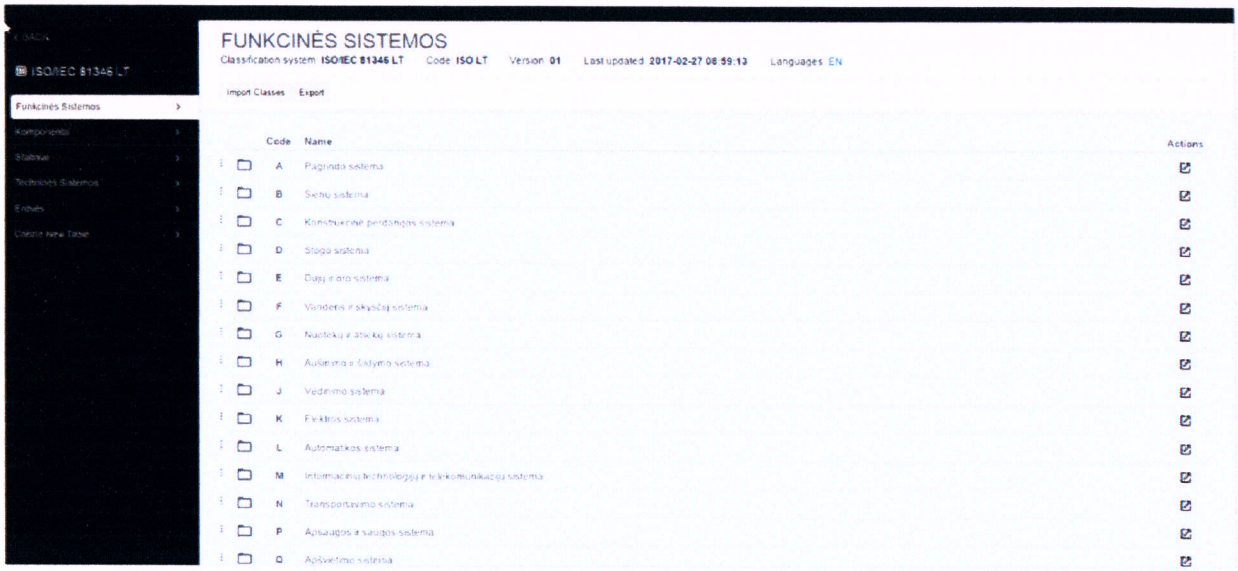
2.3 pav. Komponentų klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017)

Erdvių klasifikacija. Dažnai statybos procese gali prireikti klasifikuoti erdvę, pvz. koridorius, kabinetas ar pan. Atsižvelgiant į IEC 81346-1, tokia erdvė gali būti laikoma objektu, todėl turėtų būti susieta su nuoroda. Erdvė gali būti klasifikuojama, todėl šis tarptautinis standartas pateikia atskirą erdvių klasifikavimo schemą (žr. 2.4 pav.). Kaip matome iš klasifikatoriaus kodų, A kodas nusako žmogaus gyvenamasias erdves. AA pogrūpis nusako erdvę, skirtą poilsio reikmėms; AB – asmeninės higienos reikmėms skirta patalpa. AA klasifikuojama į trečią grupę – AAA, AAB, AAC, AAD, kurios atitinkamai nusako: AAA - miegamojo kambarys, vaikų kambarys, viešbučio kambarys; AAB – poilsio patalpa, terasa, valgomasis, žaidimų kambarys; AAC – laukimo salės, priimamasis; AAD – kiemas, atrijus ir pan. Galima daryti išvadas, kad toks erdvių klasifikavimas supaprastina darbą, nekyla nesusipratimų darbų metu, visi vienodai ir vieningai supranta projekto erdves.



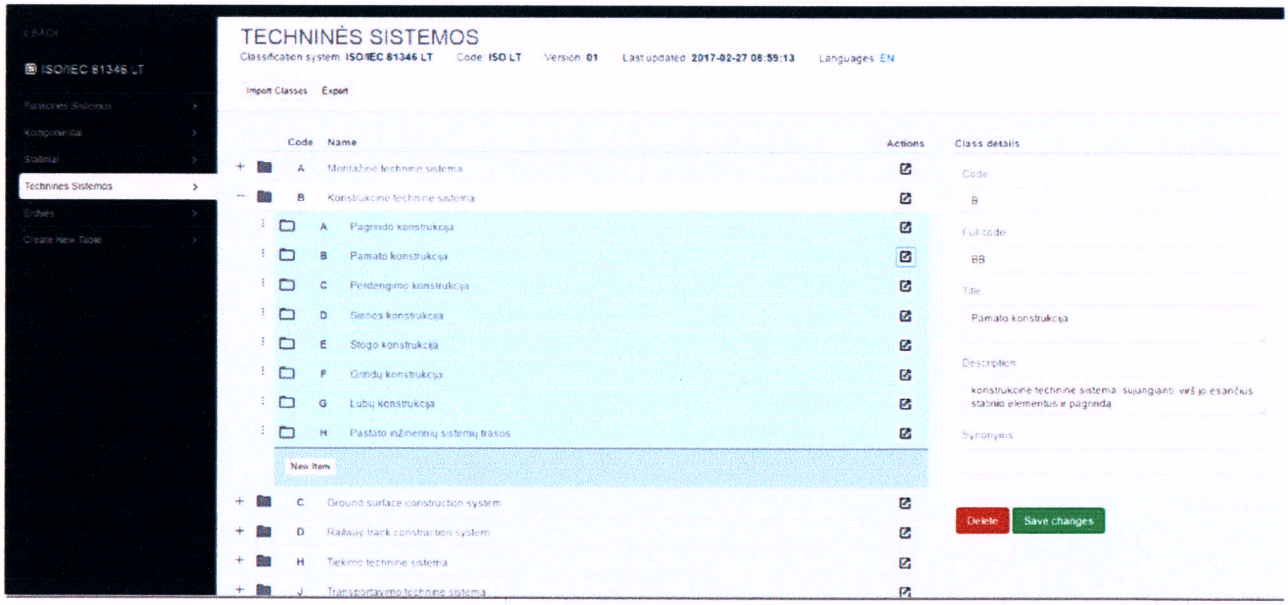
2.4 pav. Erdvių klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017)

Funkcinių sistemų klasifikacija. Funkcinės sistemos klasifikuojamos tokiu pačiu principu kaip ir erdvės. Kiekvienai funkcinei sistemai yra priskiriamas raidinis kodas – A – pagrindo sistema, B – sienų sistema; C – konstrukcinė perdangos sistema ir t. t. Visos pastato funkcinės sistemos yra aprašytos suteikiant joms kodus (žr. 2.5 pav.).



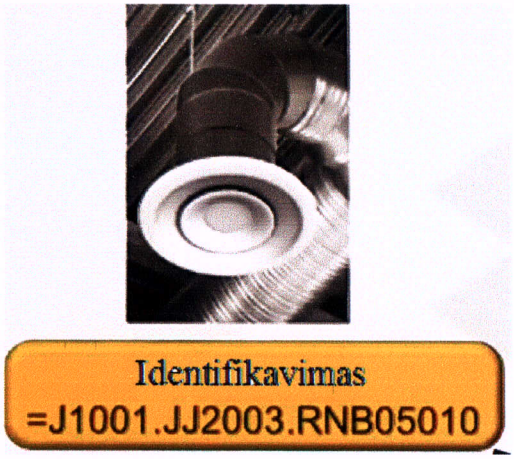
2.5 pav. Funkcinių sistemų klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017)

Techninių sistemų klasifikacija. Techninės sistemos klasifikuojamos analogiškai funkcinėms sistemoms. Klasifikuojamos grupės „Pagrindo sistema“ (klasifikatoriaus kodas A), pamato konstrukcjos, perdenginio konstrukcijos, sienos konstrukcijos ir pan. (žr. 2.6 pav).



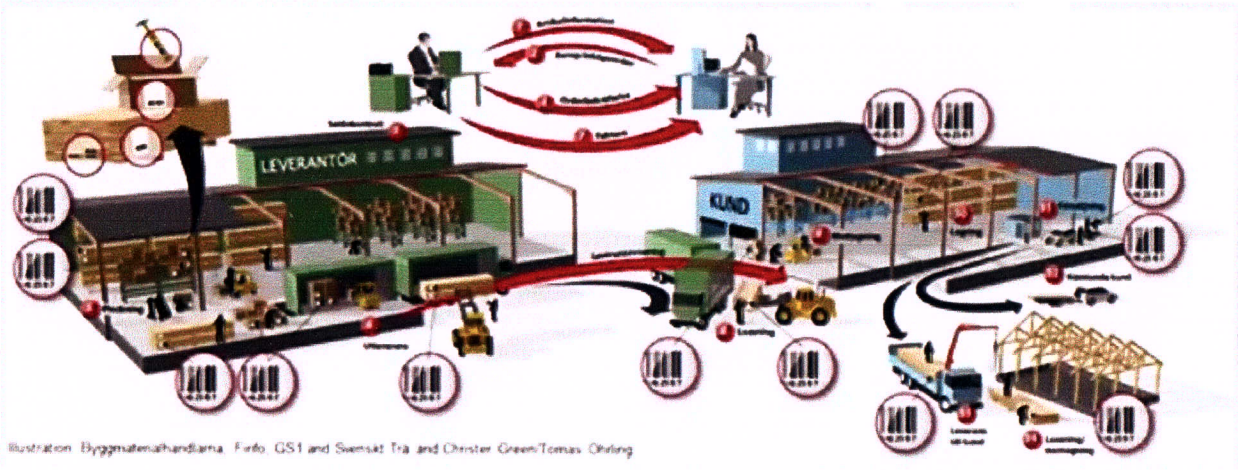
2.6 pav. Techninių sistemų klasifikacija (Skaitmeninė statyba 2017)

Kodavimo principas. Pateiktas klaisifikatoriaus kodas J1001.JJ2003.RNB05010 (žr. 2.7 pav.). Ši klasifikatoriaus kodą reikia skaityti taip: J10 -oro paskirstymo sistema, kurios numeris yra 01. JJ20 reiškia, kad sistema ištraukiamojo oro ir jos numeris yra 03. RNB – sklendės, kurių numeriai 05 ir 010.



2.7 pav. Identifikavimo kodas (Skaitmeninė statyba 2018)

Logistikos pramonėje labai plačiai naudojami GS1 identifikatoriai. GS1 Identifikatoriai suteikia galimybę tiekimo grandinėje efektyviai pasiekti informaciją apie produktą bei dalintis šia informacija su prekybos partneriais. Galima standartizuotai identifikuoti produktus, dokumentus, lokacijas, turto, logistinius vienetus ir t.t. Kadangi GS1 Identifikatoriai unikalūs pasauliniu mastu, prekybos partneriams patogu juos naudoti matomumo tiekimo grandinėje didinimui (GS1 identifikatoriai 2017). GLN, GTIN ir SSCC gali naudoti BIM nuorodas gamybai ir logistikai (žr. 2.8 pav.).



2.8 pav. Klasifikatoriaus kodo informacijos mainai (Skaitmeninė statyba 2018)

Projektą įgyvendinusios projektavimo ir rangos įmonės užsakovui pateikia visus projekto duomenis, kurių gali prisireikti eksploatuojant pastatą. Taigi, jei kada nors nutiks taip, kad elementas, kurio kodas pvz. #LAN2/-SAN01.LAN2, bus sugadintas, užsakydamas naują gaminį pastato savininkas ar aptarnaujančios įmonės atstovas galės pasikliauti statinio BIM modelio duomenimis. Štai kodėl klasifikatoriaus nauda juntama visą statinio gyvavimo ciklą (Darni statyba 2015).

Apibendrinant statybos klasifikatorius teikia didelę naudą:

- sumažina klaidų riziką ir pagerina projekto kokybę;
- stiprina projekto komandų bendravimą ir bendradarbiavimą, užtikrina informacijos mainus;
- užtikrina aiškius susitarimus.

Klasifikavimas padeda užtikrinti, kad visoje skaitmeninės statybos sistemoje būtų vartojami vienodi terminai. Klasifikavimo sistema yra būtina, norint kad visų projekto dalių atstovai galėtų bendrauti suprasdami vieni kitus. Klasifikatorius reikalingas siekiant aiškiai komunikuoti per visą statinio kūrimo, statybos ir eksploatavimo procesą. Rangovui klasifikatorius naudingas pradedant nuo konkursavimo/pasiūlymo pateikimo etapo, kai naudojant medžiagų klasifikatorius yra formuojamos užklausos tiekėjams medžiagos kainos nustatymui, baigiant sąmatos sudarymu importavus į programą pateiktų medžiagų kainas. Klasifikatorius yra ne mažiau svarbus darbų organizavimo etape, medžiagų užsakymo formavime, nagrinėjant atliekamų darbų technologijas ir pan.

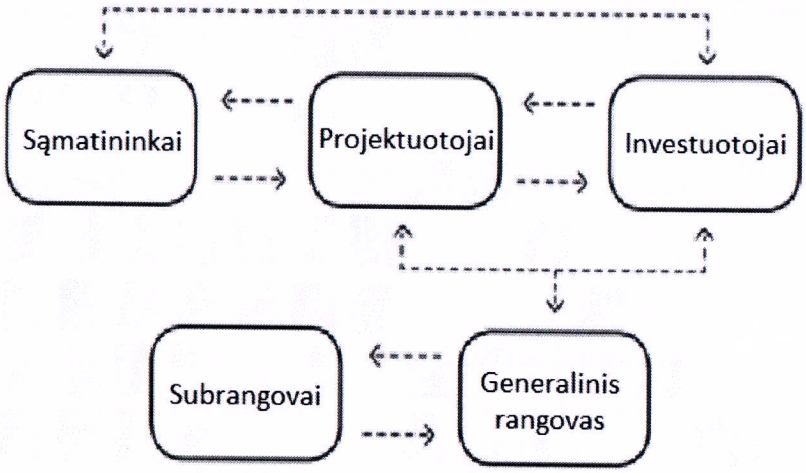
2.6. Programinė įranga ir jos panaudojimo galimybės

Informacinis modeliavimas – tai esamos situacijos tūrinis atvaizdavimas, naudojant vieną ar daugiau įrenginių, tokių kaip lazerinis skaneris, dronas, mobilus telefonas, skaitmeninis

fotoaparatas, skirtų skirtingoms programoms, tokioms kaip žemėlapių sudarymas, projektavimas, statyba, turto valdymas ir daugelis kitų.

BIM Vision yra nemokama IFC modelio programinė įranga. Ši programa leidžia peržiūrėti virtualius pastato modelius, kurie buvo sukurti CAD programinės įrangos pagrindu, pvz. Revit, Archicad ir pan. be licenzijos įsigijimo šioms programoms.

BIMestiMate – pirmasis įrankis, leidžiantis mums įvertinti, įkainoti ir suplanuoti procesus tiek tradiciniu būdu, tiek taikant BIM technologijas. „BIMestiMate“ tai atgarsis, atsiliepimas į augančius statybos pramonės poreikius. Tai pirmoji novatoriška BIM technologija, leidžianti apskaičiuoti statybos darbų sąnaudas. Statybos projektų sąnaudų apskaičiavimas yra viena iš sričių, kurioje galima greitai ir tiksliai pamatyti BIM naudas. Naudojant BIM technologijas supaprastėja ir tampa tikslesnis kiekių skaičiavimas, kadangi duomenis yra renkami iš BIM modelio. Tokiu būdu galima veiksmingai palyginti projekto pakeitimus ir matyti ryšį su pasikeitusiais kiekiais. BIMestiMate gali naudoti modelius, sukurtus bet kuria BIM susisiejančia programa., t. y. programa gali skaityti, analizuoti ir perteikti projektų vizualizacijas ir BIM modelius išsaugotus IFC formatu. Programa skirta investuotojams ir generaliniams rangovams statybos darbų sąnaudų skaičiavimui ir optimizavimui. Sukurta reikliems vartotojams ir atskirų proceso dalyvių bendradarbiavimui. Proceso dalyvių bendradarbiavimo schema pateikta 2.9 paveiksle.



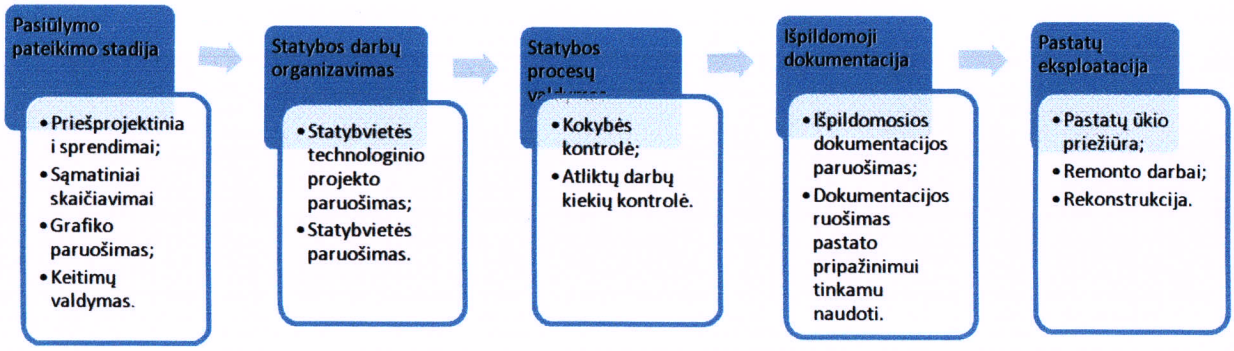
2.9 pav. Atskirų proceso dalyvių bendradarbiavimo schema (parengta autorės)

BIMestiMate galimybės:

- Skaityti BIM modelius, sukurtus IFC formatu;
- Statybos darbų sąnaudų apskaičiavimas ir optimizavimas, įskaitant BIM modelio duomenis;
- Greitas ir tikslus darbų kiekių žiniaraščių paruošimas;
- Darbų grafiko sudarymas remiantis apskaičiuotais kiekiais;
- Projekto pakeitimų stebėjimas ir valdymas;

- Pasirinktų elementų atvaizdavimas (arba viso modelio) visiems statybos dalyviams atskiriant sluoksnių tipus (šildymas, vėdinimas, elektrotechnika, apsauginė signalizacija ir pan.);
- Atskirų modelio elementų tūrio, ploto, ilgio apskaičiavimas;
- Sąmatinių pozicijų vizualizacija 3D modeliu;
- Darbalaukis suskaidytas į dvi dalis – vienoje ekrano pusėje pateikiama tekstinė ir skaitinė informacija, kitame – grafinė.

2.10 paveiksle pateikti pagrindiniai valdymo etapai statyboje, kuriuos apžvelgsiu kituose poskyriuose.



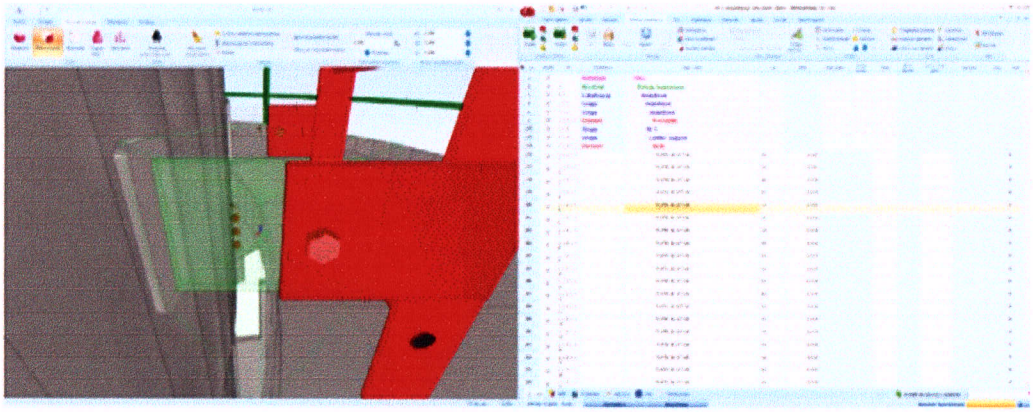
2.10 pav. Pagrindiniai valdymo etapai statyboje (parengta autorės)

2.6.1. Priešprojektinė analizė

BIM technologijos suteikia galimybes visiškai automatizuoti priešprojektinius veiksmus, ryšiumi su tuo, kad visi pastato (struktūriniai ir baigiamieji) elementai įtraukiami į priešproejktinių, medžiagų ir technologinių formų skaičiavimą. BIMestiMate vienintelė sistema, kuri turi tiesioginę sąsają su BIM pirminiu ir realiu modeliu. Ši sąsaja leidžia tiksliai, greitai ir kompiuterizuotai nustatyti modelio elementų matmenis (sienos, lubos, kolonos, pamatai ir pan.) ir tuo pačiu metu atvaizduoti kaip atskirus darbų elementus (žr. 2.11 pav). Sistema taip pat leidžia eliminuoti projekto kiekių klaidas, kurios dažnu atveju tampa neteisingo darbų planavimo priežastimi. Naudojant programos galimybes kiekių skaičiavimas užtrunka iki 10 minučių. Yra atliekami šie žingsniai:

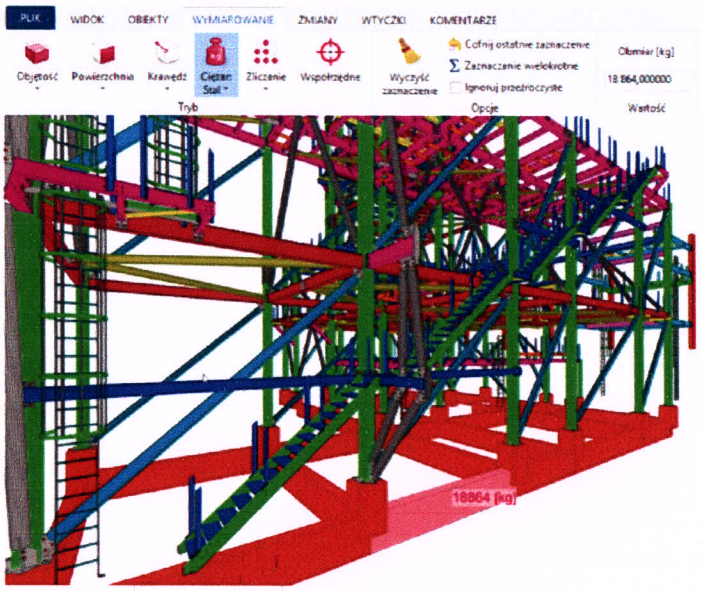
- 1 žingsnis. Nuskaitomas BIM modelis;
- 2 žingsnis. Atskirų projekto dalių suderinamumo nuskaitymas. Darbų grupių pavadinimų ir jų dalių sugretinimas, mato vienetų gretinimas ir patikra;
- 3 žingsnis. Automatinis kiekių nuskaitymas naudojant įkeltą modelį;

- 4 žingsnis. Darbų tipų nustatymas remiantis BIM modelyje išsaugotais duomenimis. Atvaizdavimas gali būti pateikiamas tipais, sluoksniais, zonomis ir pan.
- 5 žingsnis. Analizuojamų konstrukcijų montavimo eiliškumo nustatymas;
- 6 žingsnis. Vienetinės kainos nustatymas remiantis parengto projeko duomenimis.



2.11 pav. Kompiuterizuojas modelio elementas

Plati parinkčių galimybė leidžia greitai patikrinti vieno ar kelių elementų kiekį bet kuriame dominančiame vienete. Kaip pavyzdys, tik keli mygtuko paspaudimai skiria vartotoją nuo tokių duomenų kaip sienos parametrai, betonuojamos sienos tūris arba reikiamas armatūros kiekis (žr. 2.12 pav.).



2.12 pav. Skaitmeninis pastato modelis

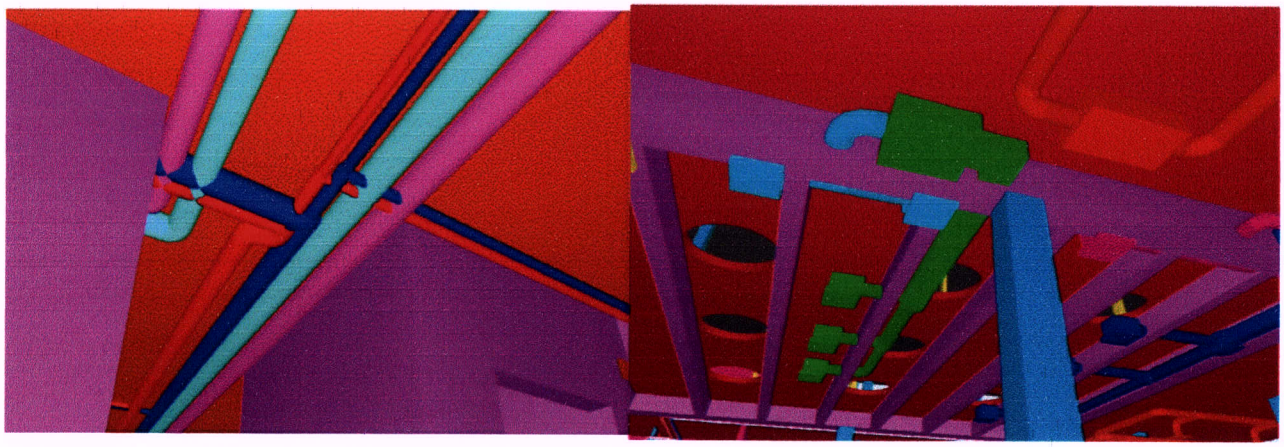
Privalumai:

- Laiko taupymas;
- Pilna ir detali duomenų kontrolė;

- Informacijos pasidalinimas tarp proceso dalyvių.

2.6.2. Modelio patikrinimas

Naudojant 3D modelius yra labai paprasta laiku ir iškart pastebėti projekto klaidas, pvz. inžinerinių tinklų susikirtimo vietas, tinklų altitudes, posūkio kampus. Dažnu atveju tokios klaidos pastebimos tik statybos darbų atlikimo metu. Tokios klaidos lemia statybos kaštų padidėjimą, papildomą laiką klaidų taisymui, kurio dažniausiai nėra (žr. 2.13 pav.).

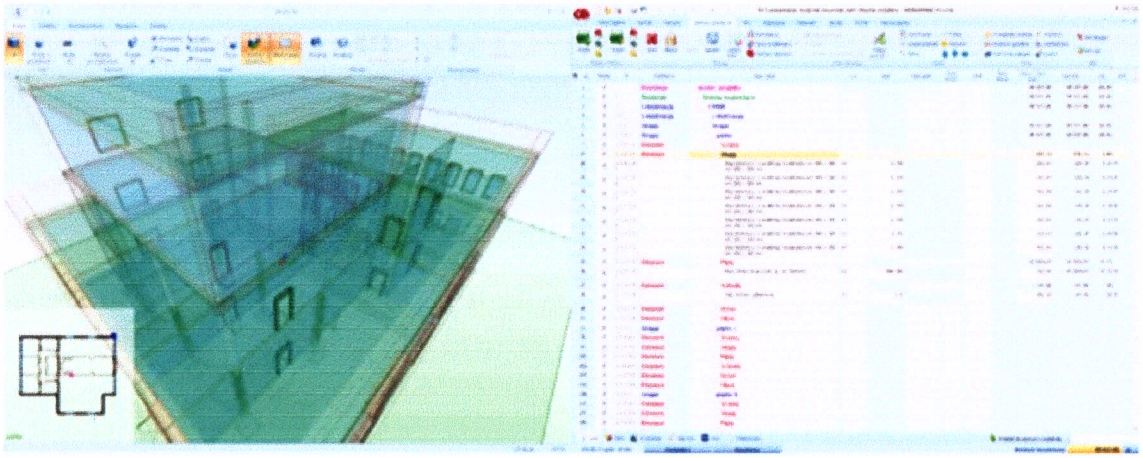


2.13 pav. Projektavimo klaidos

2.6.3. Kainos nustatymas

Programai būdinga efektyvi išlaidų apskaičiavimo metodika. Tai leidžia į programą perkelti visų projekto dalių darbų sąmatas, gautas tiesiogiai iš virtualaus BIM modelio ir suteikia galimybę atlikti projekto eigos ir biudžeto vertinimą bet kuriuo darbų etapu realiu laiku. Turint elemento aprašą, galima pasirinkti vieną iš skaičiavimo variantų:

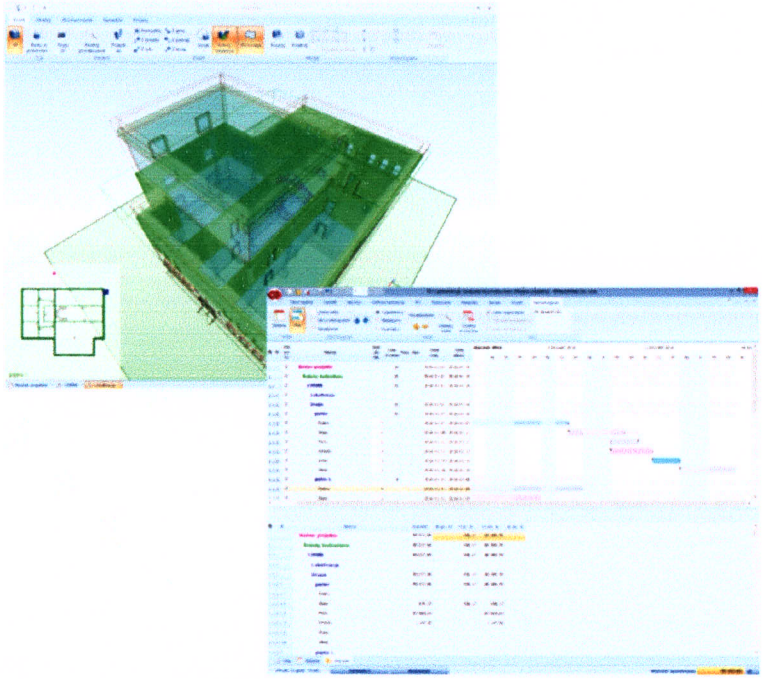
- Įrašyti kainą pagal jau atliktus individualius skaičiavimus;
- Įkainoti remiantis rinkoje patvirtintais kainų normatyvais. Programa susieta su pagrindinėmis kainų nustatymo programomis su patvirtintais valstybiniais įkainiais;
- Atlikti detalų lokalinės sąmatos vertinimą. Sąmata formuojama įvertinant darbo resursus iš Sistela/Astera sąmatinės programos žiniaraščių. Naudojant BIM modelį ir automatiškai suskaičiuotų elementų kiekį, visi šio tipo elementai bus automatiškai įkainoti pagal suskaičiuotą vieneto kainą. Naudojant BIMestiMate programą ir BIM technologiją, galimas nuolatinis projekto eigos proceso stebėjimas, nuolatinė išlaidų kontrolė ir sprendimų priėmimo proceso palaikymas (žr. 2.14 pav.).



2.14 pav. Programos modelio aplinka

2.6.4. Planavimas

Patogus, lengvai naudojamas modulis, be nereikalingų papildymų, bet visgi turintis „kritinio kelio“ galimybes. Darbų ir procesų trukmė yra išskaičiuojama automatiškai, naudojant informaciją apie darbo kiekius, išteklius ir numatomą našumą (išdirbį). Remiantis pateiktais duomenimis Ganto grafikas yra sukuriamas automatiškai (žr. 2.15 pav.), o tai žymiai sutrumpina grafiko rengimo laiką. Be to, programa vartotojui leidžia parinkti tikslumo lygmenį. Grafikas gali būti koreguojamas bet kuriuo statybos proceso metu įvairiais etapais, taip pat atskirai gali būti apsprendžiama atskirų etapų darbų vykdymo seka. Darbo rezultatai gali būti pateikiami patogia forma įvairiais pjūviais – piniginių srautų grafikas, medžiagų tiekimo grafikas.

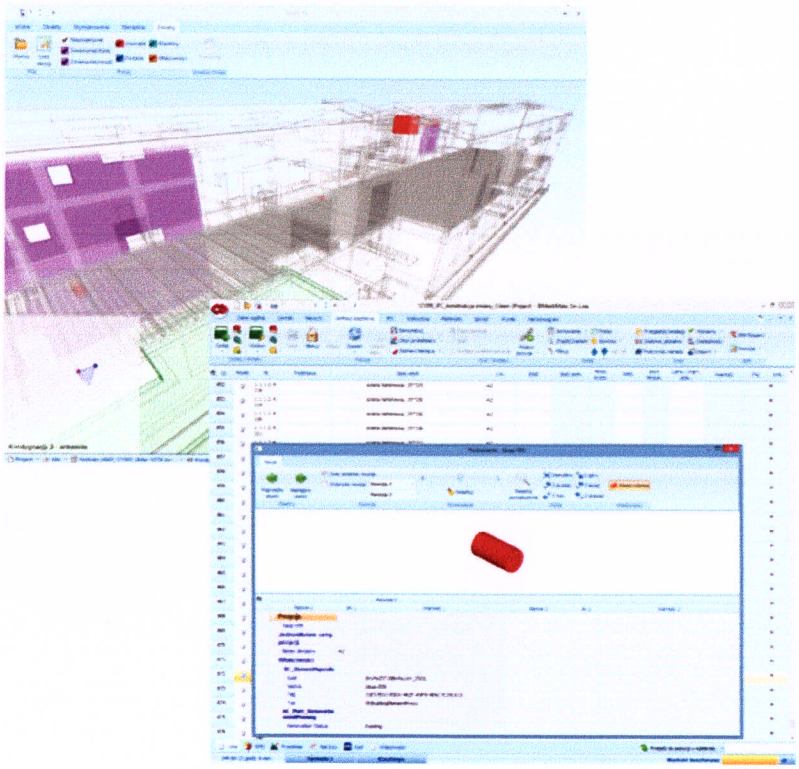


2.15 pav. Modelis ir Ganto grafikas

2.6.5. Projekto pakeitimų valdymas

Naudojant programą projektuotojams labai paprasta atlikti visus projekto pakeitimus, o rangovams realiu laiku pamatyti atliktus keitimus. Taikydami šią funkciją galime ne tik nustatyti ir matyti pakeitimus (parametrų keitimas, pašalinimas, papildymas, sąvybių keitimas ir pan.) (žr. 2.16 pav), bet ir įtraukti šiuos pakeitimus į išlaidų ir darbo grafiko skaičiavimus.

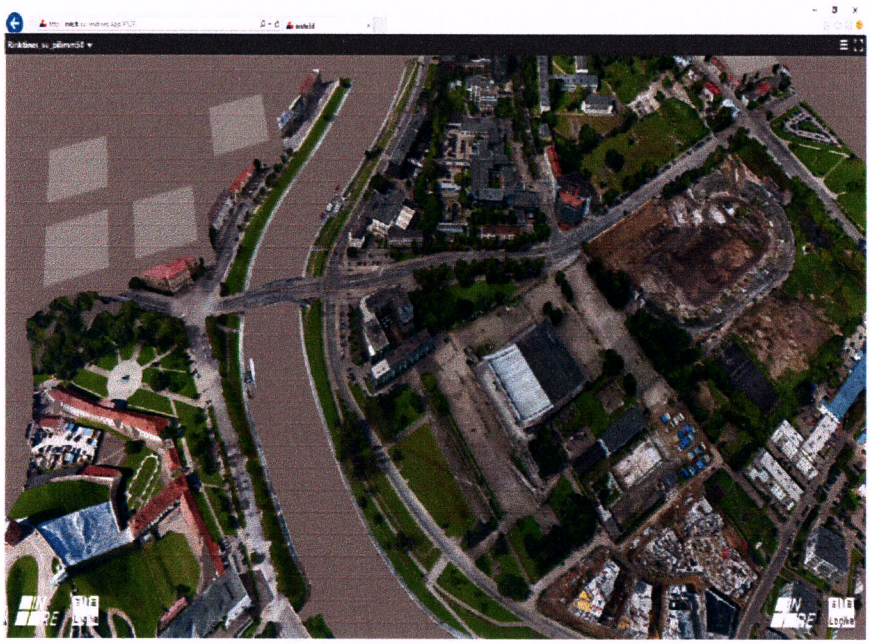
Projekto pakeitimų valdymas šiandien yra žymiai paprastesnis nei kada nors anksčiau. Darbų ir kiekių skaičiavimai atliekami automatiškai, remiantis BIM modelių perduodamų duomenų sekomis.



2.16 pav. Projekto fragmento keitimas

2.6.6. Pasiruošimas statybai

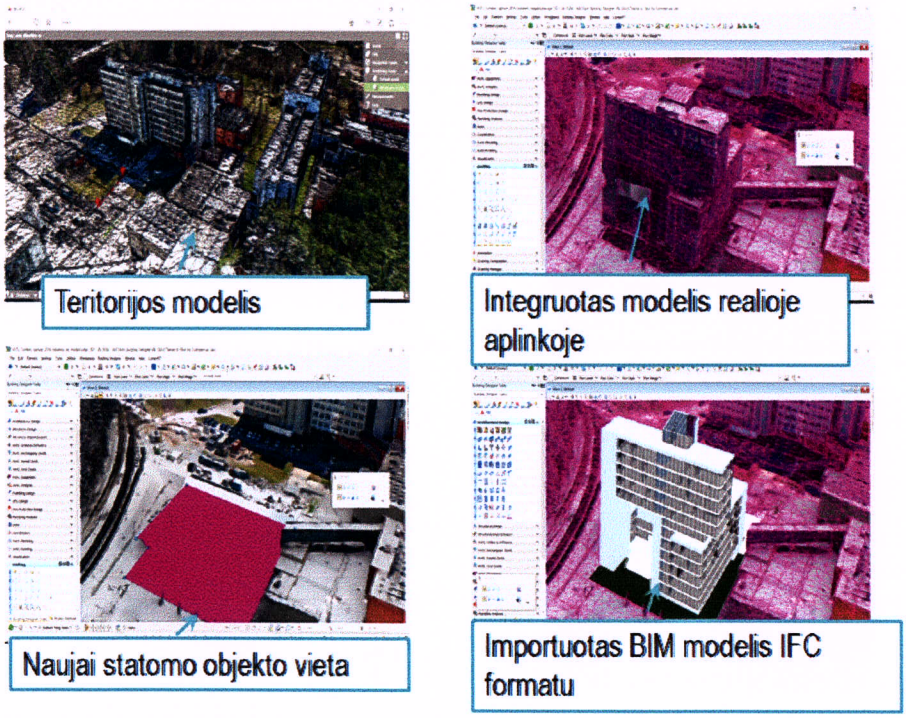
Statybos organizavimas pradedamas nuo statybos aikštelės organizavimo įvairiais darbo etapais (žemės darbai, bendrieji statybos darbai, betonavimo darbai, statybos ir montavimo darbai, apdailos darbai). Labai svarbu šį darbą atlikti išplėstos realybės pagrindu, t. y. pagrindinis modelis sukuriamas taikant fotogrametrijos metodus (2.17 pav.). Šis modelis suteikia galimybę kurti trijų dimensijų modelius ir kartu leidžia kiekviename modelio taške nustatyti koordinates. Koordinačių turėjimas padeda nustatyti tikslius atstumus tarp turimų taškų, suteikia galimybę apskaičiuoti reikiamus plotus ir tūrius. Tai suteikia galimybę nuodugniai išnagrinėti pagrindinį žemės sklypą ir paruošti statybvietės technologinį projektą.



2.17 pav. Statybvietės modelis

2.6.7. Statybos darbų organizavimas

Sudarius statybvietės modelį toliau planuojami darbai. Kitas labai svarbus etapas, kuri leidžia atlikti skaitmeminė statyba, tai statybos projekto integravimas į realią aplinką (žr. 2.18 pav.). Labai patogus būdas, leidžiantis matyti realią aplinką ir situaciją, taikant šį įrankį lengva įsivaizduoti būsimą pastatą jo planuojamoje statyti vietoje ir susieti su aplinka.



2.18 pav. Planuojamo statyti projekto vizualizavimas realioje aplinkoje

Šis įrankis labai patogus organizuojant darbą miesto senamiesčiuose, tankiai užstatytuose teritorijose arba pastato rekonstrukcijos metu. Realus modelis leidžia vizualiai įsivaizduoti būsimą sklypo užstatymą, pastato būvimo vietą sklype (žr. 2.19 pav.). Esant sudėtingoms ir suspaustoms statybos sąlygoms, šis įrankis palengvimą darbo planavimą. Supaprastėja krano vietos parinkimo klausimas, kadangi kraną galima įkomponuoti į virtualią erdvę.



2.19 pav. Projektuojamas pastatas interguotas į statybos vietą

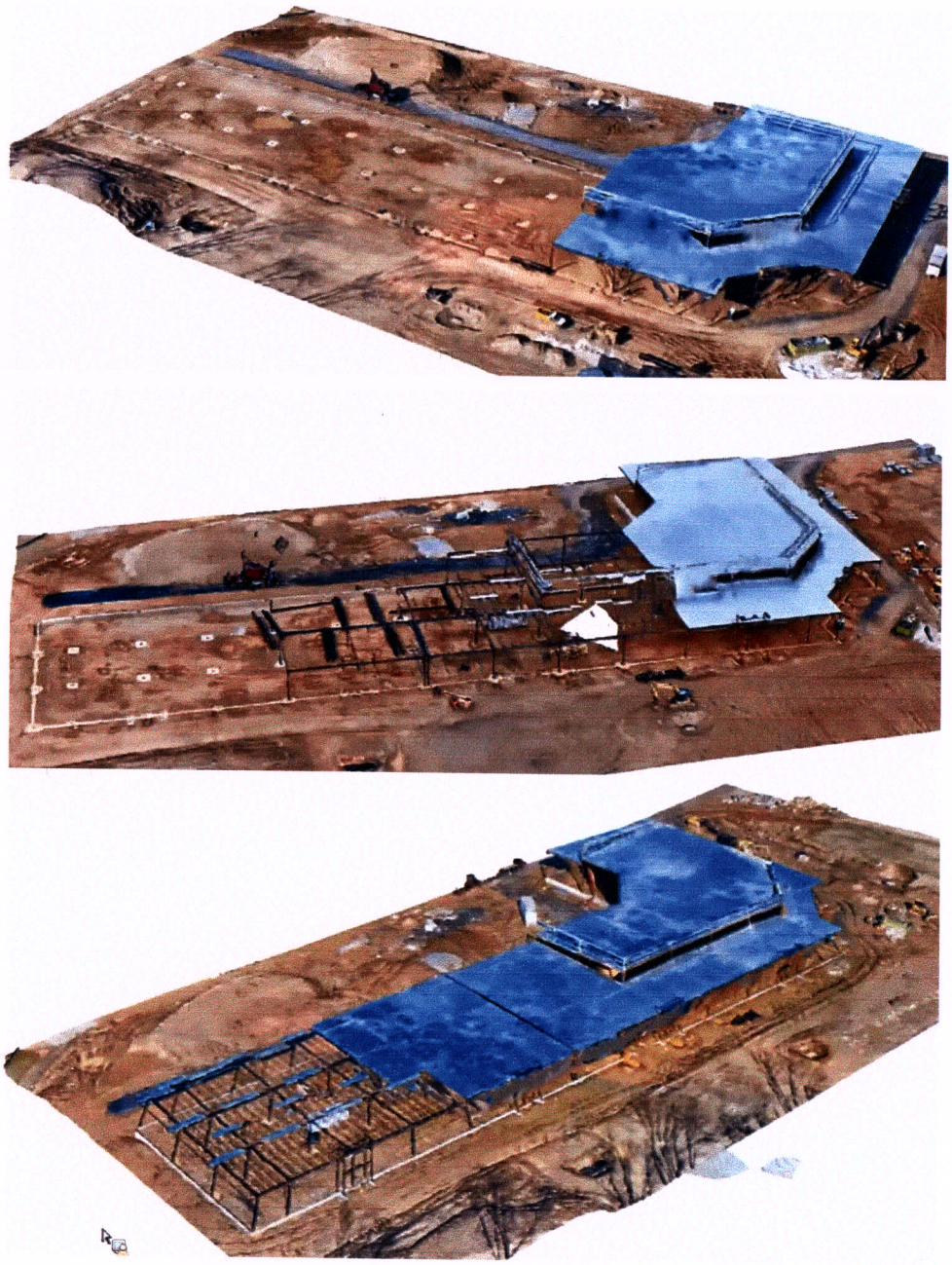
Statybos darbų organizavimas taip pat apima statybos vietos parinkimą, statybos apimtis, plotus, tūrius ir pan. Naudojant *Bentley Contex Capture* programą labai paprasta išanalizuoti ir ištirti esamą sklypo situaciją (žr. 2.20 pav.), kontroliuoti statybos procesą, įvertinti esamą situaciją. Atlikus sklypo fotogrametrinį skenavimą lengva nustatyti darbų kiekius ir matmenis.



2.20 pav. Statybvietės fotogrametrinis vaizdas

2.6.8. Statybos proceso optimizavimas, stebėjimas, kontrolė

Kitas žingsnis, kurį galime atlikti naudojant skaitmeninės statybos įrankius yra statybos proceso optimizavimas, stebėjimas, operacijų valdymas ir kontrolė bei išpildomosios dokumentacijos paruošimas. Naudojant dronus ar kitą analogišką įrangą galima turėti statomo objekto modelį realiu laiku ir stebėti visus statybos proceso etapus (žr. 2.21 pav.). Turint objekto 3D modelį naudojant programą galima nesunkiai suskaičiuoti atliktų darbų kiekius per bet kurį mus dominantį periodą, pateikti etapų išpildomąsias pastato nuotraukas.



2.22 pav. Statybos eigos fiksavimas

Skaitmeninės statybos teikiami privalumai leidžia sutaupyti daug laiko ir kaštų ruošiant objekto išpildomąją dokumentaciją (žr. 2.23 pav). Tereikia kiekvieną dieną skirti tik 10-15min objekto

nuskaitymui ir mes turėsime visų objekto statybos etapų 3D modelis bei jau pastatyto pastato 3D modelį. Modelio sudarymas galimas tiek iš pastato išorės, tiek pastato vidaus patalpų 3D modelis.



2.23 pav. Išpildomosios nuotraukos fragmentas

2.6.9 Skaitmeninė išpildomoji dokumentacija, pastatų ūkio valdymas

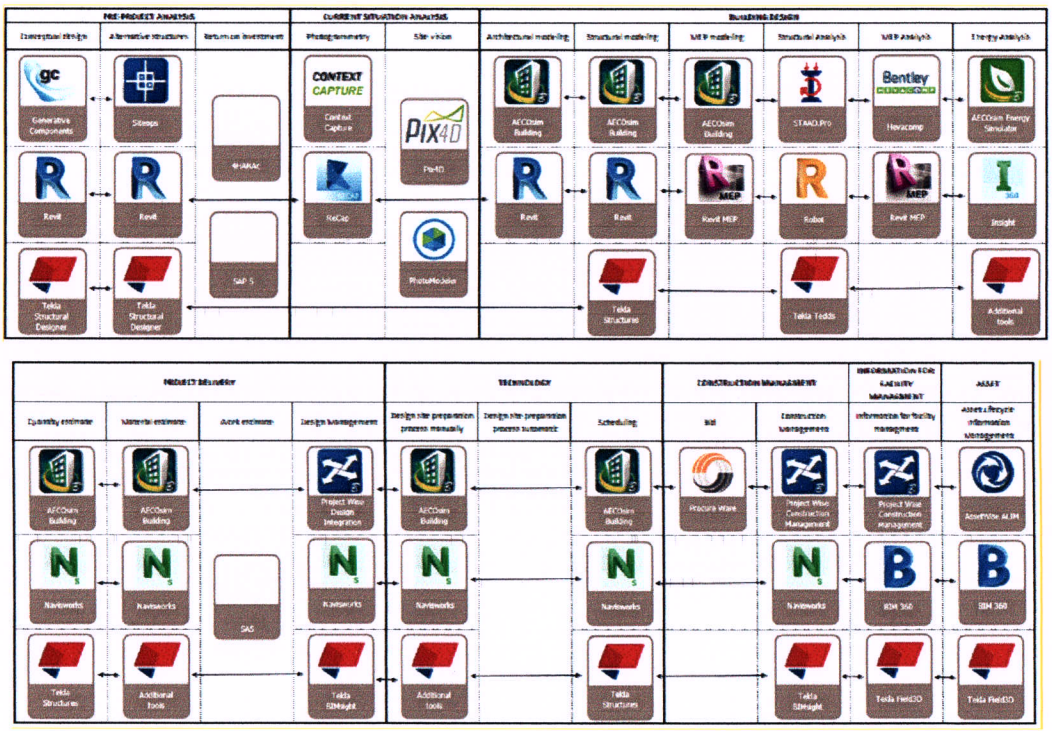
Statybos metu sudarytas modelis gali būti naudojamas pastatų ūkio priežiūroje. Pastato eksploatacija ir priežiūra labai supaprastėja. Sistemos gedimo ar kitu atveju mums nereikia archyvuose ieškoti daug tomų objekto pridavimo metu pateiktos dokumentacijos, pagal rejestrus bandyti surasti reikiamą projekto tomą ir reikiamą brėžinį (žr. 2.24 pav.). Pakanka naudojant telefoną, planšetinį kompiuterį, kompiuterį ar kitą įrenginį atidaryti objekto skaitmeninę išpildomąją dokumentaciją. Naudojant tos pačios programos galimybes galima matyti visus dominančio objekto techninius parametrus, instrukcijas ir kitą informaciją.



2.24 pav. Skaitmeninė išpildomoji dokumentacija pastatų ūkio valdyme

2.6.10 Programinės įrangos panaudojimo sunkumai, programų nesuderinamumas

Remiantis programinių įrangų kūrėjų pateikta informacija nustatyta, kad vieno gamintojo sukurtas programų paketas geriausiai sąveikauja tarpusavyje. Šiose programose užtikrinamas sklandus informacijos keitimosi procesas, nereikalingas papildomas modelio informacijos perdavimo formatas ir darbas atliekamas įjungiant įvairius programinės įrangos įrankius. Eksportuotą modelį lengva papildyti kita reikiama informacija naudojant kitą projektavimo programinę įrangą bei grąžinti modelį į pirminę programą neprarandant projekto informacijos (žr. 2.25 pav.).

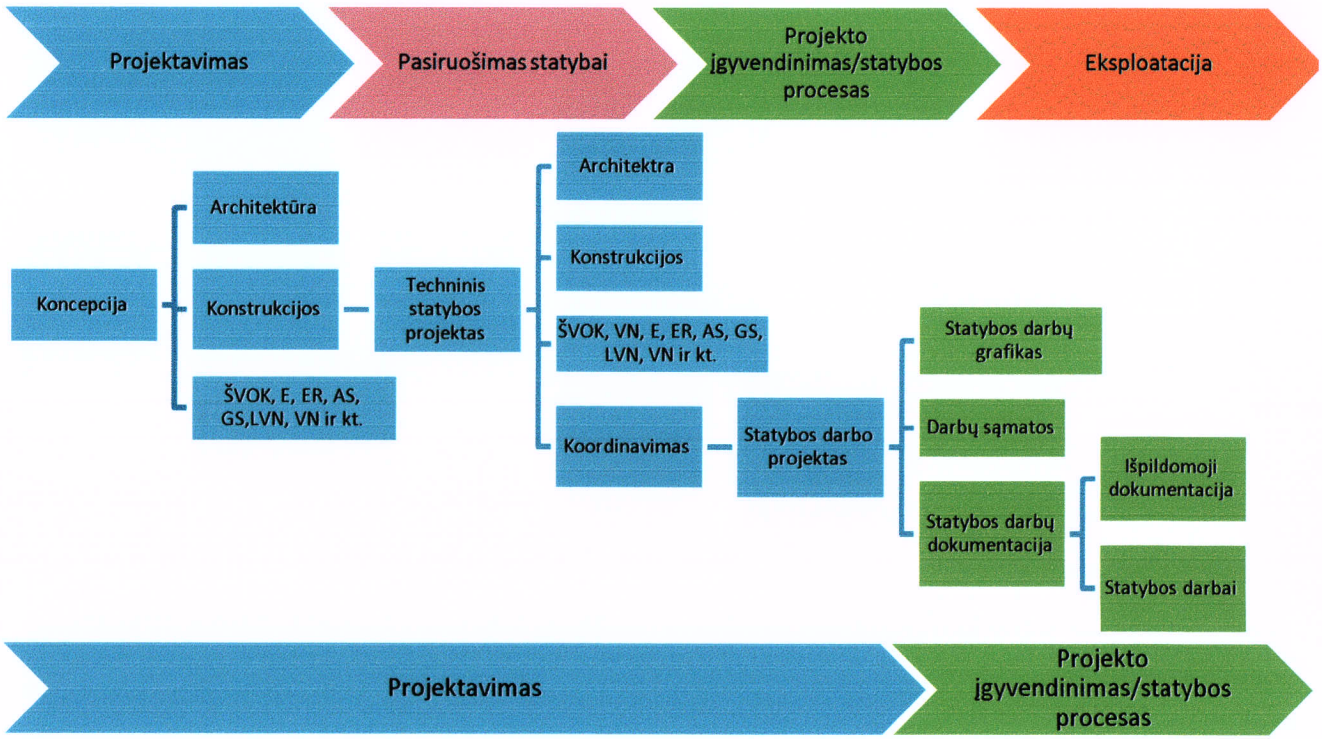


2.25 pav. BIM informacijos keitimosi žemėlapis

Rengiamame ir planuojamame publikuoti straipsnyje su straipsnio bendraautoriais plačiau apžvelgiame programinės įrangos tarpusavio darbo ir informacijos keitimosi suderinamumą, klaidų atsiradimo galimybes keičiantis projektuojamo modelio informacija tarp skirtingų BIM proceso programinių įrangų. Atlikus programinių įrangų analizę gautas rezultatas, kad geriausiai veikia tokio tipo programinės įrangos, kuriose duomenys saugomi IFC arba kitais informacijos keitimosi procesais. Nekeičiant modelio formato duomenų kiekis modelyje nesumažėja, todėl vyksta sklandūs informacijos mainai. Nepriklausomai nuo gautų rezultatų, BIM programinės įrangos paketai turi būti patobulinti, papildant juos nepakankamais įrankiais ar programų kodais.

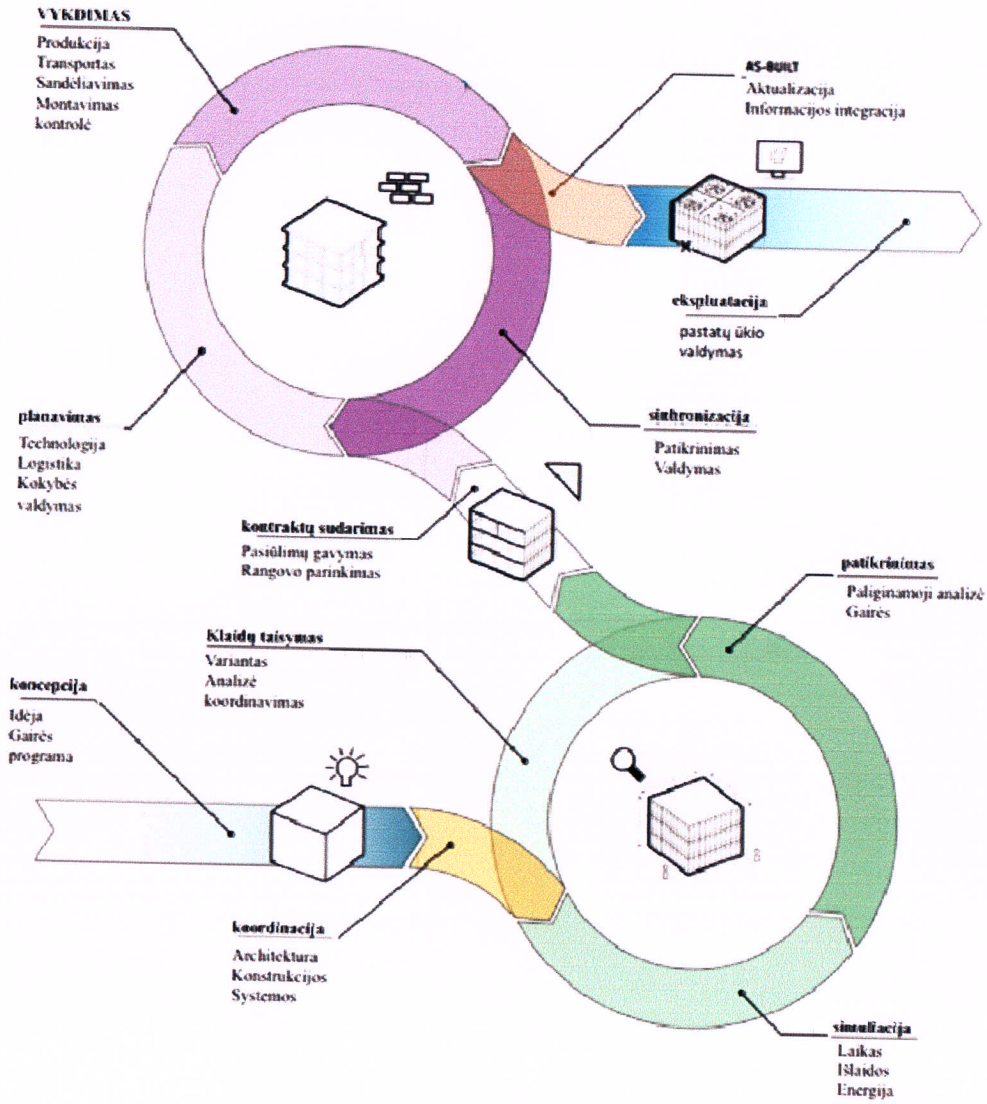
2.7. Statybos procesų modelis

Linijinę projektinę ir pastato valdymo struktūrą galima vadinti tradiciniu pastatų statybos proceso modeliu. Šiame modelyje galima išskirti projektavimo, planavimo, realizavimo ir eksploatacijos etapus (žr. 2.26. pav.).



2.26 pav. Tradicinis statybos proceso modelis (parengta autorės)

Statybos procesas naudojant BIM metodą yra nenutrūkstamas ciklas, kai statybos proceso etapai ir informacijos srautų valdymas yra parengti kaip organizacinės veiklos sistema, tuo pačiu metu atsižvelgiant į pereinamojo laikotarpio projektavimo sprendimus ir galutinį rezultatą, kuris naudojamas pastatų ūkio valdymo procesams. Statybos procesas naudojant BIM metodą yra nuolatinis ciklas, kai statybos proceso etapai ir informacijos srautų valdymas yra parengti kaip organizacinės veiklos sistema, tuo pačiu metu atsižvelgiant į pereinamojo laikotarpio projektavimo sprendimus ir galutinį rezultatą, kuris naudojamas kaip galutinio projekto rezultatas po statybos proceso pabaigos (žr. 2.27 pav.).



2.27 pav. BIM statybos proceso modelis

Mano ir bendraautorių rengiamame ir planuojamame publikuoti straipsnyje apžvelgėme užsienio literatūros straipsnius ir matome, kad straipsnių autoriai vienareikšmiai mato BIM naudą. D. Bryde'as ir kt. (Bryde *et al.* 2013) atliko analizę, apie BIM naudojimo naudą ir nusprendė, kad BIM yra labai naudinga naudoti įmonėje, tačiau dėl didelių diegimo kaštų, šis procesas nėra lengvai pasiekiamas. BIM technologija, laikoma statybos ateitimi (Harris 2013), padėtų sumažinti statybos kaštus, statybos technologijas ir projekto statybos valdymą. BIM yra vienas perspektyviausių ir naujausių AEC pramonės pokyčių (Azhar 2011). BIM apima daugiau pastato gyvavimo ciklo etapų, integruoja programos valdiklius ir standartizuoja informacijos valdymą, kad reikšmės būtų aiškios ir nuoseklios (Талапов 2017). Tai yra papildomas projekto inžinerinės informacijos duomenų bazės modelis, saugantis visus architektūros projektus su geometrine informacija ir atitinkama technine informacija apie visus darbus (Ding *et al.* 2012). Gebėjimas importuoti pastatų duomenis iš BIM sumažina projektavimo proceso laiką ir neapibrėžtumą. BIM technologija reikalauja daug daugiau

darbo jėgos nei tradicinis projektavimas. Naudojant 4D technologijas, statybų vystytojas/rangovas gali parengti tikslesnius darbų atlikimo grafikus (Heesom, Mahdjoubi 2004; Migilinskas *et al.* 2013).

Pasirinkdamas teisingą pagrindinę statybos proceso koncepciją ir naudodamas tinkamą BIM dizainą, vartotojas gali išvengti klaidų ir statybos procesas tampa greitesnis, taip pat sumažėja finansiniai ištekliai.

Yra sukurtos taisyklės, pagal kurias žmogiškieji ištekliai yra integruojami ir susiejami su investicinio projekto kūrimu (Tomana 2016 m.). Šiame procese daugiausia dėmesio skiriama organizaciniams ir teisiniams pastatų projekto aspektams. BIM leidžia analizuoti ir optimizuoti įvairius kokybinius, finansinius ir grafinius aspektus projektavimo stadijoje. Tai užtikrina našumą ir tikslesnes prognozes, kurios yra būtinos produktyviam įvairių etapų koordinavimui ir optimaliam darbo jėgos poreikio nustatymui.

2.8. BIM programinės įrangos panaudojimo sunkumai, programų nesuderinamumas

Statybos procese BIM kaip pavienė programa naudojama plačiai, tačiau BIM panaudojimas dar neužtikrina nuoseklaus ciklinio projektavimo ir jo naudojimo dėl kelių priežasčių:

- esamos BIM programos neturi bendro nuoseklaus grįžtamojo ryšio (t.y. kiekvienam etapui įgyvendinti esamos BIM programos dažnu atveju neturi bendro formato, kurį naudojant informaciją perkeliant iš vienos programos į kitą nebūtų prarasta dalinė informacija arba esami detalūs duomenys dalinai prarandami);
- kai kurios BIM projektavimo programos neturi jokio bendro formato informacijos dalijimuisi;
- kai kurios sritys neturi BIM programų;
- pavienės BIM programos yra labai brangios;
- vartotojai turimų programų negeba išnaudoti 100 proc.

Siekiant, kad statybos procesas būtų efektyvus, svarbu nustatyti teisingus kriterijus ir jų eiliškumą. Naudojant kontrolės metodus ir gamybos kokybės patikrą būtina tinkamai pritaikyti šiuos kriterijus, norint kad projekto įgyvendinimo procesas būtų laikomas gamybos planavimo ir įgyvendinimo procesu. BIM leidžia tirti ir optimizuoti įvairius kokybinius, finansinius ir laiko planavimo aspektus. Tai užtikrina našumą ir tikslesnes prognozes, kurios yra būtinos, kad produktyviai bendradarbiautų įvairios disciplinos ir sukurtų optimalią darbo eigą (Tomana 2016). Apžvelgus BIM programas, nustatyta, kad labiausiai nepritaikytas BIM panaudojimas yra statybos proceso metu, t. y. statybvietėje. Daugelis programų kūrėjų pristato programas, naudojant kurias

galima paruošti statybos technologinį projektą, tačiau jis nėra pilnai automatizuotas. Projektavimo metu numatoma galimybė sukurti 3D mechanizmų modelius. Aprašius algoritmą, galima imituoti tam tikrų elementų technologinį procesą. Vizualiai atvaizduoti krano modelį, nubraižyti sandėliavimo vietą trimatėje erdvėje, panaudojant projektavimo įrankius, tačiau kad tai būtų BIM projektavimas su šiai sričiai sukurtais įrankiais, atsižvelgiant į norminius reikalavimus, statybvietės įrengimo užduočių sprendimą – nėra (Amiria et al. 2017). Pavieniai technologinių procesų aprašymai neapjungia pilno statybos organizavimo ir technologijos projekto tinkamumo, procesas nėra tinkamai išanalizuojamas, todėl nėra gaunami racionalūs sprendiniai. Projektavimo stadijoje BIM aplinkoje parengtas statybos technologinis projektas užtikrintų greitesnę ir sklandesnę statybos eigą, padėtų išvengti klaidų, nenukrypstant nuo planuojamo grafiko ir finansų. BIM statybos proceso projektavimas reikalingas optimalaus statybos plano sudarymui išanalizuojant visus galimus variantus ir juos optimizuojant (Astour, Franz 2014). Taikant BIM svarbu sukurti didelį informacijos kiekį, kuris būtų nesunkiai apdorojamas ir optimizuojamas (Amiria et al. 2017). Projektuotojai BIM aplinkoje negali išspręsti statybvietės įrengimo uždavinių, ko eigoje realioje statyboje atsiranda daug klaidų ir nesusipratimų.

2.9. Projekto įgytosios vertės valdymas ir analizė

Projekto tikslų ir planų palyginimas su realiu projekto įgyvendinimo vertinimu atsispindi įgytosios vertės skaičiavimo etape. Nuolatinis proceso stebėjimas ir kontrolė padeda užtikrinti, kad darbas vyktų sklandžiai, o išlaidos efektyviai išsidėstytų laiko atžvilgiu. Įgytosios vertės analizė yra naudingas projekto pažangos nustatymo ir vertinimo būdas.

Projekto einamosios būklės rodikliai gali būti:

- Numatytiems darbams atlikti skirtos lėšos *PV*;
- Jau atliktiems darbams planuotos lėšos *EV*;
- Faktinės jau atliktų darbų sąnaudos *AC*;
- Išlaidų efektyvumo rodiklis *CPI*;
- Grafiko įvykdymo rodiklis *SPI*.

Išlaidų skirtumas *CV* apskaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$CV=EV-AC, \quad (1)$$

čia *CV* – išlaidų skirtumas; *EV* – įgytoji vertė; *AC* – faktinės išlaidos.

Jeigu $CV>0$, projektas neviršija biudžeto (darbams išleidžiama mažiau nei planuota. Jeigu $CV<0$, projektas viršija biudžetą (darbams išleidžiama daugiau nei planuota).

Išlaidų efektyvumo rodiklis apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$CPI=EV/AC, \quad (2)$$

čia *EV* - įgytoji vertė; *AC* – faktinės išlaidos.

Jeigu *CPI* vertė yra >1 arba =1, pagal esamą tendenciją, projekto išlaidos turi būti mažesnės arba lygios numatytoms biudžete.

Jeigu *CPI* vertė <1, pagal esamą tendenciją, projekto išlaidos viršys biudžetą.

Grafiko skirtumus galima apskaičiuoti pagal (3) formulę:

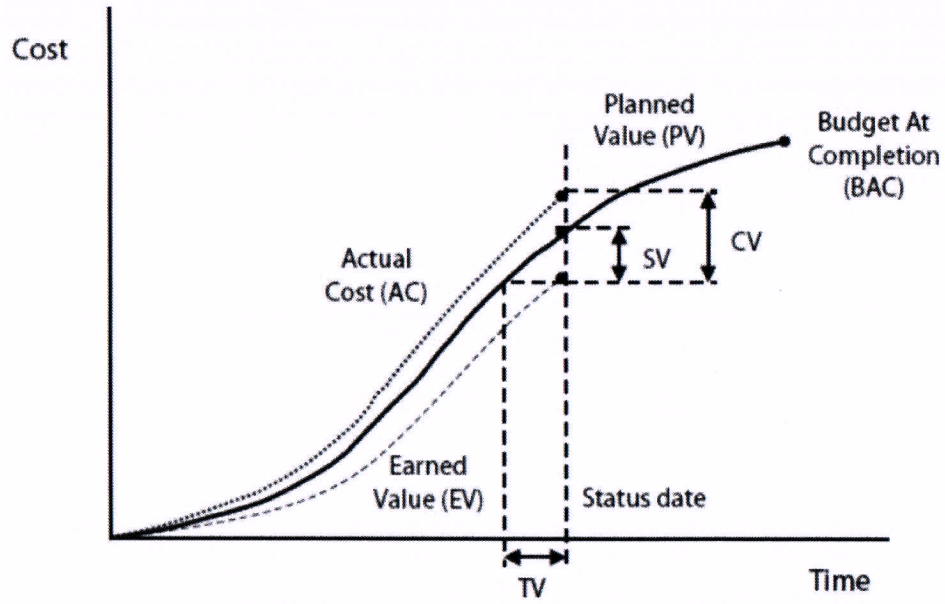
$$SV=EV-PV, \quad (3)$$

čia *EV* - įgytoji vertė; *PV* – planinė vertė.

Jeigu *SV* vertė yra >0, šiuo metu projektas lenkia grafiką (*ne visos teigiamos *SV* vertės yra geros).

Jeigu *SV* vertė yra neigiama, šiuo metu projektas atsilieka nuo grafiko.

Abi vertės (*CV* ir *PV*) gali būti apskaičiuotos pagal (1) ir (3) formules ir gali būti matomos grafike (žr. 2.28 pav.). Laiko skirtumas (TV) gali būti vaizduojamas ir matomas tik grafiškai.



2.28 pav. Grafinis igytosios vertės metodo atvaizdavimas (Anbari 2001)

Toliau skaičiuojamas grafiko įvykdymo rodiklis SPI. Jis skaičiuojamas pagal (4) formulę:

$$SPI=EV/PV, \quad (4)$$

čia *EV* - įgytoji vertė; *PV* – planinė vertė.

Jeigu *SPI* vertė yra >1 arba =1, pagal esamą tendenciją, projektas lenkia arba vykdomas pagal grafiką.

Jeigu *SPI* vertė <1, pagal esamą tendenciją, projektas atsilieka nuo grafiko.

Išlaidų (*CV*%) ir grafiko (*SV*%) nuokrypiai skaičiuojami pagal (5) ir (6) formules.

$$CV\,\%=CV/EV, \tag{5}$$

čia *CV* – išlaidų skirtumas; *EV* - įgytoji vertė.

Jeigu *CV* % vertė yra >0, šiuo metu pagal *CV* % projektas neviršija biudžeto.

Jeigu *CV* % vertė yra <0, šiuo metu pagal *CV* % projektas viršija biudžetą.

$$SV\,\%=SV/PV, \tag{6}$$

kur *SV* – grafiko skirtumas, *PV* – planinė vertė.

Jeigu *SV* % vertė yra >0, šiuo metu projektas lenkia grafiką. Jeigu *SV* % vertė yra <0, šiuo metu projektas atsilieka nuo grafiko.

2.10. Investicijų pelningumo rodiklis (ROI) taikant BIM statybos rangos darbams

Yra atlikta nemažai tyrimų, kurių autoriai vienareikšmiškai sutinka, kad projekto projektavimo netikslumai ir klaidos yra pagrindinės priežastys, lemiančios projekto grafiko vėlavimus, pablogėjusią kokybę, klaidas ir biudžeto viršijimą. Vienas iš būdu norint išvengti finansinių nuostolių yra BIM taikymas. Norint apskaičiuoti kiek tikslinga ir naudinga taikyti BIM statybos projektuose, būtų naudinga panagrinėti investicijų pelningumo rodiklį (ROI). Investicijų pelningumo rodiklis parodo, kiek efektyvios yra investicijos. Investicijų sąvoka yra labai plati ir įvairiai interpretuojama, todėl ir rodiklio apskaičiavimui yra daug variantų. Statybos projektui paprastai šis rodiklis apskaičiuojamas kaip investicijų grąža atėmus investicijų sąnaudas padalintas iš investicijų sąnaudų (7). Grąža galime vadinti pelną, pajamas ar gautą naudą. Šiuo atveju, jei investicijų pelningumo rodiklis yra didesnis nei 0%, investiciją galima laikyti naudinga (pelninga). ROI lygus nuliui laikomas lūžio tašku.

$$ROI_r = \frac{output - input}{input}. \tag{7}$$

Ghang Lee savo straipsnyje investicijų pelningumo rodiklį siūlo skaičiuoti pagal šią formulę:

$$ROI_r = \frac{output - input}{input} = \frac{\left(\sum_{p=0}^{n}\left(d_p \times c_p\right)\right)*(1 + idc + hoc) - \left(i + \sum_{q=1}^{k}\left(l_q * m_q\right)\right)}{i + \sum_{q=1}^{k}\left(l_q * m_q\right)}; \tag{8}$$

čia investicijų sąnaudos (input) yra:

ROI_r investicijų pelningumo rodiklis dėl projekto klaidų taisymo;

i pradinė užsakomųjų paslaugų kaina, kuri apima programinės ir kitos reikiamos įrangos išlaidas, mokymus ir architektūrinio BIM modelio pritaikymo konstruktyviniam BIM modeliui išlaidos;

l mėnesinis BIM koordinatoriaus atlyginimas;

q BIM koordinatorių skaičius;

k BIM koordinatorių kiekis;

m BIM koordinatorių darbo trukmė (mėn);

gauta nauda (output):

d tiesioginės išlaidos dėl klaidų taisymo;

c tikimybė, kad negalėsime nustatyti klaidos iš tradicinio (popierinio arba CAD) projekto brėžinių;

p klaidos numeris;

n projekto klaidų kiekis;

idc netiesioginių išlaidų santykis su tiesioginėmis sutarties sąnaudomis;

hoc buitinių patalpų nuomos išlaidų santykis su sutarties kaina.

Atlikus skaičiavimus ir padarius prielaidą, kad nei viena projektavimo klaida nebus aptikta prieš darbų pradžią dirbant pagal tradicinius brėžinus, Ghangas Lee gavo rezultatą, kad investicijų pelningumo rodiklis yra 22 %-335 %. Maksimalus rezultatas yra gautas darant prielaidą, kad visos projektavimo klaidos pareikalaus papildomų išlaidų.

Investicijų pelningumo rodiklio (ROI) skaičiavimuose atliktuose pagal (8) formulę nėra įvertintos projekto vėlavimo išlaidos. Lee ir kt. (Lee *et al.* 2017) straipsnyje investicijų perlingumo rodiklis skaičiuojamas iš užsakovo pozicijos, jie siūlo ROI skaičiuoti pagal šią formulę:

$$ROI_s = \frac{output - input}{input} = \frac{\left(\left(\sum_{p=0}^{n}\left(d_p \times c_p\right)\right)*(1 + idc + hoc) + \sum_{j=0}^{w}\left(joc_w + bin_w + liq_w\right)\right) - \left(i + \sum_{q=1}^{k}\left(l_q*m_q\right)\right)}{i + \sum_{q=1}^{k}\left(l_q*m_q\right)} \quad ; \qquad (9)$$

čia:

ROI_S investicijų pelningumo rodiklis dėl grafiko vėlavimo;

joc_w darbo pridėtinių išlaidų padidėjimas per savaitę, įskaitant netiesiogines išlaidas;

bin_w per savaitę mokamos papildomos banko palūkanos;

liq_w per savaitė sumokėtos netesybos vėlavimų;

j savaičių skaičius;

w vėlavimas (savaitėmis).

Kadangi mano nagrinėjamas projektas yra vertinamas iš rangovo pusės, investicijų pelningumo rodiklio skaičiavimas pagal pateikiamas formules nėra tinkamas. Lee ir kt. (Lee *et al.* 2017) siūlomą investicijų pelningumo rodiklio (ROI) skaičiavimo formules reikėtų transformuoti, sujungiant su įgytosios vertės metodo būdu apskaičiuotais galimais darbų vėlavimais, todėl siūlau Lee (Lee *et al.* 2017) formules transformuoti taip:

ROI dėl BIM metu išvengtų klaidų:

$$ROI = \frac{\sum_{p=0}^{n}(d_p * c_p) - (i + \sum_{q=1}^{k} l_q * m_q)}{(i + \sum_{q=1}^{k} l_q * m_q)} \quad . \tag{10}$$

ROI dėl BIM metu išvengtų klaidų ir laiku atliktų darbų:

$$ROI = \frac{\sum_{p=0}^{n}(d_p * c_p) + t * (DU_{sv} * n + DU_{pv} * m + bv * bv_k + tv + aps + kt) - (i + \sum_{q=1}^{k} l_q * m_q)}{(i + \sum_{q=1}^{k} l_q * m_q)} \quad . \tag{11}$$

čia:

t darbų atsilikimas nuo grafiko (mėn). t=SV % * T;

DU_{sv} statybos vadovo atlyginimas;

n statybos vadovų, dirbančių aikštelėje skaičius;

DU_{pv} projekto vadovo atlyginimas;

m projekto vadovų, dirbančių su projektu skaičius;

bv buitinių (statybinių) vagonėlių skaičius;

bv_k buitinių vagonėlių nuomos kaina (mėn);

tv statybvietės aptvėrimai (eur/mėn);

aps statybvietės fizinė apsauga (eur/mėn);

kt kitos išlaidos (geriamas vanduo, kava, arbata, valymas, printeris ir pan.)

T projekto trukmė (mėn).

Nuo 2009 m. kompanija „McGraw-Hill Construction“ vykdo BIM technologijų diegimo efektyvumo stebėseną visame pasaulyje. Aktyviausiai BIM technologijų diegimo efektyvumą stebi ir matuoja Prancūzija, Japonija, Vokietija, Australija ir Naujoji Zelandija. Kiek mažiau aktyvūs yra Šiaurės Amerikos, Kanados ir Pietų Korėjos respondentai. Šių regionų statybos sektoriaus dalyviai

nuolat vertina BIM technologijų efektyvumą pagal tris kriterijus: teigiamas ROI (26 – 100 %), vidutinis ROI (iki 25 %) ir neigiamas ROI (Skaitmeninė statyba 2017).

3. BIM TECHNOLOGINIO EFEKTYVUMO VERTINIMO PAVYZDYS RANGOVUI ATLIEKANT STATYBOS DARBUS

3.1. Pagrindiniai statybos projekto rodikliai

3.1.1. Projekto apibūdinimas. Architektūrinė dalis

Projektuojamame sklype numatomi keturi funkciškai susieti gyvenamosios paskirties, 3-5 aukštų gyvenamieji korpusai su butais ir kūrybinių dirbtuvių patalpomis bei komercinėmis patalpomis prie Aukštaičių gatvės. Po gyvenamaisiais korpusais projektuojama bendra požeminė automobilių saugykla. Saugykla skirta pastato gyventojams ir kūrybinių dirbtuvių patalpoms. Įvažiavimas į automobilių saugyklą iš anksčiau suprojektuoto akligatvio rytinėje pusėje.

Sklypas uždaras, aptveriamas metaline ažūrine 1,2 m aukščio tvora. Projktuojami rakinami įėjimo į teritoriją varteliai. Sklype projektuojami pėsčiųjų takai, vaikų žaidimų aikštelės, ramaus poilsio zonos, bendruomenės daržai.

Įėjimai į gyvenamuosius pastatus (korpusai A, B, C) projektuojami sklypo viduje. Į D korpusą įėjimas projektuojamas iš akligatvio. Patekimui į teritoriją įrengiamos telefonspynės prie įėjimo vartelių bei prie kiekvienos laiptinės.

Statybos sklype projektuojami keturi atskiri gyvenamieji korpusai. Pastatai pailgi, plane netaisyklingos formos. Stogai daugiašlaičiai, šlaitų nuolydžiai orientuoti šiaurės kryptimis. Fasadų apdailai naudojama binarinė struktūra: išorės perimetro fasadams ir stogui naudojama tamsaus klinkerio plytelių apdaila ir degto molio čerpės, vidaus kiemų fasadams – geriau šviesą atspindinti šviesaus klinkerio plytelių apdaila.

Gyvenamieji namai yra sekcijinio tipo. Kiekviena sekcija turi atskirą įėjimą iš lauko, laiptinėmis ir liftais turi funkcinį ryšį su požemine automobilių saugykla. Išviso komplekse projektuojamas 71 butas, 14 kūrybinių dirbtuvių ir 8 administracinės paskirties vienetai. Požeminėje automobilių saugykloje suprojektuotos 85 parkavimo vietos.

3.1.2. Projekto apibūdinimas. Konstrukcinė dalis

Statinys yra 100,72 m ilgio, 44,23 m pločio ir 18,85 m aukščio. Pastato konstrukcinę schemą sudaro standžiai pamate įtvirtintos monolitinės gelžbetoninės kolonos bei požeminės automobilių saugyklos sienos, ant kurių remiamos pastato perdangos ir sienos. Gelžbetoninės sienos prie perdangų jungiamos lanksčiai. Laiptinės ir lifto šachtos sienos užtikrina bendrą pastato pastovumą. Visu požeminės automobilių saugyklos perimetru suprojektuota gręžtinių polių sienelė (Ø300mm), po kolonomis ir laikančiomis sienomis parinkti Ø350 mm gręžtiniai poliai. Ties kolonomis poliai sujungti gelžbetoninėmis galvenomis, gelžbetoninės sienos remiamos tiesiai ant polių.

Požeminės automobilių saugyklos grindys monolitinės gelžbetoninės, inkaruojamos į galvenas ir gelžbetonines sienas, kad nepakeltų požeminis spūdinis vanduo. Konstrukcijoms naudojamas hidrotechninis betonas C30/37-W8. Grindyse kas 40m įrengiamos temperatūrinės – deformacinės siūlės.

Perdanga monolitinė gelžbetoninė 250mm storio. Ties atramomis įrengiami pastorinimai (briaunos). Perdanga ties pastatais atskirta temperatūrine siūle. Visos pertvarinės daiktų saugyklų sienos remiamos tiesiai ant gelžbetoninių grindų.

Laiptai monolitiniai gelžbetoniniai.

Tarpaukštinės perdangos monolitinės gelžbetoninės, ties atramomis įrengiami vienetiniai perdangų pastorinimai (briaunos). Storiai kinta nuo 200mm iki 300mm.

Balkonų plokštės monolitinės gelžbetoninės. Su perdanga jungiamos per specialias termines detales šalčio tiltui mažinti.

Vidinės sienos – monolitinės gelžbetoninės, 220mm, išorinės sienos – armuotas tinklais keraminių blokų mūras. Lifto sienos dvigubos – išorinio kontūro siena monolitinė gelžbetoninė, vidinio – mūrinė, armuota.

Stogai 2-jų tipų – šlaitiniai ir sutapdinti. Sutapdintas stogas įrengiamas ant monolitinio gelžbetoninio denginio, šlaitinis – iš klijuoto medžio sijų GL28h bei pjautinės medienos gegnių C22. Mediniai elementai apdorojami antipirenais, antiseptikais.

3.1.3. Pagrindiniai statybos dalyviai

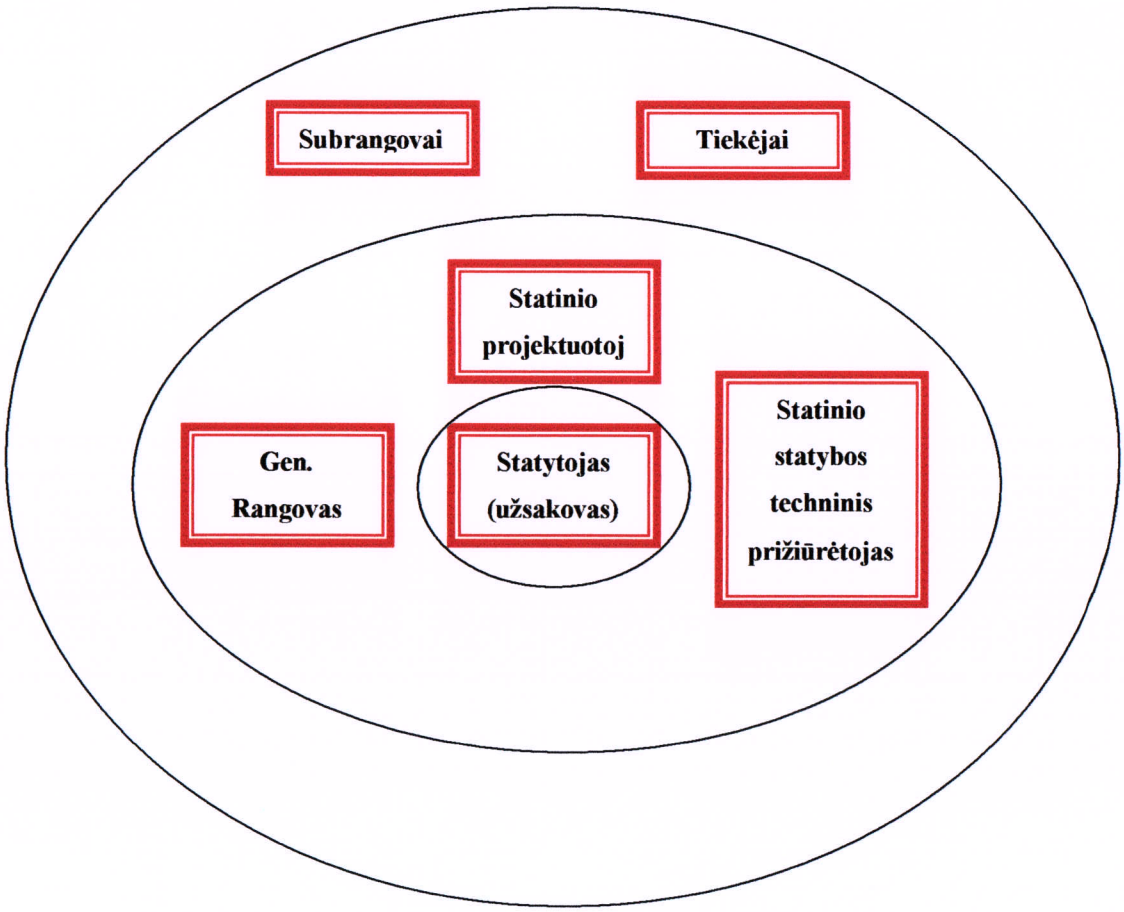
Šiame projekte pagrindiniai statybos dalyviai yra:

- Statytojas („Statytojas“, UAB) ;
- Generalinis rangovas („Rangovas“, UAB);
- Statinio projektuotojas („Architektas“, UAB);
- Statinio techninis prižiūrėtojas („Techninis prižiūrėtojas“, UAB);
- Subrangovai;
- Tiekėjai.

Statytojas (užsakovas), įsigijęs sklypą, pasirenka projektuotojus ir pagal įsivaizduojamą koncepciją projektuojasi pastatą. Pastato projektavimo stadijoje glaudžiai dalyvauja techniniai prižiūrėtojai, kadangi užsakovas turi įsteigęs techninės priežiūros padalinį. Turint techninį projektą yra skelbiamas konkursas ir parenkamas projekto generalinis rangovas. Generalinis rangovas pasirenka projektui vykdyti reikiamus subrangovus, medžagų ir pagrindinių mechanizmų tiekėjus ir sudaro medžiagų bei mechanizmų tiekimo ir subrangos sutartis.

Visi dalyviai glaudžiai bendrauja tarpusavyje, yra rengiami gamybiniai ir projektavimo pasitarimai, kurių metų sprendžiami klausimai, susiję su gamybiniais ir projektavimo procesais. Gamybinius pasitarimus organizuoja generalinis rangovas.

Bendra projekto dalyvių sąveika yra 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Gyvenamosios paskirties pastato su administracinėmis patalpomis statybos dalyvių sąveika (parengta autorės)

3.1.4. Darbų skaidymo struktūra

Norint lengviau susiplanuoti visus darbus iš anksto, numatyti projekto biudžetą, pasamdyti reikiamus rangovus atitinkamiems darbams ir projekto metu sekti projekto darbą bei eiliškumą, labai svarbu susiskaidyti projekto įgyvendinimui reikalingus darbus.

Projekto sklandžiam vykdymui, darbų planavimui, reikalingas projekto darbų suskaidymas.

Pagrindiniai darbų skaidymo struktūros sudarymo principai (Banaitienė, Banaitis 2012*):*

- *išskiriami būtini projekto etapai, kuriuos reikia įvykdyti, norint pasiekti projekto tikslą. Sudarydamas darbų skaidymo struktūrą, projekto vadovas turi aiškiai suvokti projekto viziją;*

- *pagal poreikį numatomi žemesni darbų skaidymo struktūros lygmenys. Lygmenų skaičius nustatomas pagal projekto dydį ir darbų apimtį. Projektas neturėtų būti skaidomas labai detaliai, nes dėl to sunku valdyti patį projektą;*
- *darbų skaidymo struktūra koreguojama ir papildoma, kad tenkintų užsakovų ir investuotojų reikalavimus, keliamus ataskaitoms.*

Nagrinėjamas projektas dėl savo apimties skaidomas pakankamai detaliai (žr. 3.1 lent.). Paruošiamuosius darbus sudaro statybvietės paruošimas, esamų inžinerinių tinklų demontavimas, žemės darbai ir laikina gruntinio vandens žeminimo įranga, toliau jų nedetalizuojant. Aprašomi statybinių konstrukcijų darbai – poliniai pamatai, sujungiamieji ir kintamo aukščio rostverkai, polinių pamatų apibetonavimas vienpusio betonavimo klojiniais, rūsio perdanga, antžeminės dalies sienos ir perdangos, stogas, fasado apdailos darbai, langai, durys, vidaus pertvaros, grindys, pastato inžinerinės sistemos (šildymas, vėdinimas, oro kondicionavimas, elektrotechninė dalis, apsauginė ir gaisro signalizacija, elektroninai ryšiai, pastato valdymas ir automatizavimas), sklypo sutvarkymas ir aptvėrimas.

3.1 lentelė. Darbų skaidymas pagal darbų grupes (parengta autorės)

Išlaidų pavadinimas	Mato vnt.	Sutartinė kaina, Eur be PVM		
		Kiekis	Vnt. Kaina	Viso Eur.
AIKŠTELĖS PARUOŠIMAS	**kompl**	**1.00**	**45 000.00**	**45 000.00**
PAMATAI	**kompl**	**1.00**	**617 432.20**	**617 432.20**
ŽEMĖS DARBAI	kompl	1.00	61 276.50	61 276.50
PAMATAI	kompl	1.00	556 135.70	556 135.70
Poliniai pamatai	kompl	1.00	263 760.00	263 760.00
Atraminės sienos	kompl	1.00	242 450.00	242 450.00
Rostverkai (galvenos)	kompl	1.00	40 905.70	40 905.70
Kiti pamatai (įvardinti)	kompl	1.00	9 020.00	9 020.00
KONSTRUKTYVAS	**kompl**	**1.00**	**1 853 765.00**	**1 853 765.00**
RŪSIO KONSTRUKCIJOS	kompl	1.00	537 793.00	537 793.00
Rūsio sienos	kompl	1.00	53 340.00	53 340.00
Rūsio kolonos	kompl	1.00	22 936.00	22 936.00
Rūsio sijos/ryšeliai	kompl	1.00	12 269.00	12 269.00
Rūsio perdanga	kompl	1.00	401 742.00	401 742.00
Rūsio sienų hidroizoliacija	kompl	1.00	47 506.00	47 506.00
MONOLITINĖS ANTŽEMINĖS KONSTRUKCIJOS	kompl	1.00	1 152 645.00	1 152 645.00
Monolitinės sienos	kompl	1.00	429 576.00	429 576.00
Monolitinės kolonos	kompl	1.00	9 513.00	9 513.00
Monolitinė perdanga	kompl	1.00	606 312.00	606 312.00
Laiptų smailių ir aikštelių konstrukcija	kompl	1.00	51 240.00	51 240.00
Kitos monolitinės k-jos (įvardinti)	kompl	1.00	56 004.00	56 004.00
MŪRO KONSTRUKCIJOS	kompl	1.00	163 327.00	163 327.00
STOGAS	**kompl**	**1.00**	**656 389.70**	**656 389.70**
FASADAS	**kompl**	**1.00**	**910 096.00**	**910 096.00**
GRINDYS	**kompl**	**1.00**	**362 962.00**	**362 962.00**
IŠORĖS ANGOS	**kompl**	**1.00**	**696 583.00**	**696 583.00**
LANGAI	kompl	1.00	582 080.00	582 080.00
DURYS	kompl	0.00	110 400.00	110 400.00
VARTAI	kompl	1.00	4 083.00	4 083.00
ATITVAROS	**kompl**	**1.00**	**325 542.00**	**325 542.00**
TINKAS	kompl	1.00	162 042.00	162 042.00
PERTVAROS	kompl	1.00	163 500.00	163 500.00
VIDAUS APDAILA	**kompl**	**1.00**	**486 429.82**	**486 429.82**
GRINDŲ APDAILA	kompl	1.00	65 188.00	65 188.00
SIENŲ APDAILA	kompl	1.00	271 398.00	271 398.00
LUBŲ APDAILA	kompl	1.00	99 373.00	99 373.00
VIDAUS TURĖKLAI, APTVĖRIMAI	kompl	1.00	21 307.00	21 307.00
APŠVIETIMO IR VALDYMO PRIETAISAI	kompl	1.00	29 163.82	29 163.82
ĮVAIRŪS DARBAI	**kompl**	**1.00**	**24 211.00**	**24 211.00**
LIFTAI	**kompl**	**1.00**	**124 320.00**	**124 320.00**
BALKONAI IR TERASOS	**kompl**	**1.00**	**156 155.41**	**156 155.41**
BALKONŲ/TERASŲ APDAILA	kompl	1.00	62 726.00	62 726.00
BALKONŲ/TERASŲ APTVĖRIMAI	kompl	1.00	93 429.41	93 429.41
VIDAUS INŽINERINIAI TINKLAI	**kompl**	**1.00**	**1 112 401.05**	**1 112 401.05**

3.1 lentelės pabaiga

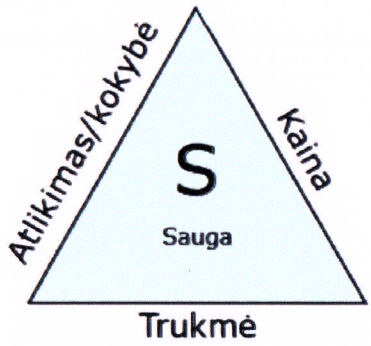
VANDENTIEKIS IR KANALIZACIJA	kompl	1.00	266 331.14	266 331.14
ŠILDYMAS	kompl	1.00	254 307.36	254 307.36
ŠALDYMAS	kompl	1.00	26 438.40	26 438.40
VĖDINIMAS	kompl	1.00	206 219.53	206 219.53
ELEKTROTECHNIKA	kompl	1.00	183 410.55	183 410.55
SILPNOS SROVĖS	kompl	1.00	175 694.07	175 694.07
LAUKO INŽINERINIAI TINKLAI	kompl	1.00	133 289.30	133 289.30
APLINKOTVARKA	kompl	1.00	251 910.71	251 910.71
DANGOS SKLYPO RIBOSE	kompl	1.00	144 050.31	144 050.31
MAŽOJI ARCHITEKTŪRA	kompl	1.00	25 918.00	25 918.00
KITI APLINKOTVARKOS DARBAI	kompl	1.00	49 478.40	49 478.40
APŽELDINIMAS	kompl	1.00	32 464.00	32 464.00
AIKŠTELĖS PRIEŽIŪRA	kompl	1.00	36 476.00	36 476.00
KITOS IŠLAIDOS	kompl	1.00	269 707.40	269 707.40
				8 061 650.59
				1 692 946.62
				9 754 597.21

Pagal šią darbų skaidymo struktūrą yra sudaromas planinis kalendorinis darbų grafikas, kuriame matoma projekto pradžia ir planuojamaa pabaiga, kiekvienam iš suskaidytų darbų skiriant tam tikrą laiko tarpą. Aprašomi darbai pradėti 2018 metų sausio 15 dieną, darbų pabaiga numatoma 2019 metų liepos 4 dieną.

3.1.5. Rizikos veiksniai, darantys poveikį projekto baigimui

Vykdant kiekvieną projektą labai svarbu nusimatyti pagrindinius projekto tikslus, nusakančius projekto struktūrą, projekto dalyvius ir poreikius. Įgyvendinant projektą, tarpinių rezultatų, projekto pakeitimų ar aplinkos pokyčiai gali pakeisti projekto tikslus, tačiau labai svarbu projekto vykdymą vertinti kaip nenutrūkstamą, nuolat besikeičiantį procesą, kurio metu analizuojama susiklosčiusi situacija ir atitinkamai koreguojami projekto tikslai.

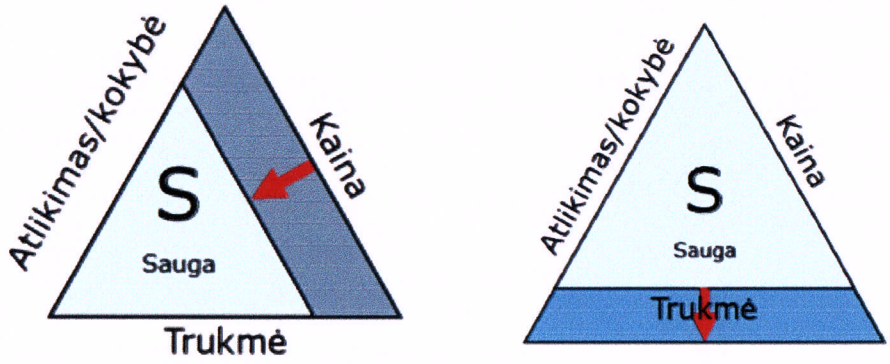
Ilgą laiką planuojant projektus buvo atsižvelgiama į tris pagrindinius apribojimus: kainą, trukmę bei atlikimą/kokybę (žr. 3.2 pav.)



3.2 pav. Trigubas apribojimas (Banatienė 2017)

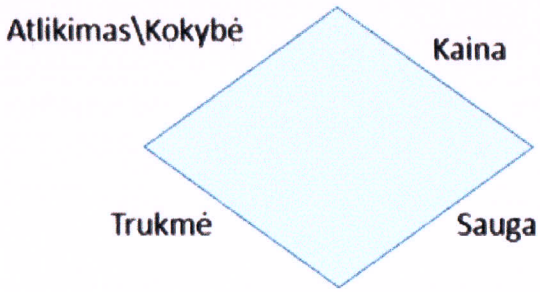
Siekiant kokybiškai, laiku ir už numatytą biudžetą įvykdyti projektą, labai svarbu, kad visos šios dalys būtų proporcingos. Svarbu išlaikyti šio trikampio kraštinių balansą, bet ne mažiau svarbu

atlikti projektą, laikantis saugos ir sveikatos darbe norminių teisės aktų ir reikalavimų (žr. 3.3 pav.). Vykdant projektus taip pat labai svarbu nepamiršti *force majEure*, šias aplinkybes irgi labai svarbu įvertinti ir numatyti (arba bent jau būti joms pasiruošus ir turėti alternatyvų veiksmų planą).



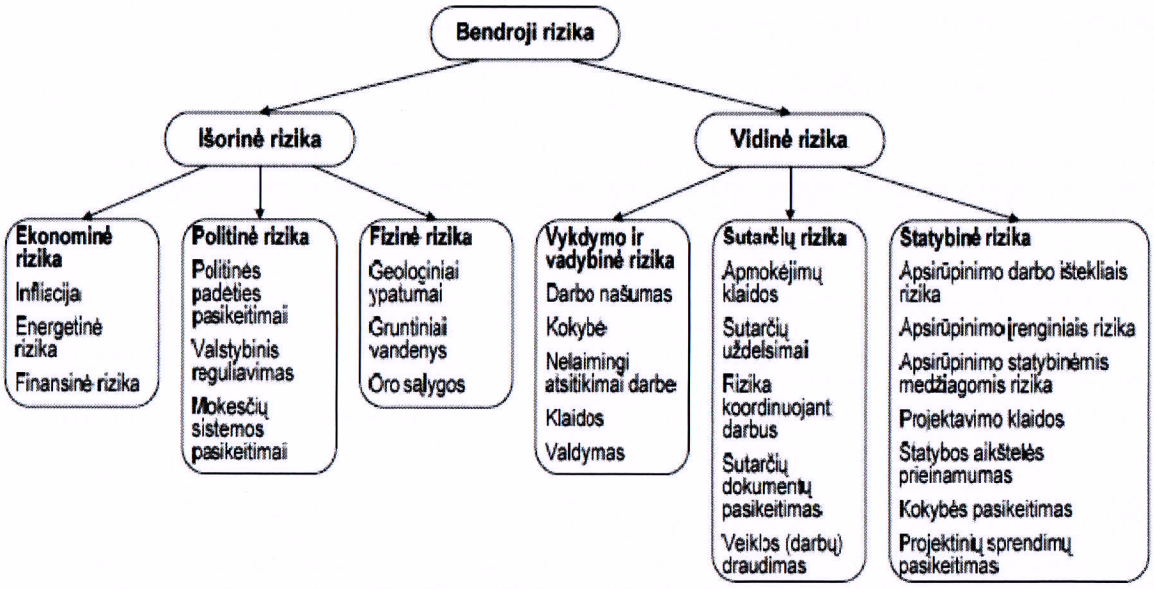
3.3 pav. Nenumatytų rizikų poveikis projekto įgyvendinimui (Banaitienė 2017)

Dėl šios priežasties apribojimų trikampį reikėtų pervadinti į deimantą, prie trijų dalių pridedant – saugą (žr. 3.4 pav.), kuri numato visus rizikos veiksnius, galinčius daryti poveikį projektui pradedant jį realizuoti.



3.4 pav. Projekto rizikų deimantas (Banaitienė 2017)

Projektą veikiančias rizikas galima suskirstyti į išorines ir vidines (žr,. 3.5 pav.). Tiek išorines, tiek vidines rizikas labai svarbu nusimatyti projekto įgyvendinimo laikotarpiu. Vienas rizikas svarbu apsvarstyti dar projektavimo stadijoje, kitas (vidines rizikas) - statybos metu.



3.5 pav. Statybos projektų rizikos veiksnių struktūra (Banaitienė, Banaitis 2014)

Ekonominės rizikos – infliacija, energetinė rizika ir finansinė rizika, neturėtų paveikti projekto. Projektas jau prasidėjęs, pagrindinės subrangos sutartys yra pasirašytos ir suderintos sąmatos. Kadangi statyba vyks iki 2019 m. liepos mėnesio, manytina, kad ekonominiai veiksniai taip greitai nepasikeis.

Politinė rizika – politikoje vyksta visokiausios naujos pertvarkos, kai valdančioji dauguma - prieš tai nematyta partija. Tad tai galėtų gąsdinti, visgi, kaip ir ekonominės rizikos atveju, projektą įgyvendinti numatyta per gana trumpą laiką, o įstatymai taip greitai dažniausiai nepriimami.

Fizinė rizika – kadangi pastatas yra pakankamai sudėtingas, projektuojama požeminė automobilių aikštelė, gruntinis vanduo pakankamai aukštas, projektuojamas drenažas, sudėtingos statybos darbų sąlygos, tad fizinė rizika išlieka labai aktuali. Yra didelė tikimybė padaryti klaidų. Taip pat reikia atkreipti dėmesį į klimatines sąlygas, dėl kurių reikėtų papildomai peržiūrėti darbų technologiškumą ir trukmę. Tokie darbai, kaip stogo įrengimas, fasado apdaila, aplinkos sutvarkymas yra labai priklausomi nuo oro sąlygų, todėl labai svarbu tinkamai suplanuoti ir organizuoti darbus, kad projektas būtų įgyvendintas kokybiškai ir laiku. Netinkamai suplanuoti darbai gali pareikalauti ir papildomų kaštų darbams atlikti arba baudoms už vėlavimus.

Vykdymo ir vadybinė rizika – generalinio rangovo įmonė yra įgyvendinusi nemažai sudėtingų projektų, tad užtikrinti darbo našumą, kokybę, valdymą bei užkirsti kelią klaidoms, ji tikrai geba. Tai nėra unikalus projektas, kur didžioji dalis darbų būtų technologiškai nauji ir reikalaujantys naujų žinių. Labai svarbu didelį dėmesį skirti nelaimingų atsitikimų darbe

prevencijai, numatant saugias darbo sąlygas, ruošiant statybos technologinį projektą ir rengiant statybvietės planą. Taip pat vykdymo ir vadybos rizika labai glaudžiai susijusi su inžineriniu objekto personalu. Svarbu tinkamai suskirstyti darbus ir atsakomybes tarp inžinerinio personalo, kad ligos ar kito nelaimingo atsitikimo atveju darbuotojas būtų lengvai pakeičiamas kitu.

Sutarčių rizika – tai rizika, kuri statybose pasitaiko labai dažnai. Sutartys ilgą laiką analizuojamos, svarstomos, keičiamos. Kad nebūtų tokių atvejų, didžiąją dalį sutarčių ir susitarimų su visais subrangovais galima pasirašyti, dar prieš pradedant darbus. Šiame projekte yra daug specifinių darbų ir medžiagų, kurių įsigijimu reikia pasirūpinti iš anksto.

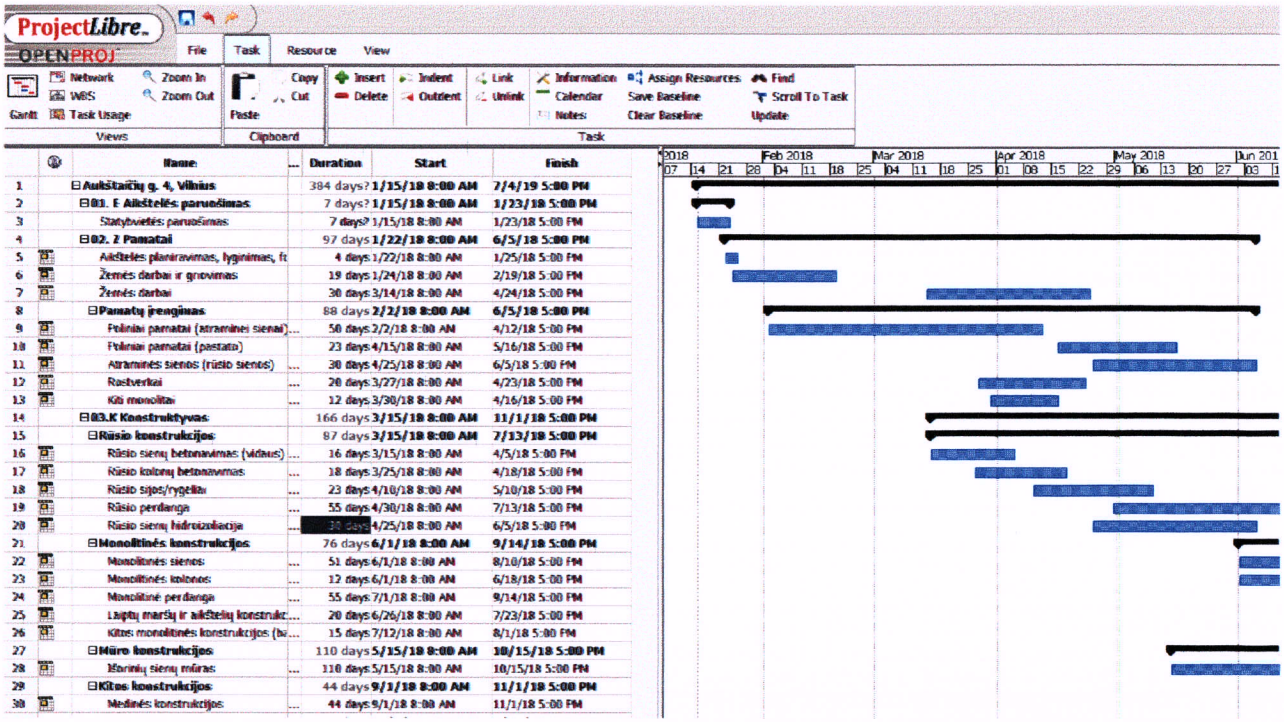
Statybinė rizika - labai svarbu tinkamai ir laiku organizuoti objekto aprūpinimą darbo ištekliais, įrenginiais ir medžiagomis. Todėl labai svarbu prieš darbų pradžia pasirašyti preliminarias medžiagų ir mechanizmų tiekimo sutartis, fiksuoti gaminių kainas. Objekto apimtis nėra labai maža, todėl svarbu laiku pasirinkti ir pasirašyti sutartis su subrangovais, numatant jų darbų atlikimo terminus pasirašomuose darbų vykdymo grafikuose. Projektavimo klaidos ir projektinių sprendimų pakeitimai yra labai aktuoli rizika, todėl šiems darbams reikia skirti labai daug dėmesio darbų pasiruošimo stadijoje.

Kiekvienas projektas susijęs su tam tikra rizika. Labai svarbu valdyti rizikas ir jas numatyti, nes tik tokiu būdu galima tinkamai veikti ir gauti minimalų nuokrypį nuo laukiamų rezultatų.

Vykdant projektą labai svarbu atsižvelgti į visas šias rizikas. Projektas yra specifinis, pakankamai sudėtingas konstruktyvas dėl braunuotų ir sijinių perdangų, sudėtingos darbų sąlygos dėl gretiname sklype vykstančių statybų ir esamo funkcionuojančio pastato, kurio sklypas ribojasi su statomo objekto sklypu.

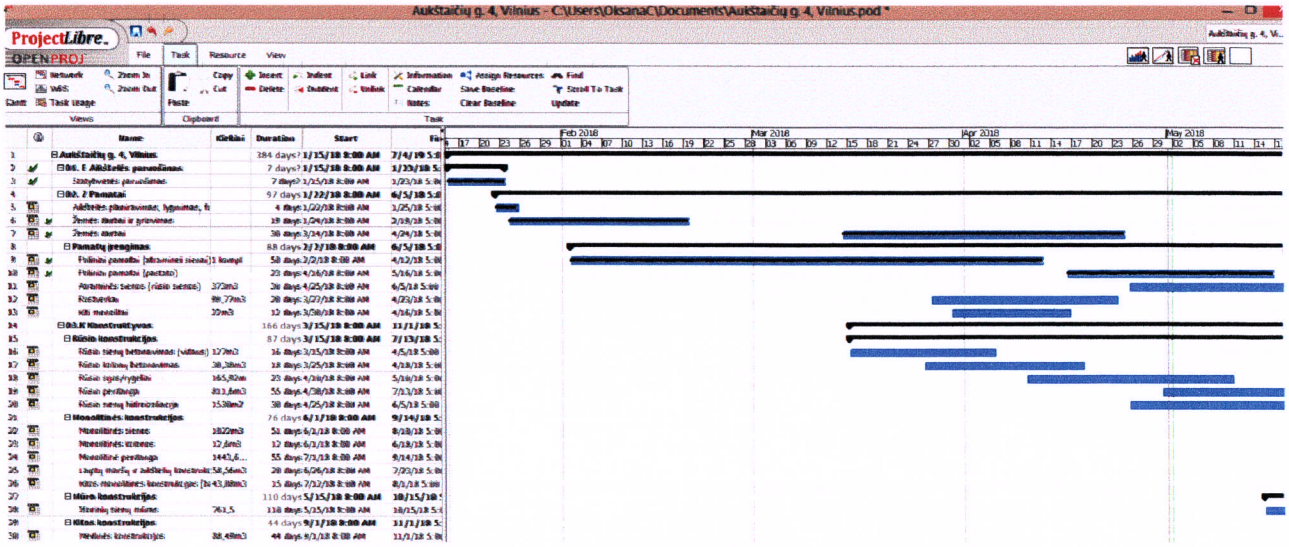
3.1.6. Darbų vykdymo planiniai ir faktiniai grafikai

Sudarius darbų vykdymo planinį grafiką (žr. 3.6 pav.) statybos eiga yra nuolat peržiūrima, kontroliuojama darbų eiga, biudžetas ir darbo trukmė. Projekto metu labai svarbu atlikti periodinį darbų atitikimo projektiniam grafikui patikrinimą, lyginant planinį grafiką su faktiniu. Toks faktinio (žr. 3.7 pav.) ir planinio grafiko palyginimas projekto metu leidžia laiku pastebėti trūkumus, galimus vėlavimus arba grafiko lenkimą, leidžia atkreipti dėmesį į kritinius darbus ir datas, laiku skirti papildomus išteklius atsiradusiems vėlavimams pašalinti.



3.6 pav. Planinio projekto grafiko fragmentas (parengta autorės)

Darbų pradžia 2018 m. sausio 15 d., pabaiga – 2019 liepos 4 d. Bendra darbų trukmė numatyta 384 darbo dienos.



3.7 pav. Faktinio projekto grafiko fragmentas (parengta autorės)

Faktinis nuo planuojamo grafiko skiriasi ir situacija pagal pasirinktą datą (2018.05.01) yra tokia:

- polinių pamatų įrengimo darbai gegužės 1-ą dieną įrengti 100 %, t. y. darbai atlikti anksčiau planinio grafiko;
- Žemės darbai baigti laiku;
- atraminių sienų įrengimas vėluojamas pradėti (pradžia numatyta 04.25);

- rostverkai (galvenos) ir kitos rūsio monolitinės kontrukcijos taip pat nepradėtos įrengti. Yra vėlavimas (numatyta rostverkų įrengimo darbų pradžia 03.27, kitų monolitinių konstrukcijų 03.30)

Projekto finansinė apžvalga yra pateikiama Projekto įgytosios vertės skyriuje. Šiame skyriuje skaičiavimais yra pagrindžiama projekto būsena tikrinimo metu, t. y.. 2018-05-01.

3.2. Projekto įgytosios vertės valdymas ir analizė

3.2.1. Projekto biudžetas

Projekto biudžetas yra 9 754 597,21Eur su PVM. Biudžetą sudarančios darbų grupės ir šių grupių kainos pateiktos Darbų skaidymo struktūros skyriuje (žr. 3.1.4.1 lent.). Rangos sutartis parengta maksimalios kainos principu, t. y. visų darbų kaina negali viršyti pasirašytų kainų, tačiau užsakovas gali dalyvauti renkant subrangovą, taip taupydamas projekto lėšas.

3.2.2. Projekto įgytosios vertės skaičiavimas

Pradiniai skaičiavimo duomenys yra šie:

Sąmatinis biudžetas *BAC*=9 754 597Eur;.

Įgytoji vertė *EV*=500 175Eur;

Faktinės išlaidos *AC*=520 258Eur.

Planinė vertė *PV*=581 383Eur.

Išlaidų skirtumas *CV* apskaičiuojamas pagal formulę (1) ir yra lygus:

$$CV=500\ 175 - 520\ 258= - 20\ 083\text{Eur};$$

Gautas rezultatas $CV<0$, todėl projektas viršija biudžetą.

Išlaidų efektyvumo rodiklis apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$CPI=500\ 175 / 520\ 258=0,961;$$

Kadangi *CPI* vertė <1, pagal esamą tendenciją, projekto išlaidos viršys biudžetą.

Grafiko skirtumus apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$SV=500\ 175 - 581\ 383= - 81\ 208;$$

SV vertė yra neigiama, šiuo metu projektas atsilieka nuo grafiko.

Toliau skaičiuojamas grafiko įvykdymo rodiklis *SPI* pagal (4) formulę:

$$SPI=500\ 175/581\ 383=0,86;$$

SPI vertė <1, pagal esamą tendenciją, projektas atsilieka nuo grafiko.

Išlaidų (*CV* %) ir grafiko (*SV* %) nuokrypiai skaičiuojami pagal (5) ir (6) formules.

$$CV\,\%= - 40\ 083 / 500\ 175= - 0,08= - 8\ \%;$$

CV % vertė yra <0, šiuo metu pagal *CV* % projektas viršija biudžetą.

$$SV\,\%= - 81\ 208 / 581\ 383= - 0,14= - 14\ \%;$$

SV % vertė yra <0, šiuo metu projektas atsilieka nuo grafiko.

Gautų rezultatų suvestinė pateikta 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Įgytosios vertės skaičiavimo vertės (parengta autorės)

CV	*SV*	*CPI*	*SPI*	*CV %*	*SV %*
-20 083	-81 208	0.961	0.860	-4 %	-14 %

Iš atliktų skaičiavimų matome, kad 2018 metų gegužės 1-ą dieną projektas viršija biudžetą 40 082Eur ir yra atsilikimai nuo grafiko. Išlaidų efektyvumo rodiklis yra 0.926, tai parodo, kad pagal esamą tendenciją projekto išlaidos viršys biudžetą apie 4 %. SPI rodiklis patvirtina, kad projektas atsilieka nuo grafiko, atsilikimas yra 14 % trukmės. *CV* % reikšmė parodo, kad pagal projekto vykdymo tendencijas projektas viršija biudžetą 8 % ir *SV* % reikšmė parodo, kad projektas atsilieka nuo grafiko 14 %.

Išanalizavus projekto planinius ir faktinius grafikus, atlikus skaičiavimus įgytosios vertės metodais galima daryti išvadas, kad, pagal esamas projekto vykdymo tendencijas, projekto biudžetas baigiantis projektui gali būti viršijamas 4 % ir galimi atsilikimai nuo plannio grafiko iki 14 % projekto vykdymo trukmės.

Tokias neigiamas tendencijas labai svarbu pastebėti projekto vykdymo pradžioje. Konkrečiu atveju turime pakankamai laiko, t. y. beveik 14 mėnesių, kad galėtume atsižvegti į susidariusias rizikas, kurios lėme susidariusią situaciją (vėlavimus ir planuojamą biudžeto viršijimą) ir jas išspręsti.

Kitame darbo skyriuje tam pačiam projektui bus taikomas BIM, t. y. projektas bus skaitmeninamas, siekiant parodyti galimas informacinio modeliavimo naudas, ir bus skaičiuojama projekto investicijų grąža (ROI) iš rangovo perspektyvos.

3.3. Investicijų pelningumo rodiklio (ROI) apskaičiavimas taikant BIM statybos rangos darbams

Atliekamas skaičiavimas pagal (10) formulę. Kadangi nagrinėjamas projektas yra nepabaigtas ir dar vykdomas, nėra galimybės nustatyti objekto klaidų skaičiaus. Todėl papildomai buvo išnagrinėta dvidešimt skirtingo sudėtingumo, paskirties ir apimties jau įvykdytų projektų, norint nustatyti projekto klaidų vidurkį. Analizei naudojami objekto vykdymo dokumentacijos rejestrai, kuriuose pateikta visa informacija apie dokumentacijos keitimus (žr. 3.3 lentelę).

3.3 lentelė. Projektinės dokumentacijos keitimas (parengta autorės)

Projektas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Reikšmių vidurkis
Projekto vertė, tūkst. Eur su PVM	13 200	8 600	6 200	3 400	5 100	900	6 700	2 950	700	1 100	3 250	2 500	1 830	5 360	4 520	1 580	680	750	3 600	1 200	3 706.00
Projekto klaidų skaičius, vnt	659	301	213	315	201	167	218	98	154	120	125	142	85	254	121	175	195	52	194	211	200.00
Klaidų kaina, tūkst. Eur su PVM	527	194	120	104	66	55	70	25	105	74	79	91	50	137	85	84	94	19	47	70	0.52
Klaidų ir projekto vertės santykis	0.05	0.04	0.03	0.09	0.04	0.19	0.03	0.03	0.22	0.11	0.04	0.06	0.05	0.05	0.03	0.11	0.29	0.07	0.05	0.18	0.09

Pagal gautus rezultatus matome, kad klaidų skaičius nėra proporcingas projekto vertei, todėl tikslinga naudoti nagrinėtų projektų klaidų vidurkį, t. y.. skaičiavimuose priimu, kad projekto klaidų skaičius yra 200 vnt. Vienos klaidos kaina yra 520 Eur su PVM. Skaičiavimams priimu prielaidą, kad pritaikius BIM iki darbų pradžios bus pastebėta 50 % projekto klaidų. Projekto BIM kaina priimu 0,5 % nuo projekto vertės (Giel, Issa 2011).

Investicijų pelningumas dėl projekto klaidų aptikimo yra:

$$ROI = \frac{200 * 520 * 50\,\% - 0{,}5\,\% * BAC}{0{,}5\,\% * BAC} = \frac{200 * 520 * 50\,\% - 0{,}5\,\% * 9\,754\,597}{0{,}5\,\% * 9\,754\,597} =$$

$$= 0{,}066 * 100\,\% = 6{,}6\,\%.$$

Statybos aikštelėje dirba trys statybos vadovai ir vienas projektų vadovas. Naudojama 12 vnt. buitinių vagonėlių, kurių vieno mėnesio nuomos kaina yra 120 Eur/mėn; statybvietėje yra 8 vnt. biotualetų, kurių nuomos kaina 36 Eur/mėn; aptvėrimų kaina 500 Eur/mėn; fizinė objekto apsauga 3 200 Eur/mėn; kitos objekto išlaidos – 700 Eur/mėn. Pateiktos išlaidos yra faktinės objekto išlaidos (duomenys pateikti iš įmonės buhalterinės apskaitos).

ROI dėl BIM metu išvengtų klaidų ir laiku atliktų darbų apskaičiuojamas pagal (11) formulę:

$$ROI = \frac{52\,000 + 2.5 * 11\,260 - 48\,773}{48\,773} = 0{,}64 * 100\,\% = 64\,\%.$$

Iš atliktų skaičiavimų matome, kad projektui pritaikius BIM (skaitmeninant projektą), projekto investicijų grąža yra 6,6 % ir 64 %. Norint tiksliai nustatyti projekto investicijų grąžą, manau tikslinga remtis ROI reikšme, kuri apskaičiuota tik dėl projekto klaidų aptikimo. Objekto darbų vėlavimui gali turėti įtakos ne tik projekto klaidos, bet ir darbus atliekančios įmonės kompetencija ir profesionalumas.

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Darbe nustatyta, kad informacija, gauta naudojant informacinį modeliavimą, yra labai svarbi siekiant efektyviai ir tiksliai suprojektuoti statybos dokumentus, planuoti statybos, apskaičiuoti sąnaudas ir prognozuoti eismo plėtrą. Be to, galima sakyti, kad BIM yra priemonė, skirta valdyti santykius tarp projekto statybos dalyvių.
2. Literatūros šaltiniuose apibrėžta, kad, priklausomai nuo taikomos skaičiavimo metodikos ir nagrinėjamos situacijos, projektų investicijų pelningumo rodiklis yra nuo 22 % iki 97 % (Lee *et al.* 2017) ir nuo 16 % iki 1 654 % (Giel, Issa 2011).
3. Pastebėta, kad pagal „McGraw-Hill Construction" kompanijos duomenis BIM technologijų efektyvumas nuolat vertinamas ir matuojamas pagal tris kriterijus: teigiamas ROI (26 – 100 %), vidutinis ROI (iki 25 %) ir neigiamas ROI (Skaitmeninė statyba 2017).
4. Atlikus programinių įrangų analizę gautas rezultats, kad geriausiai veikia tokio tipo programinės įrangos, kuriose duomenys saugomi IFC arba kitais informacijos keitimosi procesais. Nekeičiant modelio formato duomenų kiekis modelyje nesumažėja, todėl vyksta sklandūs informacijos mainai. Nepriklausomai nuo gautų rezultatų, BIM programinės įrangos paketai turi būti patobulinti, papildant juos nepakankamais įrankiais ar programų kodais.
5. Išanalizavus statybos organizavimo, priežiūros ir išpildomosios dokumentacijos ruošimo galimybes, nustatyta, kad fotogrametrinio metodo taikymas palengvina statybvietės analizės atlikimą, statybvietės technologinio projekto ruošimą. Šis įrankis patogus organizuojant darbą miesto senamiesčiuose, tankiai užstatytuose teritorijose arba pastato rekonstrukcijos metu. Realus modelis leidžia vizualiai įsivaizduoti būsimą sklypo užstatymą, pastato buvimo vietą sklype.
6. Taikant fotogrametrinį skenavimą yra optimizuojamas statybos procesas, vykdomas pstatybos proceso stebėjimas, operacijų valdymas, kontrolė ir išpildomosios dokumentacijos ruošimas per trumpesnį laiką. Statybos metu sudarytas modelis gali būti naudojamas pastatų ūkio priežiūroje.
7. Išanalizavus projekto planinius ir faktinius grafikus, atlikus skaičiavimus įgytosios vertės metodais galima daryti išvadas, kad, pagal esamas projekto vykdymo tendencijas, nagrinėjamo projekto biudžetas baigiantis projektui gali būti viršijamas 4 % ir galimi atsilikimai nuo plannio grafiko iki 14 % projekto vykdymo trukmės.
8. Atlikę skaičiavimus matome, kad projektui pritaikius BIM (skaitmeninant projektą), projekto investicijų grąža yra 6,6 % ir 64 %. Norint tiksliai nustatyti projekto investicijų grąžą, manau, tikslinga remtis ROI reikšme, kuri apskaičiuota tik dėl projekto klaidų

aptikimo. Objekto darbų vėlavimui gali turėti įtakos ne tik projekto klaidos, bet ir darbus atliekančios įmonės kompetencija ir profesionalumas.

9. Remiantis egzistuojančia investicijų pelningumo apskaičiavimo metodika, pasiūlytas ROI apskaičiavimo metodas rangovui (dėl klaidų ir vėlavimo įtakos).

LITERATŪRA

Amiri, R., Majrouhi Sardroud, J.,, García de Soto, B. (2017). BIM-based Applications of Metaheuristic Algorithms to Support the Decision-making Process: Uses in the Planning of Construction Site Layout. *Procedia Engineering*, *196*, 558-564.

Anbari, F. T. (2001). Applications and extensions to the earned value analysis method. In *Proceedings of the Project Management Institute 2001 Seminars, Symposium* (pp. 1-10).

Astour, H.,, Franz, V. (2014). BIM-and simulation-based site layout planning. In *Computing in Civil and Building Engineering (2014)* (pp. 291-298).

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and management in engineering*, *11*(3), 241-252.

Banaitienė, N.,, Banaitis, A. (2012). Statybos projektų valdymas. *Vilnius: Technika.*

Barlish, K.,, Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM—A case study approach. *Automation in construction*, *24*, 149-159.

BIM sukuriama vertė [interaktyvus]. 2017. *Skaitmeninė statyba* [Žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.skaitmeninestatyba.lt/>

Bryde, D., Broquetas, M.,, Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International journal of project management*, *31*(7), 971-980.

Černý, M., Tomanova, Š., Pospišilova, B., Vyhnalek, R., Jirat, M., Lubas, A.,, VANĚK, P. (2013). BIM příručka. *Prague: Czech BIM Council.*

Tomana, A. (2016). *BIM: innowacyjna technologia w budownictwie: podstawy, standardy, narzędzia*. PWB Media Zdziebłowski.

Chen, H. L., Chen, W. T.,, Lin, Y. L. (2016). Earned value project management: Improving the predictive power of planned value. *International Journal of Project Management*, *34*(1), 22-29.

Ding, L. Y., Zhou, Y., Luo, H. B.,, Wu, X. G. (2012). Using nD technology to develop an integrated construction management system for city rail transit construction. *Automation in Construction*, *21*, 64-73.

EUBIM Task Group. Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector [žiūrėta 2018-04-30]. Prieiga per internetą: < http://www.eubim.eu/>.

Giel, B. K.,, Issa, R. R. (2011). Return on investment analysis of using building information modeling in construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*, *27*(5), 511-521.

Guarino, N. (Ed.). (1998). *Formal ontology in information systems: Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy* (Vol. 46). IOS press.

GS1 identifikatoriai [interaktyvus]. 2017. *GS1 Lithuania* [Žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per internetą: < http://gs1lt.org/>

Harris, J. (2013). Integration of BIM and business strategy. Evanston: Northwestern University.

Heesom, D.,, Mahdjoubi, L. (2004). Trends of 4D CAD applications for construction planning. *Construction management and economics*, *22*(2), 171-182.

Klasifikatorius – terminas, be kurio BIM modelis negali apsieiti [interaktyvus]. 2015. *Darni statyba* [Žiūrėta 2018-04-27]. Prieiga per internetą: <http://www.darnistatyba.lt/>

Kršák, B., Sidor, C., Štrba, Ľ.,, Mitterpák, M. (2016). Usage of linked open data for the measurement of mining tourism POIs' impact on the competitiveness of a destination: Research notes part 1. *Acta Montanistica Slovaca*, *21*(2).

Lee, G., Park, H. K.,, Won, J. (2017). D3 City project—Economic impact of BIM-assisted design validation. *Automation in Construction*, *22*, 577-586.

Love, P. E., Simpson, I., Hill, A.,, Standing, C. (2013). From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners. *Automation in construction*, *35*, 208-216.

Mesaroš, F., Mesaroš, P.,, Selin, J. *Controlling nákladov na stavebné projekty. 2. doplnené vydanie. Košice: Výskumný ústav stavebnej informatiky, spol. s ro 2013*. ISBN 978-80-89383-26-9.

Mesároš, P., Mandičák, T., Mesárošová, A.,, Behún, M. (2016, November). Developing managerial and digital competencies trough BIM technologies in construction industry. In *Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2016 International Conference on* (pp. 217-222). IEEE.

Mesároš, P., Mačková, D., Spišáková, M., Mandičák, T.,, Behúnová, A. (2016, November). M-learning tool for modeling the building site parameters in mixed reality environment. In *Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2016 International Conference on* (pp. 211-216). IEEE.

Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V.,, Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation. *Procedia Engineering*, *57*, 767-774.

Narbaev, T.,, De Marco, A. (2014). An earned schedule-based regression model to improve cost estimate at completion. *International Journal of Project Management*, *32*(6), 1007-1018.

Radziszewska-Zielina, E.,, Rumin, R. (2016). Analysis of the Profitability of Investment in Renewable Energy Sources on the Example of A Semi-Detached House. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 10). EDP Sciences.

Statybos klasifikatorius [interaktyvus]. 2018. *Resta. Skaitmeninė statyba* [Žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.skaitmeninestatyba.lt/>

Statybos projektų etapai [interaktyvus]. 2017. *Skaitmeninė statyba* [Žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.skaitmeninestatyba.lt/>

Tarptautinė BIM kalba [interaktyvus]. 2017. *Resta. Skaitmeninė statyba* [Žiūrėta 2018-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.skaitmeninestatyba.lt/>

Tomana, A. (2016). *BIM: innowacyjna technologia w budownictwie: podstawy, standardy, narzędzia*. PWB Media Zdziebłowski.

Vakhrushkina, A. V., Mishakova, A. V.,, Borshcheva, K. D. (2017). Earned value management in project time control. *Magazine of Civil Engineering*, (3).

Won, J.,, Lee, G. (2016). How to tell if a BIM project is successful: A goal-driven approach. *Automation in Construction*, *69*, 34-43.

Талапов, В. (2017). *Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий*. Litres.