VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS VALDYMO IR NEKILNOJAMOJO TURTO KATEDRA

Eglė Mališauskaitė

STATYBOS ĮMONĖS PROCESŲ AUTOMATIZAVIMAS TAIKANT BIM TECHNOLOGIJAS
AUTOMATION OF THE PROCESSES OF THE CONSTRUCTION COMPANY BY USING BIM TECHNOLOGIES

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos ekonomikos ir verslo specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2020

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	**Statybos įmonės procesų automatizavimas taikant BIM technologijas**
Autorius	**Eglė Mališauskaitė**
Vadovas	**Artūras Kaklauskas**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjami statybos įmonių procesų automatizavimo, taikant BIM technologijas, privalumai ir trūkumai, BIM tendencijos ir praktiniai pavyzdžiai, užsienio šalies ir Lietuvos statybos įmonių patirtis šioje srityje. Išnagrinėti pagrindiniai BIM principai statybos sektoriuje ir remiantis užsienio autorių atliktais tyrimais, nustatyti privalumai bei trūkumai. Pateikta informacija apie pirmuosius Lietuvoje vykdytus projektus BIM aplinkoje, taikytą programinę įranga ir naudas. Analizuojamos BIM technologijų tendencijos ir praktiniai pavyzdžiai. Atliekama BIM taikymo praktikos statybos įmonėse apklausa Lietuvoje ir gauti rezultatai palyginami su užsienio šalyje atliktos analogiškos apklausos rezultatais. Išnagrinėjus teorinius ir praktinius BIM taikymo aspektus, pateikiamos baigiamojo darbo išvados.

Darbą sudaro 8 dalys: įvadas, bendrasis informacinis modeliavimas statybos sektoriuje, pirmoji BIM taikymo praktika Lietuvoje, BIM technologijų tendencijos pasaulyje, BIM technologijų apklausa, atlikta užsienyje, BIM technologijų apklausa, autoriaus atlikta Lietuvoje, išvados, literatūros ir kitų informacijos šaltinių sąrašas.

Darbo apimtis – 113 p. teksto be priedų, 92 iliustr., 7 lent., 65 bibliografiniai šaltiniai. Darbo apimtis – 113 p. teksto be priedų, 92 iliustr., 7 lent., 65 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: bendrasis informacinis modeliavimas, 3D modelis, dimensija, mazgų konfliktas, detalumo lygis, išvystymo lygis, daiktų internetas, debesies programos, papildytoji ir virtualioji realybės, 3D skenavimas lazeriu, taškų debesys, bepilotis orlaivis, dronas, 3D spausdinimas.

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 **Automation of the Processes of the Construction Company by Using BIM Technologies**

Author **Eglė Mališauskaitė**

Academic supervisor **Artūras Kaklauskas**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The final master's thesis examines the advantages and disadvantages of automation of construction companies' processes using BIM technologies, BIM trends and practical examples, the experience of foreign and Lithuanian construction companies in this field. The main principles of BIM in the construction sector are analyzed and the advantages and disadvantages are identified based on research conducted by foreign authors. Information is provided on the first projects implemented in Lithuania in the BIM environment, applied software and benefits. Trends and practical examples of BIM technologies are analyzed. A survey of BIM application practices in construction companies is conducted in Lithuania and the obtained results are compared with the results of a similar survey conducted in a foreign country. After analyzing the theoretical and practical aspects of BIM application, the conclusions of the final work are presented.

Structure: introduction, general information modeling in construction sector, first BIM application practice in Lithuania, BIM technology trends in the world, BIM technology survey conducted abroad, BIM technology survey conducted by the author in Lithuania, conclusions, list of literature and other information sources.

Thesis consists of: 113 p. text without appendixes, 92 pictures, 7 tables, 65 bibliographical entries.

Keywords: building information modelling, 3D model, dimension, clash conflict, level of detail, level of development, internet of things, cloud-based applications, augmented and virtual realities, 3D laser scanning, point clouds, unmanned aerial vehicle, drone, 3D printing.

TURINYS

ĮVADAS....12
1. PASTATO INFORMACINIS MODELIAVIMAS STATYBOS SEKTORIUJE....13
1.1. Pastato informacinio modeliavimo samprata....13
1.2. BIM privalumai ir trūkumai....14
1.3. BIM informacijos detalumo lygiai projektavimo ir statybos stadijose – LOD ir LOMD....16
1.4. Pastato informacinio modeliavimo dimensijos....21
1.5. Organizacijos ir pagrindiniai dokumentai, reglamentuojantys BIM Lietuvoje....24
1.6. Pagrindiniai dokumentai reglamentuojantys BIM užsienyje....29
2. PIRMOJI BIM TAIKYMO PRAKTIKA LIETUVOJE....32
2.1. Vilniaus savivaldybės pastato statyba 2002–2004 metais....32
2.2. Verslo centro „Victoria“ statyba 2004–2005 metais....33
2.3. PET plastiko žaliavos gamyklos Klaipėdoje statyba 2005–2006 metais....35
2.4. Biurų pastato Gedimino prospekte 35 statyba 2008–2012 metais....36
3. BIM TECHNOLOGIJŲ TENDENCIJOS PASAULYJE....38
3.1. Daiktų internetas (IoT) statybose....39
3.1.1. Daiktų interneto samprata....39
3.1.2. Kinijoje atliktas tyrimas, apimantis IoT, BIM ir surenkamąsias konstrukcijas....42
3.1.3. Debesies programos surenkamųjų konstrukcijų modeliavimui ir užsakymui....48
3.2. Papildytoji ir virtualioji realybės....51
3.2.1. Papildytoji realybė statybose....51
3.2.2. Virtualioji realybė statybose....65
3.3. Mobiliosios debesies programos....77
3.4. 3D skenavimas lazeriu ir dronai statybose....82
3.4.1. 3D skenavimas lazeriu....82
3.4.2. Dronai statybose....84
3.5. 3D spausdinimas statybose....87
4. BIM TECHNOLOGIJŲ APKLAUSA, ATLIKTA UŽSIENYJE....93
5. BIM TECHNOLOGIJŲ APKLAUSA, AUTORIAUS ATLIKTA LIETUVOJE....96
IŠVADOS....106
LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS....109

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. BIM gyvavimo ciklai (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2017b)....13
2 pav. „Tėjinės“ surenkamosios gelžbetoninės sijos išvystymo lygiai LOD (BIMForum, 2019) 19
3 pav. Statybos projektas LOMD 1 Brief (PAS 1192-2, 2013)....19
4 pav. Statybos projektas LOMD 2 Concept (PAS 1192-2, 2013) 20
5 pav. Statybos projektas LOMD 3 Definition (PAS 1192-2, 2013) 20
6 pav. Statybos projektas LOMD 4 Design (PAS 1192-2, 2013) 20
7 pav. Statybos projektas LOMD 5 Build and commission (PAS 1192, 2013) 21
8 pav. Statybos projektas LOMD 5 Handover and closeout (PAS 1192-2, 2013)....21
9 pav. Pastato informacinio modeliavimo dimensijos....22
10 pav. Nelaimingų atsitikimų prevencijos modeliavimo (PtD) schema (Kamardeen, 2010)....24
11 pav. Vilniaus savivaldybės reali nuotrauka ir BIM modelis pastato valdymui (Migilinskas et al., 2013)32
12 pav. Sąmatos skaičiavimas iš BIM modelio, taikant sukurtą SAS sistemą (Migilinskas et al., 2013)...34
13 pav. BIM modelis sujungtas su darbų vykdymo grafiku (Migilinskas et al., 2013) 34
14 pav. BIM modelis su technologine įranga (kairėje) ir baigtas fabrikas (dešinėje) (Migilinskas et al., 2013) 35
15 pav. Biurų pastato Gedimino per. 35 konstrukcijų BIM modelis (kairėje) ir architektūrinė vizualizacija (dešinėje) (Migilinskas et al., 2013)....36
16 pav. IoT sistemos pavyzdys (Gillis et al., 2017) 40
17 pav. Siūlomo metodo principas (Zhao et al., 2019)....43
18 pav. Konstrukcijos buvimo vietos identifikavimo schema trikampių metodu (Zhao et al., 2019) 44
19 pav. Vietos identifikavimo trikampių metodu koncepcija (Zhao et al., 2019)....45
20 pav. Duomenų perdavimo modulio architektūra (Zhao et al., 2019) 46
21 pav. Keturi BIM modelio sluoksniai debesies platformoje (Zhao et al., 2019) 46
22 pav. Tyrime naudoti įrenginiai (Zhao et al., 2019)....47
23 pav. „ABB Switch Range Configurator“ programos langas („MEPcontent“, 2020a) 48
24 pav. „Rexel Wholesaler Connector“ programos langas („MEPcontent“, 2020b) 49
25 pav. „Revit“ programoje naudoti produktai „Rexel“ lange („MEPcontent“, 2020b)....50
26 pav. AR be žymeklio pavyzdys (Kovics, 2017) 51
27 pav. AR, pagrįstos žymekliais, pavyzdys (Kovics, 2017)....52
28 pav. AR, pagrįstos projekcija, pavyzdys (Kovics, 2017) 52
29 pav. AR, pagrįstos superpozicija, pavyzdys (Kovics, 2017)....53
30 pav. HUD ekrano įrenginio pavyzdys (Anderson, 2018) 53
31 pav. AR kontaktinių lęšių pavyzdys (Yoon, 2016) 54
32 pav. Virtualaus tinklainės ekrano pavyzdys (Amanda, 2018)....54
33 pav. Keli programėlės „Morpholio Trace“ valdymo langai („Apple App Store“, 2020)....56
34 pav. 3D modelio hologramа per „Microsoft HoloLens 2“ akinius („Microsoft“, 2020a)....57
35 pav. „HoloLens 2“ dėvėjimas („Microsoft“, 2020a) 58
36 pav. Hologramos valdymas rankomis („Microsoft“, 2020a)....58

37 pav. „Trimble XR10“ šalmas, pritaikytas „HoloLens 2“ („Trimble“, 2020) 60
38 pav. „Trimble Connect“ programos naudojimas su „HoloLens 2“ („Microsoft“, 2020b) 61
39 pav. Modelio elementų rodymas realaus pasaulio tikslioje vietoje („Microsoft“, 2020b) 62
40 pav. Požeminių ir antžeminių inžinerinių tinklų vizualizacija „vGIS“ programa („Microsoft“, 2020c)64
41 pav. „The Holocrane“ simuliatorius su „Microsoft Hololens“ akiniais (Palladino, 2017).....64
42 pav. Medicinos centro projekto peržiūrai naudojama įranga „HTC VIVE“ (Angus et al, 2017). 66
43 pav. „Raymond“ virtualiosios realybės simuliatorius („Raymond Corporation“, 2020) 67
44 pav. „Tikrinti elementą“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020a) 67
45 pav. „Revit“ programa sumodeliuotų medžiagų rodymas („IrisVR“, 2020a).....68
46 pav. „Viewpoints“ funkcijos peržiūra „Revit“ („IrisVR“, 2020a) 68
47 pav. Susietų failų valdymas virtualiojoje realybėje („IrisVR“, 2020a).....69
48 pav. „Tikrinti elementą“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020b) 69
49 pav. Geometrijos perkėlimas iš „Navisworks“ į „IrisVR Prospect“ („IrisVR“, 2020b) 70
50 pav. „Viewpoints“ funkcijos peržiūra „Navisworks“ („IrisVR“, 2020b).....70
51 pav. „Viewpoints“ funkcijos peržiūra „Rhino“ („IrisVR“, 2020c) 71
52 pav. Medžiagų importavimas iš „Rhino“ („IrisVR“, 2020c).....71
53 pav. „Sun Settings“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020c).....72
54 pav. Sluoksnių funkcijos peržiūra „Rhino“ („IrisVR“, 2020c) 72
55 pav. Medžiagų importavimas iš „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d) 73
56 pav. Scenų importavimas iš „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d).....73
57 pav. „Sun Settings“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020d).....74
58 pav. Sluoksnių funkcijos peržiūra „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d).....74
59 pav. 2D komponentų importavimas iš „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d) 75
60 pav. „Trimble Connect“ duomenų valdymas („Trimble Connect“, 2020).....77
61 pav. 3D modelių valdymas „Trimble Connect“ programoje („Trimble Connect“, 2020) 78
62 pav. „Trimble Connect“ projekto komandos kūrimas, valdymas („Trimble Connect“, 2020) 78
63 pav. Klaidų nustatymas ir taisymas realiu metu „Trimble Connect“ („Trimble Connect“, 2020).....79
64 pav. „BIM 360“ duomenų/dokumentų valdymas („Autodesk BIM 360“, 2020).....80
65 pav. „BIM 360 Design“ 3D modelių valdymas („Autodesk BIM 360“, 2020).....80
66 pav. Susidūrimo taškų nustatymas „BIM 360 Coordinate“ („Autodesk BIM 360“, 2020).....81
67 pav. Užduočių paskyrimas ir kontrolė „BIM 360 Build“ („Autodesk BIM 360“, 2020).....81
68 pav. 3D skenavimo lazeriu taškų debesys („Vectorworks“, 2020) 82
69 pav. Į „AutoCAD“ integruota „CloudWorx“ ir taškų debesys („Leica Geosystems AG“, 2020).....83
70 pav. „Trimble Business Center“ CAD darbo rezultatai kairėje, drono duomenys dešinėje („GeoNovus“, 2020a).....86
71 pav. „DFAB House“ 3D spausdintuose klojiniuose lietos betono lubos („DFAB House“, 2019).....90
72 pav. Pirmasis 3D spausdintas namas Ostine, Teksaso valstijoje („ICON“, 2018).....91
73 pav. „Vulcan“ 3D spausdintuvo priežiūra, naudojant planšetinį kompiuterį („ICON“, 2018) 91
74 pav. 3D spausdintas 26,3 m ilgio ir 3,6 m pločio tiltas Šanchajuje („archdaily“, 2019).....92

75 pav. Respondentų BIM įgūdžių ir žinių vertinimas (a) ir BIM taikymo patirtis (b) (Elyamany, 2016) 94

76 pav. Respondentų BIM įgūdžių ir žinių vertinimas (a) ir BIM taikymo patirtis (b) 97

77 pav. Respondentai apie BIM šiuo metu girdi vis daugiau (a) ir mano, kad BIM yra projekto informacijos ateitis (b) 97

78 pav. Respondentams reikia iš gamintojų BIM objektų bibliotekų (a), vyriausybė supranta BIM reikšmę ir priima teisingus sprendimus (b).....98

79 pav. Respondentams reikia BIM tvarių pastatų projektavimui (a), BIM modeliai veikia tik toje programoje, kurioje yra suprojektuoti (b).....98

80 pav. Respondentai sutinka, kad BIM naudojamas valstybiniuose projektuose (a) ir mano, kad vis dar nėra pakankamai aišku, kas yra BIM statybos pramonėje (b) 99

81 pav. Respondentai sutinka, kad BIM – tai bendradarbiavimas realiu laiku (a) ir nesutinka, kad BIM yra tik programinė įranga (b) 99

82 pav. Respondentai nesutinka, kad BIM skirta tik naujai statybai (a) ir nesutinka, kad BIM nepalengvina projektavimo ar statybos metodų keitimo (b).....100

83 pav. Respondentai nesutinka, kad BIM rezultatas – silpni pastatai (a) ir nesutinka, kad BIM yra tik 3D projektavimo sinonimas (b) 100

84 pav. Aukščiausias įmonėje taikytas BIM lygis projektui 101

85 pav. Dažniausiai naudojami projektavimo įrankiai 101

86 pav. BIM įdiegimo ir taikymo kliūtys 102

87 pav. BIM taikymo įmonėje privalumai.....102

88 pav. Respondentai žino, kam daiktų internetas gali būti naudojamas statybose / projektavime (a), ir yra naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure (b).....103

89 pav. Respondentai yra naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius statybvietėje (a), ir yra matę, kaip Užsakovas, subrangovai ar partneriai naudojo papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure / statybvietėje (b) 103

90 pav. Respondentai yra naudoję mobiliąsias debesies programas BIM projektų valdymui (a) ir dronus – statybos progresui ir darbų saugai stebėti (b).....104

91 pav. Respondentai yra naudoję 3D skenavimą lazeriu statybvietėje (a) ir 3D spausdinimą bet kokiam statinio elementui / detalei spausdinti (b) 104

92 pav. BIM technologijos, kurios turėtų daugiausia grįžtamosios grąžos įmonėse.....105

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. SKST ICS turinys (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2020) 27
2 lentelė. Pagrindinės „Microsoft HoloLens 2“ techninės specifikacijos („Microsoft“, 2020a).....59
3 lentelė. Su programa „IrisVR prospect“ suderinami VR išmanieji įrenginiai („IrisVR, 2020e).....75
4 lentelė. Lazerinių skaitytuvų savybių ir kainų palyginimas („Leica Geosystems AG“, 2020), („Artec3D“, 2020).....84
5 lentelė. Lietuvoje statyboms siūlomi dronai su programine įranga („GeoNovus“, 2020b) 86
6 lentelė. Egipte atliktos apklausos klausimai (Elyamany, 2016) 93
7 lentelė. Autoriaus klausimai, parengti apklausai Lietuvoje.....96

ĮVADAS

Magistro baigiamojo darbo tema – statybos įmonės procesų automatizavimas taikant BIM (angl. *Building information modelling*, liet. *Pastato informacinis modeliavimas*) technologijas. Sparčiai populiarėjant 3D projektavimui bei remiantis gerąja kitų šalių BIM taikymo praktika, statybos sektoriaus įmonių procesų automatizavimas tampa vienu svarbiausiu efektyvaus darbo uždaviniu. Prieš pradedant diegti bet kokią naują sistemą įmonėje, svarbu įvertinti, kokios technologijos šiuo metu daugiausia taikomos Lietuvoje ir užsienyje. Todėl pagrindinis šio darbo tikslas – nustatyti BIM tendencijas pasaulyje ir atlikus statybos įmonių Lietuvoje apklausą, įvertinti esamą BIM taikymo praktiką.

Tikslui pasiekti keliami šie uždaviniai:

Atlikti BIM privalumų ir trūkumų, įdiegtų standartų ir veikiančių skaitmeninimo organizacijų Lietuvoje analizę;

Išanalizuoti pirmąją BIM taikymo praktiką Lietuvoje ir pasiektus rezultatus;

Atlikti BIM tendencijų pasaulyje analizę;

Išanalizuoti atliktos apklausos užsienyje apie BIM praktiką rezultatus;

Nustatyti esamą BIM taikymo praktikos situaciją Lietuvos statybos įmonėse.

Darbą sudaro šios struktūrinės dalys:

Pastato informacinis modeliavimas statybos sektoriuje;

Pirmoji BIM taikymo praktika Lietuvoje;

BIM technologijų tendencijos pasaulyje;

BIM technologijų apklausa, atlikta užsienyje;

BIM technologijų apklausa, autoriaus atlikta Lietuvoje.

Darbui atlikti taikomi tyrimo metodai:

Informacijos šaltinių analizė;

Statistinių duomenų analizė – užsienyje atliktos apklausos apie BIM taikymo praktiką;

Virtualios statybos įmonių Lietuvoje apklausos parengimas ir atlikimas, gautų rezultatų grafikų sudarymas.

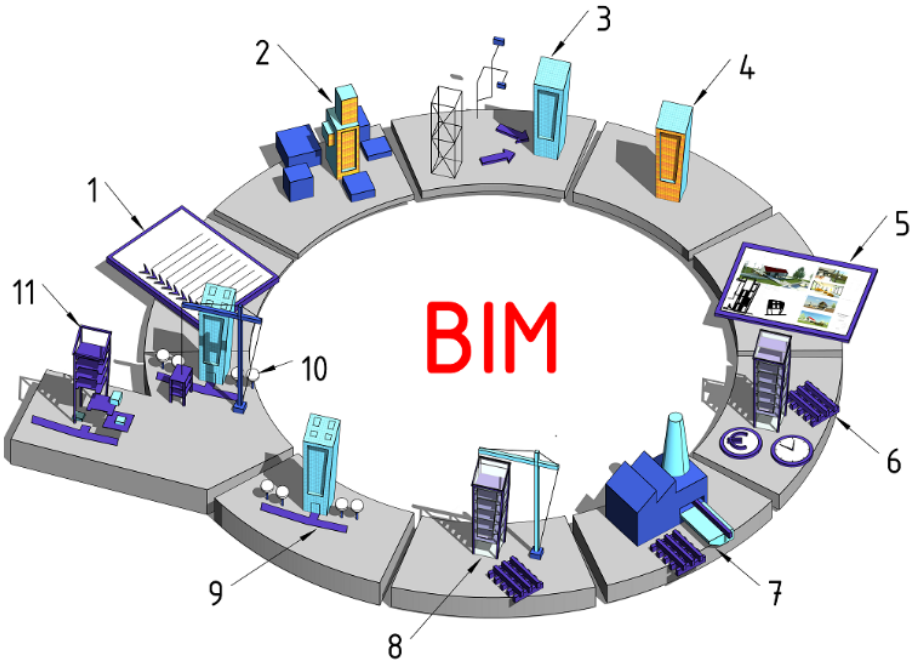
1. PASTATO INFORMACINIS MODELIAVIMAS STATYBOS SEKTORIUJE

1.1. Pastato informacinio modeliavimo samprata

Akronimas BIM (angl. *Building information modelling*, liet. *Pastato informacinis modeliavimas*) apibūdina įvairius dalykus ir neturi vienos pasaulyje paplitusios reikšmės. Pavyzdžiui, įmonės „TAEM architektai“ BIM apibūdinimas – tai skaitmeninių elementų duomenų bazė, kurioje yra suvesta detali projekto informacija bei pats objekto modelis. BIM duomenų bazė tiksliai atvaizduoja fizines, funkcines ir informatyvias projekto charakteristikas bendroje trimatėje (3D) aplinkoje. Šis sprendimas leidžia visiems projekto dalyviams efektyviai ir veiksmingai tikrinti, derinti, peržiūrėti ir perduoti visą projekto informaciją į vieną statinio informacinį modelį, tuo pačiu sumažindamas dokumentacijos bei atliekamų darbų kiekį (UAB „TAEM architektai“, 2013).

VšĮ „Skaitmeninės statybos“ terminų žodyne pateikiamas toks paaiškinimas: BIM – tai pastato informacinio modelio kūrimo ir valdymo procesas per visą jo gyvavimo laikotarpį. Dažniausiai vykdomas naudojant į objektus orientuotą modeliavimo programinę įrangą, taip siekiant padidinti pastato projektavimo ir statybos efektyvumą. Proceso metu gaunamas pastato informacinis modelis su visa pastato geometrijos, erdvinių ryšių ir mazgų atvaizdavimo, pastato elementų kiekių ir savybių informacija (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2017a).

Informacinis statinio modelis sujungia visas statinio projektines dalis ir jo gyvavimo ciklus, nuo projektinės užduoties formavimo iki pat statinio nugriovimo (žr. 1 pav.).



1 pav. BIM gyvavimo ciklai (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2017b)

Čia:

1. Projektinės užduoties formavimas;
2. Koncepcijos modeliavimas;

3. Projektavimas – architektūra, konstruktyvas, inžinerinė dalis ir t.t.;
4. Analizė – konstrukcijų skaičiavimas, energetinis efektyvumas ir t.t.;
5. Dokumentacija – brėžinių ir kitų dokumentų rengimas;
6. Planavimas – sąmatų, laiko grafikų sudarymas;
7. Gamyba;
8. Statyba ir logistika;
9. Eksploatavimas;
10. Rekonstrukcija;
11. Griovimas.

Remiantis tuo, kad BIM apima visus pastato gyvavimo ciklus, kiekviename konkrečiame cikle yra įvairių sričių specialistų, tačiau išskiriami tokie pagrindiniai BIM proceso dalyviai:

- Nekilnojamojo turto vystytojai – atsakingi už nekilnojamojo turto vystymą ir jo priežiūrą;
- Projekto vadovas arba BIM vadovas – atsakingas už sklandų projekto įgyvendinimą atsižvelgiant į kainą, laiką ir kokybę;
- Projektuotojai – atsakingi už projekto dokumentacijos rengimą: architektai, konstruktoriai ir įvairių sričių inžinieriai;
- Rangovai – atsakingi už projekto rangos dalį (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2017b).

BIM sistema padeda visiems projekto dalyviams efektyviai bendradarbiauti: tikrinti, derinti, koreguoti, peržiūrėti ir perduoti visą projekto informaciją į vieną statinio modelį, taip sumažindama dokumentacijos bei atliekamų darbų kiekį.

1.2. BIM privalumai ir trūkumai

BIM panaudojimo galimybės yra labai plačios ir apima ne tik projektavimo, statybos, remonto bet ir pastato valdymo, priežiūros ciklus. Pastato informacinio modelio taikymas praktikoje padeda įvertinti BIM privalumus ir trūkumus.

BIM naudojimas suteikia daug privalumų statybos sektoriui įvairiais aspektais. Stanfordo universiteto kompleksinės inžinerijos centro (angl. *Center for Integrated Facility Engineering*) mokslininkai, išanalizavę 32 projektus, pateikė rezultatus, kad naudojant BIM metodiką:

- buvo išvengta 40 % nenumatytų biudžeto pokyčių;
- sąmatinių skaičiavimų tikslumas padidėjo nuo 3 % iki 80 %;
- buvo sutaupyta 10 % projekto vertės, naudojant mazgų konflikto būdą (angl. *clash detection*);
- 7 % sutrumpintas projekto laikas.

Pastato informacinis modeliavimas yra išsamus, informatyvus, jis gali būti pritaikomas skirtingų sričių atstovų. Pagrindinis skirtumas tarp BIM ir 2D, yra tas, jog 2D – tai planai, pjūviai ir fasadai braižomi atskirai. Šių vaizdų redagavimas reikalauja, kad visi kiti brėžiniai būtų patikrinti ir atnaujinti, nes atsiranda klaidų tikimybė. Be to, duomenys 2D brėžiniuose yra grafiniai objektai: linijos, arkos,

apskritimai. BIM modelyje grafiniai objektai apibūdinami kaip erdvės, sienos, sijos, kolonos ir yra kaupiamos tiek fizinės, tiek funkcinės charakteristikos, gyvavimo ciklo informacija (CRC Construction Innovation, 2007).

Pagrindiniai BIM privalumai (CRC Construction Innovation, 2007):

- tikslus pastato dalių geometrinis vaizdavimas integruotoje duomenų aplinkoje;
- greitesni ir efektyvesni procesai – informacija lengviau dalijamasi, jai galimas reikšmingumo priskyrimas, ji gali būti papildoma ir pakartotinai panaudota;
- geresnis projektavimas – statybos projektiniai pasiūlymai gali būti kruopščiai išanalizuojami, modeliavimas ir veiklos rezultatų palyginimas gali būti atliktas greitai, įgalinant patobulintus ir novatoriškus sprendimus;
- kontroliuojamos viso pastato gyvavimo ciklo išlaidos ir aplinkos duomenys – aplinkosauginis veiksmingumas yra labiau nuspėjamas, aiškios išlaidos;
- geresnė produkcijos kokybė – dokumentų išvestis yra lanksti;
- automatizuotas duomenų surinkimas – skaitmeninių produktų duomenys gali būti naudojami vėlesniuose procesuose ir gamyboje;
- geresnis klientų aptarnavimas – pasiūlymai suprantami tikslia vizualizacija;
- pastato gyvavimo ciklo duomenys – pastatų ūkio valdymui gali būti naudojami reikalavimai, projektas, statybos ir eksploatavimo informacija;
- planavimo ir įgyvendinimo procesų integracija – vyriausybė, pramonė ir gamintojai turi bendrą duomenų protokolą;
- efektyvesnė ir konkurencingesnė pramonė.

Chienas, Wu ir Huangas (Chien, Wu & Huang, 2014) savo straipsnyje teigia, kad keturiose atvejo analizėse, kuriose buvo tiriamas BIM metodas, pastebėti šie metodo privalumai:

- geresnė inžinerinės vizualizacijos kokybė;
- sumažėjęs klaidų skaičius brėžiniuose;
- didesnis darbuotojų efektyvumas;
- lengvi tiekimo užsakymų pakeitimai;
- laiko grafiko pakeitimai;
- sutaupomi kaštai.

Chi, Wango ir Jiao (Chi, Wang & Jiao, 2015) teigimu, vienas didžiausių BIM privalumų – lengvesnis klaidų aptikimas ir šalinimas. Kitas svarbus aspektas – platesnės bendravimo ir bendradarbiavimo galimybės tarp atskirų projekto komandos narių, visų projekto dalyvių, ypač projektuotojų. Pastato informacinio modelio duomenų bazės skaitmeninė produkcija gali būti laisvai prieinama internetu ir pasidalinta naudojantis debesijos (angl. *cloud*) technologijomis.

Tinkamai naudojantis, BIM gali suteikti daug naudos projektui. BIM vertė, matoma gerai suplanuotuose projektuose (Messner, Anumba, Dubler, Goodman, Kasprzak, Kreider, Leicht, Saluja & Zikic, 2019):

- padidėjusi projektavimo kokybė, taikant efektyvius analizės ciklus;
- geresnis išankstinis paruošimas dėl nuspėjamų tolimesnių statybos sąlygų;
- pagerintas statybų aikštelės valdymas, efektyvumas vizualizuojant statybos darbų grafiką;
- inovacijos naudojant skaitmeninio projektavimo programas ir kt.

Baigus statybos etapą pastato valdytojas gali gauti vertingą informaciją turto valdymui, erdvės ir techninės priežiūros planavimui, taip pagerinant objekto efektyvumą. Tačiau projektuose, kuriuose komanda efektyviai neplanuodavo BIM diegimo ir taikymo, susidurta su tokiais trūkumais: padidėjusios projektavimo paslaugų išlaidos, darbų įvykdymo vėlavimai dėl trūkstamos informacijos ir mažai arba visai jokios pridėtinės vertės. Todėl, Messnerio ir jo kolegų (Messner et al., 2019) teigimu, norint įgyvendinti BIM efektyviai, reikalingas projekto komandos narių profesionalumas, mokymai, darbų planavimas ir glaudus bendradarbiavimas su kitais projekto dalyviais, dalinimasis informacija. Taip pat būtinas BIM diegimo efektyvumo vertinimas, tinkamų panaudojimo sričių nustatymas, pridėtinės vertės skaičiavimas, tinkamas BIM detalumo lygio pasirinkimas.

Remiantis „McGraw Hill Construction“ (2014) pateiktais duomenimis, pagrindiniai BIM diegimo ir taikymo privalumai įvairių dydžių statybos įmonėse:

- sumažintas klaidų skaičius ir praleisti, nesuprojektuoti elementai;
- sumažintas projekto taisymo poreikis;
- galimybė rangovams efektyviai bendradarbiauti su Užsakovais/projektuotojais;
- pagerintas įmonės įvaizdis;
- sumažinta statybos kaina;
- lengvesnė kainų kontrolė/nuspėjamumas;
- sutrumpinama objekto statybos trukmė.

Užsienio autoriai vieningai teigia, kad didžiausi BIM privalumai – tai dalijimasis informacija su visais projekto dalyviais, klaidų skaičiaus sumažinimas, lengvesnis projekto valdymas sujungiant darbų vykdymo grafiką su 3D modeliu, statybos kainos ir trukmės sumažinimas. Tačiau norint, kad investicijos į BIM taikymas atsipirktų, reikia efektyviai planuoti specialistų darbą, rengti atitinkamus mokymus, įvertinti reikalingą BIM detalumo lygį kiekvienam statomam objektui ar diegiant įrangą įmonėje.

1.3. BIM informacijos detalumo lygiai projektavimo ir statybos stadijose – LOD ir LOMD

BIM srityje naudojama daug akronimų projekto detalumui apibūdinti: LOD (angl. *Level of Development,* liet. *Išvystymo lygis*), LOI (angl. *Level of Information,* liet. *Informacijos lygis*), LOMD (angl. *Level of Model Definition,* liet. *Modelio apibūdinimo lygis*), LOIN (angl. *Level of Information*

Need, liet. *Reikiamos informacijos lygis).* Visi šie akronimai apibūdina, kaip detaliai ir kokioje stadijoje turi būti rengiamas projektas. Palyginimui pateikiu LOD ir LOMD lygių apibūdinimus.

LOD kartais interpretuojamas kaip detalumo (angl. *Level of Detail*), o ne išvystymo lygis. Tačiau turėtų būti vertinamas kaip išvystymo. Detalumo lygis – kiek detalių yra įtraukta į modelio elementą. Išvystymo lygis – laipsnis, iki kurio elemento geometrija ir pridedama informacija buvo apgalvota – kiek projekto komandos nariai gali pasikliauti informacija naudojant modelį. Detalumo lygis gali būti laikomas įvestimi į elementą, o išvystymo lygis patikima išvestine informacija. LOD apibrėžimus (žr. eilės Nr. 1-6) pirmą kartą suformulavo Amerikos architektų institutas (angl. *The American Institute of Architects*). LOD skirstomi į 6 lygius (BIMForum, 2017):

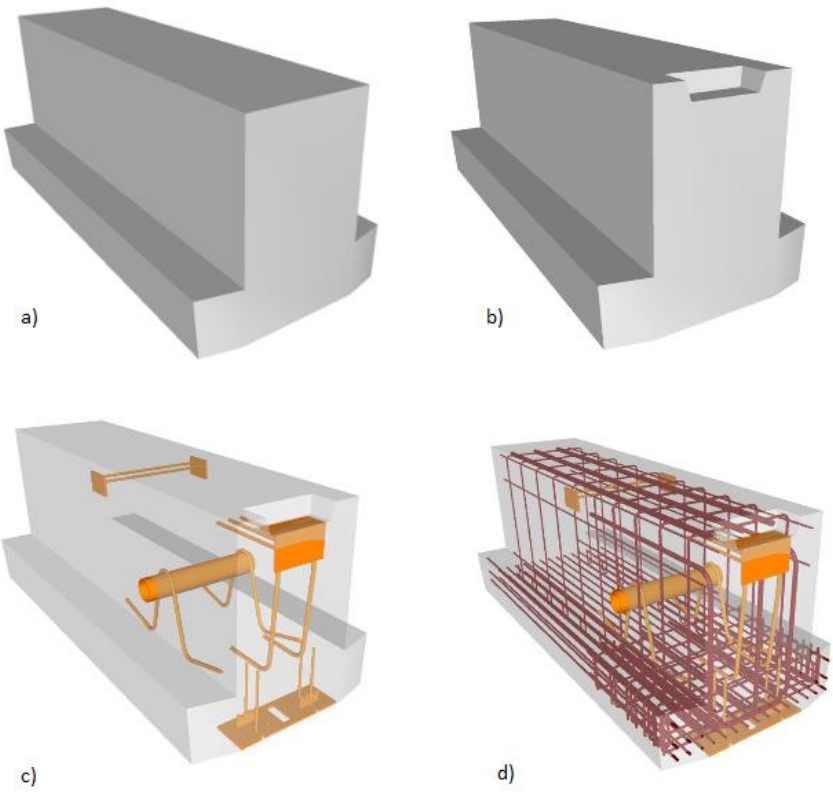
1. LOD 100 – modelio elementas gali būti grafiškai pavaizduotas modelyje simboliu ar kitu bendruoju vaizdavimu, tačiau jis neatitinka LOD 200 keliamų reikalavimų. Informacija, susijusi su modelio elementu, gali būti gauta iš kitų modelio elementų;
    a. „BIMForum“ interpretacija: LOD 100 elementai nėra geometriniai vaizdai. Pavyzdžiai yra informacija, pridedama prie kitų modelio elementų ar simbolių, rodančių komponentą, bet ne jo formą, dydį ar tikslią vietą. Bet kokia informacija, gauta iš LOD 100 elementų, turi būti laikoma apytiksle.
2. LOD 200 – modelio elementas grafiškai pavaizduotas modelyje kaip bendroji sistema, objektas ar agregatas su apytiksliais kiekiais, dydžiu, forma, vieta ir orientacija. Ne grafinė informacija taip pat gali būti pridedama prie modelio elemento;
    a. „BIMForum“ interpretacija: šiame LOD elementai atpažįstami kaip komponentai, kuriuos jie vaizduoja. Bet kokia informacija, gauta iš LOD 200 elementų, turi būti laikoma apytiksle.
3. LOD 300 – modelio elementas grafiškai pavaizduotas modelyje kaip konkreti sistema, objektas ar agregatas pagal kiekį, dydį, formą, vietą ir orientaciją. Ne grafinė informacija taip pat gali būti pridedama prie modelio elemento;
    a. „BIMForum“ interpretacija: Suprojektuoto elemento kiekį, dydį, formą, vietą ir orientaciją galima matuoti tiesiogiai modelyje, nesiremiant modeliuojama informacija, tokia kaip užrašai ar matmenų funkcijos naudojimas. Elementas tiksliai nurodytas projekto atžvilgiu.
4. LOD 350 – modelio elementas grafiškai pavaizduotas modelyje kaip konkreti sistema, objektas ar agregatas pagal kiekį, dydį, formą, vietą, orientaciją ir sąsajas su kitomis pastato sistemomis. Ne grafinė informacija taip pat gali būti pridedama prie modelio elemento;
    a. „BIMForum“ interpretacija. Sukurtos dalys, reikalingos elemento suderinimui su šalia esančiais ar pritvirtintais elementais. Šios dalys – tai tokie elementai kaip atramos ir jungtys. Suprojektuoto elemento kiekį, dydį, formą, vietą ir orientaciją galima matuoti

tiesiogiai modelyje, nesiremiant modeliuojama informacija, tokia kaip užrašai ar matmenų funkcijos naudojimas.

5. LOD 400 – modelio elementas yra grafiškai pavaizduotas modelyje kaip konkreti sistema, objektas ar agregatas pagal dydį, formą, vietą, kiekį ir orientaciją. Nurodoma išsami pagaminimo, surinkimo ir montavimo informaciją. Ne grafinė informacija taip pat gali būti pridedama prie modelio elemento;
    a. „BIMForum“ interpretacija. LOD 400 elementas modeliuojamas pakankamai detaliai ir tiksliai, kad būtų galima pagaminti vaizduojamą komponentą. Suprojektuoto elemento kiekį, dydį, formą, vietą ir orientaciją galima matuoti tiesiogiai modelyje, nesiremiant modeliuojama informacija, tokia kaip užrašai ar matmenų funkcijos naudojimas.
6. LOD 500 – modelio elemento vaizdas yra realus pagal dydį, formą, vietą, kiekį ir orientaciją. Ne grafinė informacija taip pat gali būti pridedama prie modelio elementų;
    a. „BIMForum“ interpretacija. Kadangi LOD 500 yra susijęs su realiu tikrinimu (kaip pastatyta) ir nėra progreso į aukštesnį modelio elementų geometrijos ar ne grafinės informacijos požymį, ši specifikacija jo neapibrėžia ir neiliustruoja.

Remiantis „BIMForum“ (BIMForum, 2019) pateikiama informacija, surenkamąją gelžbetoninę „tėjinio“ skerspjūvio siją pagal LOD galima apibūdinti taip (žr. 2 pav.):

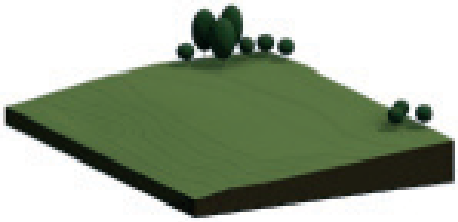
a) LOD 200 – konstrukcinės betoninės sistemos tipas; apytikslė elemento geometrija (pvz., ilgis, plotis);
b) LOD 300 – konkretūs pagrindinių betoninių konstrukcijų elementų dydžiai ir vietos, teisinga orientacija; vaizduojami visi elemento paviršiai pagal pasirinktą konstrukcijos gamintoją;
c) LOD 350 – armatūros stiprinimo profiliuočių vietos; paviršių išpjovos; konstrukcijų sujungimo ir sustiprinimo jungtys (betonuojamos vietos tarp surenkamų konstrukcijų) taip leidžiant sudaryti darbų vykdymo grafiką etapais; kėlimo mechanizmai; deformacinės siūlės; įdėtinės detalės ir tvirtinimo inkarai; angos inžinerinių tinklų pravedimui; bet kokie liekamieji įrengimo ar tvirtinimo elementai;
d) LOD 400 – detalizuoti ir sumodeliuoti visi tvirtinimo, armatūros elementai; apdailiniai paviršiai.



2 pav. „Tėjinės“ surenkamosios gelžbetoninės sijos išvystymo lygiai LOD (BIMForum, 2019)

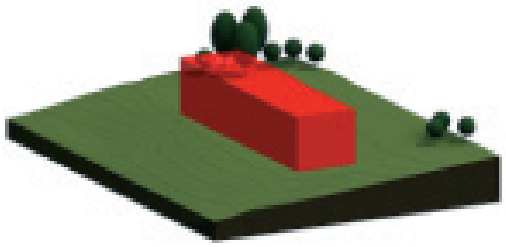
Jungtinėje Anglijos Karalystėje, pagal PAS 1192-2:2013 standartą, kuriame aprašyta, kaip turi būti valdoma BIM informacija projekto rengimo ir vykdymo metu, išskiriami tokie 7 detalumo lygiai LOMD:

1. LOMD 1 Brief (liet. *trumpa informacija*) – paprastai apima tik dokumentus, tokius kaip projekto aprašymas ir apimtis (žr. 3 pav.);



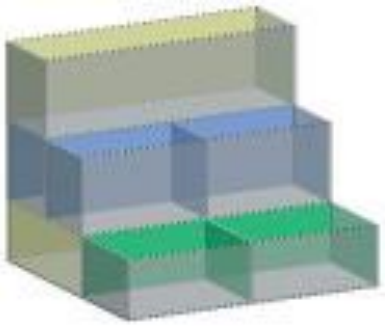
3 pav. Statybos projektas LOMD 1 Brief (PAS 1192-2, 2013)

2. LOMD 2 Concept (liet. *koncepcija*) – modelis, kuris perteikia tik minimalią statinio koncepciją ir pagrindinius reikalavimus, paskirtį. Informacija gali būti naudojama tik ankstyvam projekto vystymui, analizei ir koordinavimui, modelio turinys gali būti tobulinamas. Pakankamai informacijos paskaičiuoti kvadratinio metro, kubo kainas. Parengiamas vektorinis pastato brėžinys arba rodomi pagrindiniai paviršiai, tūriai (žr. 4 pav.);



4 pav. Statybos projektas LOMD 2 Concept (PAS 1192-2, 2013)

3. LOMD 3 Definition (liet. *apibrėžimas*) – suderintas ir teisingų matmenų modelis, perteikiantis norimą estetinį vaizdą, paskirtį ir reikalavimus, kurie gali būti naudojami analizei, projekto tolimesniam vystymui ir ankstyvam rangovo įsitraukimui, taip pat siekiamai pirmojo etapo kainai nustatyti. Apibūdinami visi projekto elementai, dydžiai, pateikiamos specifikacijos, vaizduojamos įvairios pastato sistemos (žr. 5 pav.);



5 pav. Statybos projektas LOMD 3 Definition (PAS 1192-2, 2013)

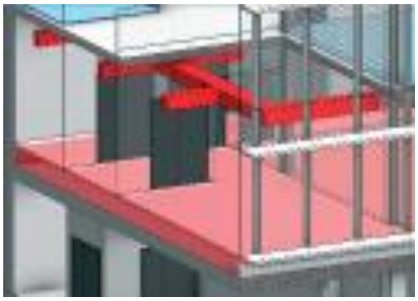
4. LOMD 4 Design (liet. *dizainas/projektas*) – suderintas ir teisingų matmenų modelis, kurį galima naudoti norint patikrinti, ar laikomasi visų norminių reikalavimų. Modelis gali būti naudojamas, kaip atspirties taškas, įtraukiant specializuotų rangovų inžinerines sistemas – modelius. Pateikiama kritinė, esminė projekto dalių sąsajų informacija, kuri gali būti naudojama konstrukcijų gamybai, statybos koordinavimui ir eiliškumui, rengiamo darbo brėžiniai. Taip pat susitariama dėl siekiamos / garantuotos maksimalios kainos (žr. 6 pav.);



6 pav. Statybos projektas LOMD 4 Design (PAS 1192-2, 2013)

5. LOMD 5 Build and commission (liet. *statyti ir įgalioti*) – tikslus pastato modelis prieš statybą ir jos metu, įtraukiant specializuotų darbų (inžinerinių tinklų) projektų modelius ir susijusius

modelio atributus. Parenkamos tikslios sistemos ir elementai, pagal parengtas technines specifikacijas, reikalavimus. Detalizuojami, papildomi brėžiniai ir įrengimo instrukcijos. Modelis gali būti naudojamas statybos darbų sekai nustatyti ir fiksuotai „taip pastatyta“ informacijai surinkti (žr. 7 pav.);



7 pav. Statybos projektas LOMD 5 Build and commission (PAS 1192, 2013)

6. LOMD 6 Handover and closeout (liet. *perdavimas ir galutinis pridavimas*) – Užsakovui perduodama tiksli pastato „taip pastatyta“ dokumentacija, eksploatacijos ir priežiūros deklaracijos ir kita susijusi informacija (žr. 8 pav.);



8 pav. Statybos projektas LOMD 5 Handover and closeout (PAS 1192-2, 2013)

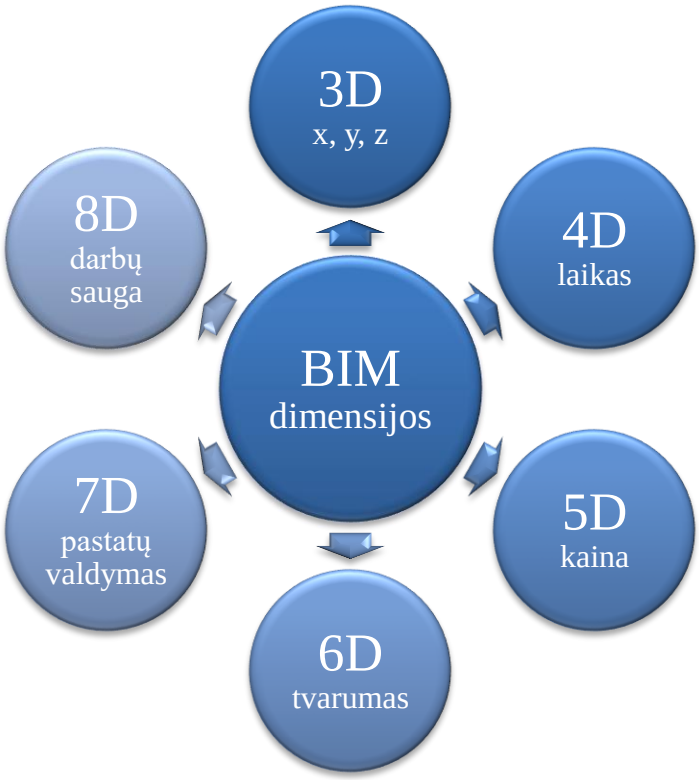
7. LOMD 7 Operation (liet. *Eksploatacija / valdymas*) – atnaujinta pastato informacija, apimanti visus svarbiausius pakeitimus, padarytus po perdavimo, įskaitant duomenis apie eksploatacines savybes ir būklę bei visą informaciją, reikalingą eksploatacijai ir techninei priežiūrai. Plačiau pastato informacijos valdymas eksploatacijos etapu aprašytas standarte PAS 1192-3.

Palyginus LOD ir LOMD detalumo lygius, matomas skirtumas yra tai, kad LOD tiksliai apibūdina kiekvieno pastato elemento reikiamos informacijos kiekį, detalumą, o LOMD apibūdina bendrai viso statybos projekto detalumą, pradedant idėja, baigiant pastatyto ir pradėto eksploatuoti pastato valdymu. Galima teigti, kad LOMD atitinka LOD+LOI sąjungą.

1.4. Pastato informacinio modeliavimo dimensijos

BIM modelis gali būti naudojamas iš anksto apibrėžtiems konkretiems tikslams. Atsižvelgiant į projekto etapo reikalavimus ir projekto sudėtingumą, specifiniai parametrai pridedami prie jau modelyje esamos informacijos. Šie papildymai, skirti iš anksto apibrėžtiems naudojimo tikslams, gali būti vadinami BIM dimensijomis.

Dimensijos pagerina su modeliu susijusius duomenis, kad būtų galima geriau suprasti statybų projektą. Šiuo metu, BIM technologija iš pagrindinių 3D ir 4D dimensijų pereina į sudėtingesnes 5D, 6D, 7D ir 8D dimensijas (žr. 9 pav.).



9 pav. Pastato informacinio modeliavimo dimensijos

3D vaizduoja tris geografinius pastato struktūros matmenis: x, y, z. Geografinės galimybės padeda suinteresuotosioms šalims vizualizuoti pastato struktūrą trimis dimensijomis dar prieš pradedant vykdyti projektą. 3D BIM suteikia galimybę visoms suinteresuotosioms šalims veiksmingai bendradarbiauti modeliuojant ir sprendžiant tipines struktūrines problemas – skirtingų pastato sistemų (architektūros, konstrukcijų, inžinerinių tinklų) suderinamumą. Visų dalių informacija, kaupiama viename 3D modelyje, sudaro galimybę visiems projekto dalyviams matyti ir atlikti pakeitimus realiu metu ir kartu spręsti susidarančias problemas („United BIM“, 2020).

4D yra susijęs su statybvietės planavimu pridedant naują elementą – laiką. Darbų vykdymo planavimas padeda nustatyti, kiek laiko reikės projekto užbaigimui ir kaip projektas vystysis laikui bėgant. Sudarytas grafikas parodo informaciją apie įrenginių montavimą, atskirų darbų, statybos etapų įvykdymą, įvairių komponentų montavimo seką kartu su kita planavimo informacija. 3D modelis dažniausiai „laiko“ funkcija papildomas taikant grafikų sudarymo programas, tokias kaip „Microsoft Project“ („United BIM“, 2020).

5D BIM yra naudingas ir naudojamas tais atvejais, kai nuo projekto pradžios reikalinga biudžeto analizė ir išlaidų įvertinimas. Išlaidos yra vienas svarbiausių su projektu susijusių elementų. 5D BIM leidžia projekto rengėjams ir Užsakovui analizuoti išlaidas, kurios bus patirtos laikui bėgant vykdant

projektą. 5D modelyje visų elementų, sistemų, įrangos kiekiai suskaičiuojami automatizuotai, realiu laiku matomi kainų pasikeitimai, galima paprastesnė biudžeto analizė buvusių numatytų išlaidų ir faktinių („United BIM“, 2020).

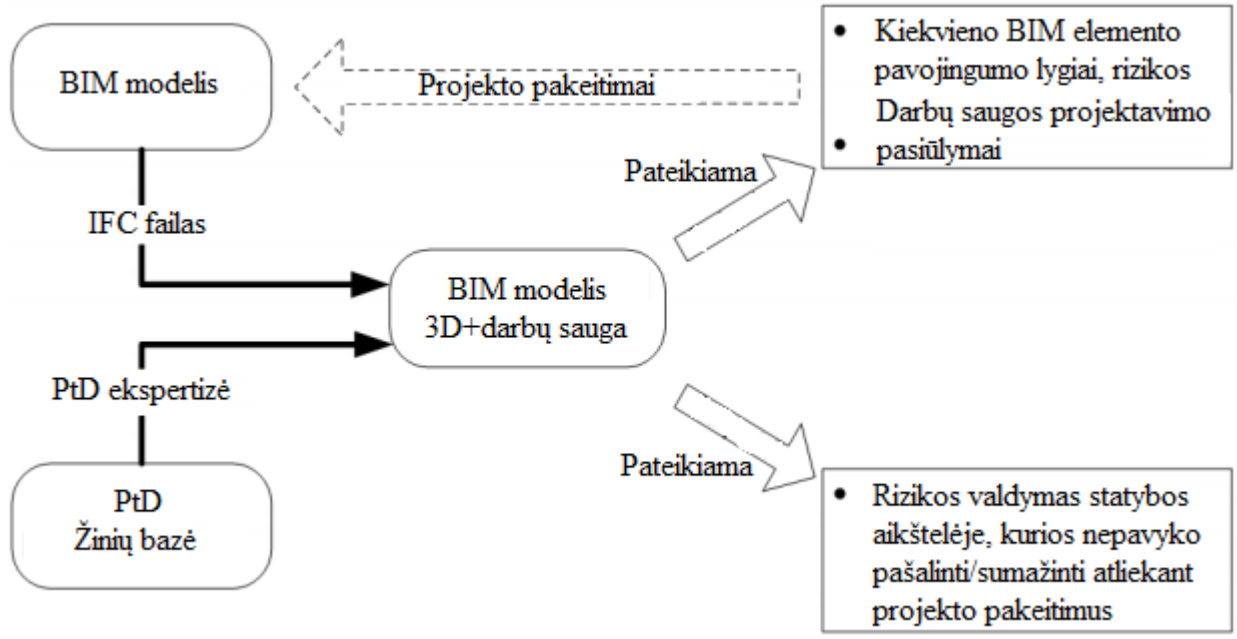
6D pastato informacinis modeliavimas padeda išanalizuoti pastato naudojamą energiją ir dar pradinėse projektavimo stadijose nustatyti būsimas energijos išlaidas-sąmatas. Apskaičiuojant įvairius statinio gyvavimo etapus, 6D BIM užtikrina tikslų energijos suvartojimo poreikių numatymą. Tai padeda susidaryti vaizdą apie visas turto sąnaudas ir tai, kaip pinigai turėtų būti išleidžiami tvarumui ir ekonomiškumui pasiekti. Tai iš esmės apima informaciją apie komponentų gamintojus ir įrengimo datas, techninės priežiūros grafiką, išsamią konfigūracijos informaciją, kad būtų užtikrintas geriausias našumas, energijos poreikis ir informacija apie eksploatacijos nutraukimą („United BIM“, 2020).

7D BIM yra susijusi su pastatų valdytojų ir savininkų vykdomomis operacijomis ir pastatų valdymu. Ši dimensija naudojama talpinti svarbius turto duomenis, priežiūros / eksploatavimo instrukcijas, garantinę informaciją, techninės specifikacijas ir kt. 7D BIM yra unikalus tuo, kad viskas, kas susiję su pastato valdymo procesais, yra pateikiama vienoje vietoje – pastato informaciniame modelyje. Tai padeda gerinti paslaugų teikimo kokybę per visą projekto gyvavimo ciklą. Naudojant 7D BIM užtikrinama, kad viskas (konstrukcijos, įrenginiai ir pan.) projekte liktų geriausios būklės nuo pirmosios dienos iki statinio griovimo dienos („United BIM“, 2020).

8D pastato informacinis modeliavimas projektavimo etape padeda pasirengti nelaimingų atsitikimų prevencijai vykdant darbus *(*angl. *Accident Prevention through Design,* sutr. *PtD)*. Pagrindinis PtD proceso bruožas yra žinių, apie statybos aikštelės saugumo reikalavimus, įvedimas priimant projektavimo sprendimus. Žinių tipai, būtini norint sėkmingai įgyvendinti PtD (Kamardeen, 2010):

- Projektuojamų elementų montavimo metodai ir rizika, su kuria darbuotojai susiduria vykdant įrengimo darbus – kiekvieno elemento pavojingumo lygiai;
- Saugaus dizaino pasiūlymai keičiant projektą arba įtraukiant reikalingas saugos priemones į projektą – projekto ekspertizė;
- Statybos aikštelės saugumo matavimai, norint pašalinti arba sumažinti pavojaus rizikas, kurių nepavyko pašalinti projektavimo stadijoje – rizikos kontrolė.

PtD modeliavimo koncepcinė schema pateikta 10 paveiksle. Pirmasis PtD žingsnis yra BIM modelio elementų pavojingų pjūvių nustatymas ir aprašymas, kuris atliekamas integruojant šių elementų IFC failą ir PtD ekspertizę PtD žinių bazėje. Antrame etape atpažįstami labai pavojingi elementai ir pateikiami darbų saugos projektavimo pasiūlymai, projektas peržiūrimas. Patikrinus projekto saugumą, pateikiamas antras pasiūlymų rinkinys, kaip statybos aikštelėje kontroliuoti riziką, kuri gali kilti dėl pavojaus, kurio nebuvo galima pašalinti ar sumažinti atliekant projekto pakeitimus.



10 pav. Nelaimingų atsitikimų prevencijos modeliavimo (PtD) schema (Kamardeen, 2010)

1.5. Organizacijos ir pagrindiniai dokumentai, reglamentuojantys BIM Lietuvoje

Lietuvoje pastato informacinio modeliavimo naudojimo apibrėžimas ir jo naudojimas pradėti įstatymiškai reglamentuoti nuo 2015 metų, remiantis užsienio šalių standartais. Norint pateikti prašymą statybos leidimui, projektinius pasiūlymus ir kitus dokumentus, naudojama Lietuvos Respublikos statybos leidimų ir statybos valstybinės priežiūros informacinė sistema „Infostatyba“ (STR 1.04.04, 2016).

Standartai, reglamentuojantys BIM, galiojantys Lietuvoje (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2020):

1. LST ISO/TS 12911:2015. Statinio informacinio modeliavimo nurodymų struktūra (originalo žymuo: ISO/TS 12911:2012):

Šis standartas nustato struktūrą, skirtą pateikti informaciją apie pastatų informacinio modeliavimo (BIM) paleidimą. Standarto techninė specifikacija taikoma bet kokiam pastatų ir su pastatais susijusių įrenginių modeliavimo diapazonui, bet kokio tipo turtui, įskaitant daugumą infrastruktūros ir viešųjų darbų, įrangą ir medžiagas. BIM procesai yra taikomi per visą turto, objekto ar komponento gyvavimo ciklą. Pagrindinis sistemos vartotojas yra informacijos valdytojas, kuris naudojasi sistema struktūrizuodamas tarptautinio, nacionalinio projekto ar objekto lygio BIM rekomendacinį dokumentą. Ši sistema taip pat gali būti naudojama BIM gairėms (LST ISO/TS 12911, 2015);

2. LST EN ISO 29481-1:2017. Statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas. 1 dalis. Metodika ir formatas (originalo žymuo: EN ISO 29481-1:2017):

Šioje dalyje nustatoma metodika, pagal kurią statant objektus vykdomi verslo procesai susiejami su tiems procesams reikalingos informacijos specifikacija, ir būdas atvaizduoti ir aprašyti informacijos procesus per statinio gyvavimo ciklą. Šios dalies tikslas – padėti užtikrinti programinės įrangos, įskaitant veiksmų programos rengimą, projektavimą, dokumentacijos išleidimą, statybą, eksploatavimą ir techninę

priežiūrą bei griovimą, sąveikumą. Šia metodika skatinamas statybos procesų dalyvių bendradarbiavimas ir ji yra keitimosi tikslia, patikima, pakartotina ir kokybiška informacija pagrindas (LST EN ISO 29481-1, 2017);

3. LST EN ISO 29481-2:2017. Statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas. 2 dalis. Sąveikos struktūra (originalo žymuo: EN ISO 29481-2:2016):

Šioje dalyje nurodoma, kokia metodika ir formatas taikomi aprašant statinio statybų projekto dalyvių atliekamus koordinavimo veiksmus visuose gyvavimo ciklo etapuose. Šioje dalyje nurodoma – kaip tinkamai sužymėti pareigas ir sąveiką, informacijos srautams suteikiant procesinį kontekstą, – formatą, kuriuo reikia pateikti sąveikos struktūrą. Šios dalies tikslas – padėti užtikrinti statybų procese naudojamų kompiuterinių programų funkcinį suderinamumą, skatinti statinio statybos proceso dalyvių bendradarbiavimą ir sukurti pagrindą tiksliai, patikimai, pakartotinai ir kokybiškai informacijos kaitai (LST EN ISO 29481-2, 2017);

4. LST EN ISO 19650-1:2019. Informacijos apie pastatus ir inžinerinius statinius rengimas ir skaitmeninimas, įskaitant statinio informacinį modeliavimą (BIM). Informacijos valdymas taikant statinio informacinį modeliavimą. 1 dalis. Sąvokos ir principai (originalo žymuo: EN ISO 19650-1:2018):

Šiame dokumente pateikiami brandos stadijos informacijos valdymo koncepcijos ir principai. Taip pat pateikiamos rekomendacijos dėl informacijos valdymo struktūros, įskaitant mainus, įrašymą, versijų tvarkymą ir organizavimą visiems dalyviams. Šis dokumentas gali būti taikomas visą bet kokio statomo turto gyvavimo ciklą, įskaitant strateginį planavimą, koncepcinį projektavimą, inžinerinį skaičiavimą, projekto vystymą, dokumentavimą ir statybą, turto valdymą, priežiūrą, atnaujinimą, remontą ir eksploatavimo pabaigą (LST EN ISO 19650-1, 2019);

5. LST EN ISO 19650-2:2019. Informacijos apie pastatus ir inžinerinius statinius rengimas ir skaitmeninimas, įskaitant statinio informacinį modeliavimą (BIM). Informacijos valdymas taikant statinio informacinį modeliavimą. 2 dalis. Turto sukūrimo etapas (originalus žymuo: EN ISO 19650-2:2018):

Šiame dokumente nurodyti įgyvendinant statinio informacinį modeliavimą taikomi reikalavimai informacijos valdymui, pateikti kaip valdymo procesas turto sukūrimo etapo ir jo informacijos mainų kontekste. Šį dokumentą galima taikyti visų tipų turtui ir visų tipų bei dydžių organizacijose (LST EN ISO 19650-2, 2019).

Siekiant įtvirtinti skaitmeninio modelio naudojimą, nuo 2014 m. Lietuvoje pradėjo veikti viešoji įstaiga „Skaitmeninė statyba“, kuri yra Lietuvos atstovė tarptautinio „buildingSMART“ aljanso šiaurės Europos šalių skyriuje „buildingSMART Nordic“. 2015 m. VšĮ „Skaitmeninė statyba“ į šią organizaciją priimta stebėtojos teisėmis, nuo 2018 m. – pilnateisės narės statusu. Pagrindinis „Skaitmeninė statyba“

steigėjų komandos tikslas – Lietuvos statybos skaitmenizavimo proceso koordinavimas. Taip pat organizacija rūpinasi (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2020):

- Statinio informacinio modeliavimo (BIM) naudojimo projektuose standartizavimu bei jo naudojimo potencialo didinimo sprendimų paieška ir diegimu;
- „IFC Open BIM“ (atvirojo statinio informacinio modeliavimo standarto) naudojimo skatinimu, reglamentavimu;
- Nacionalinio statybos klasifikatoriaus kūrimu, diegimu bei plėtojimu;
- Sektoriaus poreikio formavimu;
- Pirkimų reikalavimų kūrimu;
- Švietimu ir kitais renginiais;
- Gerųjų praktikų paieška.

„Skaitmeninė statyba“ parengti ir internetiniame puslapyje teikiami dokumentai yra skirti: projektavimo ir statybos dokumentacijos rengimui, pirkimo procedūroms, sutarčių sudarymui, projektavimo ir statybos darbų vykdymui.

Dokumentai, kuriuos registruoti nariai gali įsigyti nemokamai arba už tam tikrą kainą (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2020):

- 1 Priedas. Statytojo (Užsakovo) reikalavimai informacijai statinio informacinio modelio (BIM) rengimui (angl. *Employer Information Requirements,* sutr. *EIR*) – tai dokumentas, apibūdinantis Statytojo (Užsakovo) keliamus reikalavimus statinio gyvavimo ciklui (planavimui, projektavimui, statybai ir naudojimui), taikant statinio informacinį modeliavimą, atsižvelgiant į galiojančius LR teisės aktų reikalavimus, Statytojo (Užsakovo) poreikius bei statinio specifiką;
- BIM įgyvendinimo planas (angl. *BIM Execution Plan,* sutr. *BEP)* – tai dokumentas-šablonas, skirtas privatiems ir valstybės užsakovams, projektuotojams ir statybininkams parengti bendrą projekto komandos ir užsakovo informacijos reikalavimų įgyvendinimo planą konkretiems BIM projektams. Dokumentas paruoštas įvertinus įvairių pasaulio šalių BIM įgyvendinimo plano šablonų gerąją rengimo praktiką. Dokumentas universalus, todėl gali būti pritaikytas visų tipų statinių BEP rengimui;
- BIM koordinatorius. Kompetencijų aprašas – BIM koordinatoriaus veiklos ir kompetencijų reikalavimų aprašymas. Dokumentas skirtas naudoti asmens kompetencijų vertinimo ir pripažinimo procesuose;
- BIM modelio sistemų ir elementų detalumo lygiai – projekto komanda kiekvieno projekto apimtyje kiekvienai stadijai, įvertinant planuojamų kurti BIM taikymo būdų apimtis turi pasirinkti modeliuojamų elementų detalumo lygių priskyrimo metodiką (žr. 1.3. poskyrių);

- BIM specialistas. Kompetencijų aprašas – BIM specialisto veiklos ir kompetencijų reikalavimų aprašymas. Dokumentas skirtas naudoti asmens kompetencijų vertinimo ir pripažinimo procesuose;
- BIM taikymo patirties deklaravimo forma – tai pagalba perkančiajai organizacijai įvertinti dalyvavimo BIM projektuose patirtį;
- BIM terminų žodyno santrauka;
- BIM vadovas. Kompetencijų aprašas – BIM vadovo veiklos ir kompetencijų reikalavimų aprašymas. Dokumentas skirtas naudoti asmens kompetencijų vertinimo ir pripažinimo procesuose;
- Integruota klasifikavimo sistema (SKST ICS) – tai debesų kompiuterijos programinė įranga, skirta BIM klasifikavimui bei naujų individualių organizacijos klasifikatorių sudarymui. Naudojantis papildomais programinės įrangos plėtiniais, skirtais „Autodesk Navisworks“, „Revit“, „AutoCAD“, „Tekla“, „ArchiCAD“, „AECOsim“ ir kt., bei sistemoje pateikiamais arba organizacijos susikurtais individualiais klasifikatorių rinkiniais galima klasifikuoti statinius, statybines konstrukcijas, inžinerinius tinklus, jų elementus ir medžiagas BIM projektuose (žr. 1 lentelę);

1 lentelė. SKST ICS turinys (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2020)

SKST ICS turinys	**Klasifikatorių žinynas**	**Integruota klasifikavimo sistema**
Klasifikatorių rinkiniai VšĮ „Skaitmeninė statyba“ kuruojami bei kiti pasaulio standartiniai klasifikatoriai	+	+
ISCED 2011	+	+
ISCO-08	+	+
ISO/IEC 81346	+	+
OMNICLASS	+	+
UNICLASS 2015	+	+
Klasifikatorių struktūros peržiūra	+	+
Klasifikatorių palyginimas	+	+
Klasių kodų paieška	+	+
Mobili aplikacija	nuo 2019 m.	nuo 2019 m.
Vartotojų prieigų skaičius	1 vnt.	neribotas
Individualių klasifikatorių kūrimas (pvz., procesų, darbų, išteklių ir kt.)	-	+
Programinės įrangos plėtiniai elementų klasifikavimui	-	+
„Autodesk Navisworks“	-	+
„Autodesk Revit“	-	nuo 2019 m.
„Autodesk AutoCAD“	-	nuo 2019 m.
„ArchiCAD“	-	nuo 2019 m.
„Tekla“	-	nuo 2019 m.
„AECOsim“	-	nuo 2019 m.

- Pagrindinių procesų žemėlapiai – pateiktose procesų schemose pavaizduoti sudarymo principų pavyzdžiai yra pagalba BIM gido naudotojui apibrėžti ir sudaryti duomenų mainus savo projekte. Schemose pateikti sustambinti procesai;
- Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai.

Be teikiamų dokumentų, „Skaitmeninė statyba“ organizacija rengia BIM kvalifikacijos tobulinimo mokymus (VšĮ „Skaitmeninė statyba“, 2020):

- BIM I mokymų tikslas – supažindinti su statybos proceso skaitmenizavimo ir statinio informacinio modeliavimo terminais, jų apibrėžimais ir taikymo ypatumais; pristatyti, išaiškinti ir padėti suprasti BIM statybų procese tikslus, uždavinius, privalumus, esminius reikalavimus ir veikimo principus, taikymui reikalingus išteklius (įskaitant reikalingas žinias, įgūdžius ir kompetencijas, IT programas ir priemones ir kt.); suteikti žinių ir išugdyti specialiuosius gebėjimus, reikalingus: peržiūrėti, redaguoti, spausdinti, dalintis ar kitaip valdyti vaizdinius ir grafinius skaitmeninius duomenis naudojant BIM; supažindinti su IT įrankiais bei priemonėmis, skirtomis statinio statybos techninių, technologinių, ekonominių, laiko ir kitų rodiklių planavimui, įgyvendinimui ir kontrolei, suformuoti specialiuosius jų taikymo įgūdžius.;
- BIM II mokymų tikslas - suteikti žinias apie BIM sąvokas, jo vystymąsi bei brandą, dimensijas, sferas, statybos projekto etapus, modelio rezultatus, BIM modelio panaudojimo atvejus, integruoto statybos projekto principus;
- BIM III mokymų tikslas - suteikti žinias apie BIM objektus ir modelius, informacinio modelio išvystymo lygius LOD (žr. 1.3. poskyrių), klasifikatorius, BIM integraciją, duomenų mainus ir duomenų mainų formatus, BIM projekto duomenų valdymo aplinką, standartus ir reikalavimus bei projekto dalyvių atsakomybes, projekto vystymo proceso planavimą.

Kita organizacija, kurios nare yra Lietuva (Lietuvos atstovė – „Skaitmeninė statyba“), tai „buildingSMART Nordic“ – ne pelno siekianti organizacija, kurios misija – prisidėti prie tvarios statybos, skatinant dalytis informacija ir tobulinti komunikaciją. Įrankis tam pasiekti – atvirieji tarptautiniai standartai, vadinami „openBIM“, skirti statybų sektoriui.

„openBIM“ leidžia skaitmenines darbo eigas, paremtas neutraliais (nepriklausomais nuo pardavėjo, naudojamos programinės įrangos tiekėjo) formatais, tokiais kaip IFC, BCF, „COBie“, „CityGML“, „gbXML“ ir kt., taip įgalindama prieinamą skaitmeninį dvynį, kuris suteikia pagrindą ilgalaikei pastatyto turto duomenų strategijai. Tai suteikia geresnį projektų tvarumą ir efektyvesnį sukurtos aplinkos valdymą.

„openBIM“ principai („buildingSMART. International“, 2020):

- Sąveika yra pagrindas skaitmeninei transformacijai statybų turto pramonėje;
- Siekiant palengvinti sąveiką, turi būti kuriami atviri ir neutralūs standartai;

- Patikimas keitimasis duomenimis priklauso nuo nešališkų kokybės etalonų;
- Bendradarbiavimo eiga neturėtų būti ribojama patentuotų procesų ar duomenų formatų;
- Technologijos pasirinkimo lankstumas sukuria daugiau naudos visoms suinteresuotosioms šalims;
- Tvarumą garantuoja ilgalaikiai tarpusavyje sąveikaujantys duomenų standartai.

Bendrai „buildingSMART. International“ vykdomos programos skatina kurti ir aktyviai naudoti tarptautiniu mastu pripažintus standartus, programas, mokymo ir sertifikavimo procedūras. Tai padeda paskatinti, kad savininkai, operatoriai, architektūros, inžinerijos, statybos ir eksploatavimo bei pastatų valdymo pramonės įmonės labiau imtųsi pastatų informacinio modeliavimo (BIM) statybos ir infrastruktūros sektoriuose.

Peržiūrėjus Lietuvos organizacijas ir dokumentus, reglamentuojančius BIM taikymą šalyje, matoma, kad standartų vis dar yra nepakankamai, nėra aiškiai apibrėžta kiekviena statinio gyvavimo ciklo stadija (nuo idėjos iki nugriovimo) ir neapibrėžtos atsakomybės ribos skirtingoms suinteresuotosioms šalims. Tačiau, kai „Skaitmeninė statyba“ buvo priimta į aljansą „buildingSMART“, BIM dokumentų Lietuvoje diegimas pagreitėjo – šiuo metu yra priimti 5 standartai.

1.6. Pagrindiniai dokumentai reglamentuojantys BIM užsienyje

Remiantis Succar ir Kassem 2017 metais atlikta BIM taikymo šalyse makro analize, kurioje dalyvavo 21 šalis, nustatyta, kad Jungtinė Karalystė yra viena lyderių, vertinant BIM brandos komponentus, tokius, kaip: mokymasis ir išsilavinimas, norminė bazė, standartizuotos dalys ir produktai, vertingos publikacijos, technologijų infrastruktūra ir kt. Todėl užsienio BIM dokumentų apžvalgai šiam darbui pasirinkta, išvystytą normatyvinę bazę turinti Jungtinė Karalystė.

Pagrindiniai BIM reglamentuojantys dokumentai Jungtinėje Karalystėje (British Standards Institution, 2020):

1. BS EN ISO 19650-1: 2018. „Informacijos apie pastatus ir civilinės inžinerijos darbus organizavimas ir skaitmeninimas, įskaitant pastatų informacinį modeliavimą (BIM). Informacijos valdymas naudojant pastatų informacinį modeliavimą. Sąvokos ir principai.“ Standarte pateikiamos rekomendacijos, kaip valdyti informaciją, įskaitant mainus, įrašymą, versijų kūrimą ir organizavimą visiems dalyviams. Tai taikoma visam pastatyto turto gyvavimo ciklui, įskaitant strateginį planavimą, pradinį projektavimą, projektavimą, plėtrą, dokumentaciją ir statybą, eksploataciją, techninę priežiūrą, atnaujinimą, remontą ir eksploatavimo pabaigą. Šio standarto taikymas padės pašalinti kliūtis, trukdančias bendradarbiauti ir vykdyti tarptautinius konkursus, ir padidins galimybes. Turto ir projekto informacijos modelių kūrimas ir naudojimas taip pat gali sumažinti riziką ir sąnaudas.

2. BS EN ISO 19650-2: 2018. „Informacijos apie pastatus ir civilinės inžinerijos darbus organizavimas ir skaitmeninimas, įskaitant pastatų informacinį modeliavimą (BIM). Informacijos valdymas naudojant pastatų informacinį modeliavimą. Turto perdavimo etapas.“ Standarte nurodomi reikalavimai informacijos valdymui, atsižvelgiant į turto perdavimo etapą ir keitimąsi informacija jame, naudojant pastatų informacinį modeliavimą. Tai gali būti taikoma visų tipų bei dydžių organizacijoms, neatsižvelgiant į pasirinktą pirkimo strategiją.
3. PD 19650-0: 2019. „Perėjimo prie BS EN ISO 19650 gairės.“ Gairėse pateikiami valdymo, turto, valdymo operacijų, planavimo aprašymai.
4. PAS 1192-5:2015. „Pastatų informacinio modeliavimo, skaitmeninės sukurtos aplinkos ir intelektualiojo turto valdymo specifikacijos saugumo atžvilgiu.“ Šis standartas apibūdina kibernetinio saugumo pažeidžiamumą priešiškos atakos metu naudojant BIM ir pateikia vertinimo procesą, siekiant nustatyti BIM bendradarbiavimo kibernetinio saugumo lygius, kurie turėtų būti taikomi visais pastato gyvavimo ciklo etapais. Standarte pateikti veiksmai, kurių reikia organizacijai sukurti ir ugdyti tinkamą saugumo principų rinkinį ir saugią kultūrą, įskaitant poreikį stebėti ir tikrinti, kaip laikomasi taisyklių.
5. PAS 1192-3:2014. „Turto eksploatavimo etapo informacijos valdymo specifikacija naudojant pastatų informacinį modeliavimą.“ Šiame standarte turto valdytojams pateikiamos gairės, kaip integruoti informacijos valdymą per ilgalaikio turto valdymo veiklą su trumpesnio laikotarpio turto kūrimo veikla.
6. PAS 1192-6:2018. „Bendradarbiavimo bei struktūrizuotos sveikatos ir saugos informacijos naudojimo specifikacija taikant BIM.“ Šiame standarte nurodomi reikalavimai dalijimuisi struktūrizuota sveikatos ir saugos informacija viso projekto ir turto gyvavimo ciklų metu. Nors visa sveikatos ir saugos rizikos informacija gali būti įtraukta į informacinį modelį, šiame standarte reikalaujama atsižvelgti į kontekstą ir filtruoti pavojus bei riziką, kad būtų teikiama pirmenybė didesnei rizikai ir esminiams saugos aspektams. Standarte nurodoma, kaip naudoti sveikatos ir saugos informaciją siekiant:
    - Suteikti saugesnę ir sveikesnę aplinką galutiniams naudotojams;
    - Sumažinti būdingus pavojus ir riziką per visą turto gyvavimo ciklą;
    - Pagerinti darbuotojų sveikatos ir saugumo reikalavimų vykdymą statybos metu, patiriant mažiau incidentų ir susijusių padarinių;
    - Pateikti aiškesnę, patikimesnę ir aktualesnę sveikatos ir saugumo informaciją reikiamiems žmonėms tinkamu metu;
    - Sumažinti statybos ir eksploatavimo išlaidas.

7. BS 1192-4:2014. „Bendradarbiavimo informacijos rengimas. 4 dalis. Užsakovo informacijos perdavimo reikalavimų vykdymas naudojant „COBie“. Praktikos kodas.“ BS 1192-4: 2014 apibrėžia lūkesčius dėl keitimosi informacija per visą pastato gyvavimo ciklą. „COBie“ naudojimas užtikrina, kad keičiantis informacija būtų galima patikrinti ir patvirtinti atitiktį, tęstinumą ir išsamumą. „COBie“ duomenų perdavimo standartas buvo sukurtas pagerinti informacijos srautų perdavimą iš statybų etapo į turto valdymą. „COBie“ informacijos perdavimui naudoja atvirojo kodo standartą IFC, kuriuo informacija gali būti perduodama į pastatų ūkio valdymo sistemas. Gavę standartizuotą ir tikslią informaciją pastatų ūkio valdytojai gali patenkinti valdymo poreikius (Wetzel & Thabet, 2015).
8. BS 8536-1:2015. „Projektavimo ir statybos instrukcija. Pastatų valdymo praktikos kodeksas (pastatų infrastruktūra).“ Šis standartas yra BIM 2 lygio dokumentų rinkinio (kai visi projekto komandos nariai naudoja atskirus 3D modelius, tačiau tinkamai bendradarbiaudami modelius suderina), sukurto padėti statybų pramonei pritaikyti BIM, dalis. Jame pateikiamos rekomendacijos, kaip naudoti duomenis ir informaciją, reikalingą projektavimui ir statybai, užtikrinant, kad bus atsižvelgiama į numatomą turto naudojimą per visą jo gyvavimo laiką. Šis standartas taikomas visiems naujų pastatų projektams ir kapitaliniam remontui. Jame taip pat pateikiamos gairės, kaip išplėsti tiekimo grandinės įtraukimą į operacijas, valdymą ir apibrėžtus priežiūros laikotarpius.
9. Standartas BS 8536-2:2016. „Projektavimo ir statybos instrukcija. Turto valdymo praktikos kodeksas (linijinė ir geografinė infrastruktūra).“ Šis standartas yra BIM 2 lygio dokumentų rinkinio, sukurto padėti statybų pramonei pritaikyti BIM, dalis. Jame pateikiamos rekomendacijos, kaip sistemingai ir struktūrizuotai rengti instruktažą projektavimo ir statybos projektams, susijusiems su energetikos, telekomunikacijų, transporto, vandens ir kitų komunalinių paslaugų infrastruktūra, atsižvelgiant į numatomą turto naudojimą per visą jo gyvavimo laiką. Jame taip pat pateikiamos gairės, kaip išplėsti tiekimo grandinės įtraukimą į operacijas, valdymą ir apibrėžtus priežiūros laikotarpius.

Peržiūrėjus pagrindinius BIM standartus Jungtinėje Karalystėje, pagrindinis matomas skirtumas nuo Lietuvos BIM normatyvinės bazės – tai, kad Jungtinėje Karalystėje priimti ir taikomi standartai pastato gyvavimo ciklo etapams nuo projektavimo iki eksploatavimo, įskaitant standartus kibernetiniam saugumui, taikant BIM. O Lietuvoje dar trūksta atsakomybių ribos nustatymo kiekviename pastato gyvavimo ciklo etape.

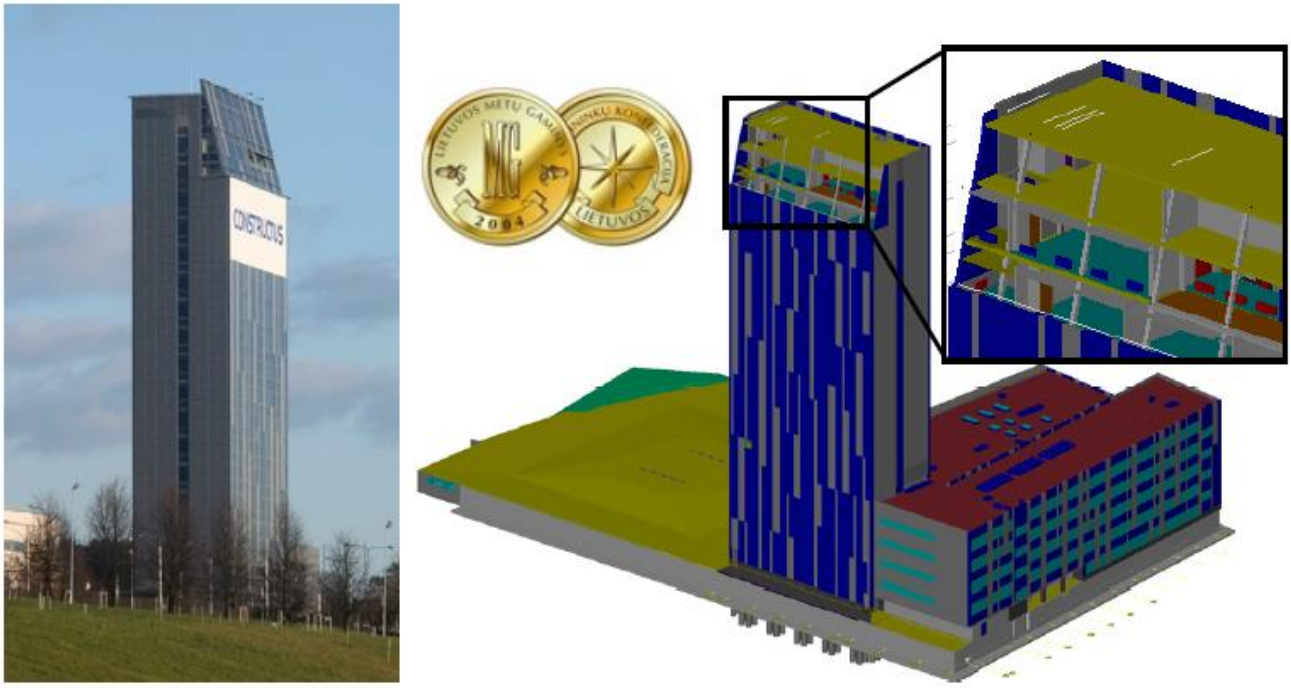
2. PIRMOJI BIM TAIKYMO PRAKTIKA LIETUVOJE

Migilinskas, Popovas, Juocevičius ir Ustinovičius 2013 metais atliko tyrimą apie pirmuosius BIM diegimo atvejus Lietuvoje, atliktus aplinkoje su labai žemomis BIM metodikos žiniomis ir dideliu projekto komandos narių noru dirbti tradiciškai (be BIM). Šie atvejai susiję su patirtimi, kurią įgijo viena BIM technologijų naudotojų komanda keturiuose projektuose su skirtingomis sutartimis ir valdymo aplinka.

Pirmąjį projektą įvykdė statybos įmonė, atsakinga už „projektavimo ir statybos“ sutarties vykdymą. Galutinis projekto BIM plano rezultatas buvo pastatų valdymo programa su kai kuriais BIM metodikos elementais. Kiti trys projektai buvo įgyvendinti po to, kai pasikeitė įmonės savininkai ir pagrindiniai akcininkai sustabdė BIM diegimo programą įmonės lygiu, o šie projektai turėjo BIM įgyvendinimo planus, daugiausia paremtus rizikos valdymu arba „projektavimo, kainos pasiūlymo, statybos“ sutartimis.

2.1. Vilniaus savivaldybės pastato statyba 2002–2004 metais

Generalinio rangovo įmonė Vilniaus savivaldybės komplekso statybą pradėjo 2002 metais ir baigė 2004 metų pirmąjį ketvirtį. 15060 kv. m. Vilniaus savivaldybės kompleksą sudaro pagrindinis 20 aukštų pastatas (76,85 m aukščio), greta pastatyti 5 ir 3 aukštų pastatai, kuriuose telpa daugiau nei 1000 darbuotojų (žr. 11 pav.). Be to, įrengta 4800 kv.m. Europos aikštė, kuri jungia Savivaldybės centrą su komerciniais pastatais ir nauju Vilniaus rajono pastatu. Įrengta 11500 kv. m. požeminė automobilių stovėjimo aikštelė, kurioje telpa 344 transporto priemonės. Projektas gavo apdovanojimą – Lietuvos metų produktas 2004.



11 pav. Vilniaus savivaldybės reali nuotrauka ir BIM modelis pastato valdymui (Migilinskas et al., 2013)

Projektavimo ir parengiamųjų darbų metu daugiausia dėmesio skirta pastatų efektyvumui ir funkcionalumui. Iš 3D modelio buvo sudarytas koncepcinis dizainas, vizualizacija, darbo brėžiniai ir

medžiagų specifikacijos. 3D modelis buvo sukurtas naudojant „Bentley Triforma“ ir „Bentley Structural“ programinę įrangą. Konstrukcijų analizė ir projektavimas atlikti taikant STAAD programinę įrangą, naudojant 3D modelį, importuotą iš „Bentley Structural“. 3D modelis buvo eksportuotas į „Bentley Navigator“, o duomenys apie Vilniaus savivaldybės centro statybą išsaugoti duomenų bazėje, taip pritaikant projektą tolimesniam pastatų valdymui. Kiekvienam Vilniaus miesto savivaldybės centro 3D modelio elementui buvo priskirta informacija, projektiniai ir darbo brėžiniai, gamybos procesas ir rangovo įmonė, atitiktis sertifikavimui, techninės priežiūros taisyklėms ir žinynams, techninėms specifikacijoms ir kt. (pirmą kartą pagal BIM teorinį pagrindą).

Projekte taikytų BIM technologijų privalumai:

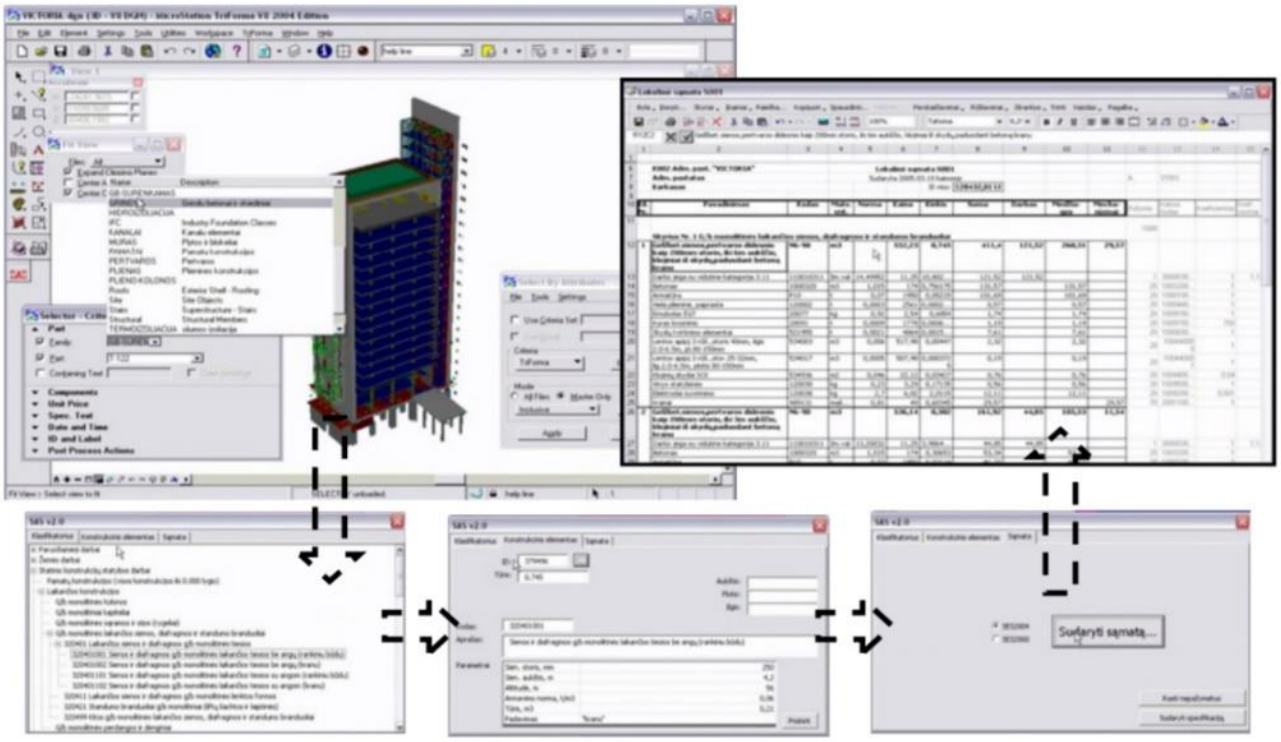
- Galimybė naudoti bendrą 3D modelį vizualizacijai, struktūros analizei, galutiniam pakoreguotam 3D modeliui ir pastatų valdymo modeliui su visa susijusia informacija;
- Buvo sutaupyta ~ 20% laiko planų ir pjūvių klaidomis taisyti bei projekto pakeitimams;
- 3D modelis buvo naudojamas skaičiuojant daugelio darbų kiekį, o tai palengvino derybų procesą su subrangovais ir tiekėjais. Iš anksto gaminamų elementų ir detalių pirkimas bei tiekimas buvo iš esmės pagerintas;
- Sumažėjo darbuotojų laiko švaistymas darbų priėmimo metu, dėl atliktų darbų apimties, todėl techninė priežiūra galėjo skirti daugiau dėmesio atliktų darbų kokybei bei darbo metodų patobulinimo aptarimui.

2.2. Verslo centro „Victoria“ statyba 2004–2005 metais

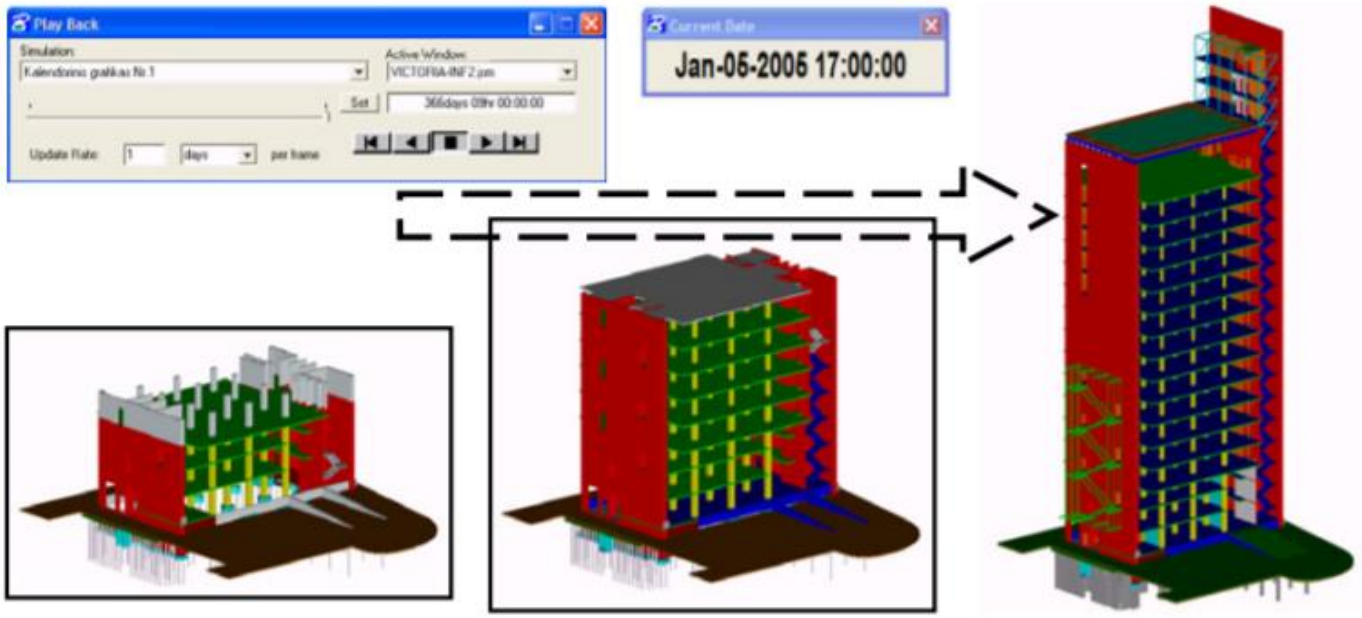
Generalinis rangovas „Victoria“ verslo centro Vilniuje, esančio Verslo trikampyje, statybą baigė 2005 m. Pastatas 16 aukštų, 76,3 m aukščio, bendras plotas 6500 kv. m.

Šiame projekte buvo atliekamas lygiagretus projektavimas įprastu būdu ir 3D modeliavimas. Toks sprendimas priimtas, norint išbandyti 3D modeliavimo pranašumus. Projekto komandą pasiekdavo išankstinė informacija apie praleistus projektavimo sprendimus ir galimas problemas. 3D modeliavimas naudojant „Bentley Triforma“ ir „Bentley Structural“ parodo tiek techninio projekto, tiek darbo brėžinių teisingumą. 3D modelis buvo naudojamas norint sugeneruoti kiekius konkursų procedūroms ir analizei lyginant realų darbų kiekį.

Sukurta SAS – kompiuterinė statybų vertinimo sistema, pagrįsta BIM koncepcija, sujungianti konstrukcijų projektą, išlaidų sąmatą ir planavimą (žr. 12 pav.). Pagrindinis tikslas – pateikti kompiuteriu pagrįstą ekonominių rodiklių įvertinimą, suteikiant naudotojui (projektuotojui, projekto valdymo komandai, rangovui ar investuotojui) galimybę įvertinti ekonomines išlaidas (sąmatas) bet kuriame projekto etape. Poreikis operatyviai planuoti ir valdyti statybų procesą buvo viena iš priežasčių, paskatinusių naudoti 3D modelį šiam projektui. Su projekto vykdymo grafiku, parengtu „Microsoft Project“ programa, sujungtas 3D modelis (žr. 13 pav.) naudojant „Bentley Navigator“ programą buvo statybos projekto valdymo priemone.



12 pav. Sąmatos skaičiavimas iš BIM modelio, taikant sukurtą SAS sistemą (Migilinskas et al., 2013)



13 pav. BIM modelis sujungtas su darbų vykdymo grafiku (Migilinskas et al., 2013)

Projekte taikytų BIM technologijų privalumai:

- Projekto komandos sutaupytas laikas atliekant statybos darbus ir ankstyvas problemų atpažinimas pagerino statybos kokybę;
- Statybų aikštelės vadovas ir projekto vadovas sutaupė apie 10% laiko problemoms ieškoti;
- BIM technologija buvo labai naudinga planuojant ir valdant statybų procesus bei medžiagų pristatymą į vietą labai ankštoje statybvietėje su reikliais, šalia esamų biurų darbuotojais.

2.3. PET plastiko žaliavos gamyklos Klaipėdoje statyba 2005–2006 metais

Projektą parengė Lietuvos projektavimo įmonė. Technologinius procesus ir įrangą gamyklai projektavo Vokietijos įmonė, polimerų gamybos įrangos tiekėja. Buvo nuspręsta suskirstyti pagrindinio polikondensacijos ir polimerizacijos bloko statybas į 4 etapus ir vykdyti darbus 3–4 sinchronizuotose darbų baruose. PET plastikinių žaliavų gamykla Klaipėdoje baigta statyti 2006 metais. Projektas pelnė apdovanojimą – Lietuvos metų produktas. Statybos valdymo komandai reikėjo pastatyti gamyklą per kiek daugiau nei 1,5 metų.

Statybos darbų metu buvo parengtas preliminarus „dėžutės“ 3D modelis, naudojant „Bentley Triforma“ programinę įrangą. Sujungiant 3D modelį su projekto vykdymo grafiku, parengtu „Microsoft Project“ programa, sudaryta galimybė analizuoti sudėtingus statybos darbus, padalyti juos į etapus, atskiras ir sinchronines darbo sritis. Po apkrovų suskaičiavimo, išdėstymo ir struktūros parinkimo, pradėti projektavimo darbai ir sudarytas detalus 3D modelis, kuris buvo naudojamas ir kelis kartus pataisytas įgyvendinant projektą (žr. 14 pav.). 3D modelis buvo naudojamas kaip kontrolės pagrindas, perduodant jį Užsakovui palyginimui su technologinių procesų 3D modeliu, kurį sukūrė Vokietijos įmonė.



14 pav. BIM modelis su technologine įranga (kairėje) ir baigtas fabrikas (dešinėje) (Migilinskas et al., 2013)

Visi tiekimo ir darbų vykdymo grafiko pokyčiai buvo modeliuojami „Bentley Navigator“ programa, kad būtų galima matyti įtaką esminiams grafiko taškams ir atlikti atitinkamus proceso valdymo veiksmus. Technologiškai sudėtingiausias pastatas – 50 m aukščio, užimantis 12500 kv.m plotą pagrindinis polikondensacijos ir polimerizacijos blokas. Įrengta apie 150 saugyklų ir surinkti du branduoliniai reaktoriai. Vienas, 4,8 m ilgio ir sveriantis 125 tonas, reaktorius buvo atgabentas iš Vokietijos ant specialios baržos ir vėliau iš Klaipėdos uosto išvežtas specialiu sunkvežimiu su beveik 20 m ilgio, 13 ašių priekaba. Statybos valdymo komandos profesionalai išsinuomojo specialų kraną su 500 tonų keliamąja

galia iš partnerių įmonės Estijoje, nes tokios kėlimo galios Lietuvoje nėra. Kranas pakėlė reaktorių į 14 m aukštį.

Projekte taikytų BIM technologijų privalumai:

- BIM 3D technologija buvo pagrindinis technologinių ir konstrukcijų brėžinių koordinavimo įrankis, kuris leido statybos valdymo komandai sumažinti laiko sąnaudas projekto perdarymui ir taisymui. Tai taip pat leido iš anksto apibrėžti kritinius taškus ir sritis struktūriniu ir technologiniu požiūriu;
- Iš BIM modelio sugeneruoti darbų kiekių žiniaraščiai sumažino žmogaus prigimties klaidas užsakant medžiagas ir gaminius;
- Naudojamos sistemos ekonominė nauda ir tiksli kiekių apskaita viršija ne mažiau kaip 10 kartų papildomas BIM metodikos naudojimo išlaidas;
- 3D modelis buvo naudojamas, kaip virtualus projekto vystymas, imituojantis statybos procesą ir darbų vykdymo valdymą, kuris atliekamas, kad būtų išvengta galimo kranų ir konstrukcijų susidūrimo.

2.4. Biurų pastato Gedimino prospekte 35 statyba 2008–2012 metais

2008 m. statybos valdymo įmonė pradėjo administracinio pastato atnaujinimo darbus Vilniaus senamiestyje. Senasis pastatas Gedimino pr. 35 buvo pastatytas beveik prieš 100 metų (1913 m.) ir yra priskiriamas Lietuvos kultūros paveldui. Projektas buvo sukurtas pastatyti naujo ir atnaujinto seno administracinio pastato kompleksą (žr. 15 pav.). Bendras biurų pastato plotas yra 10200 kv. m, jis susideda iš 3 aukštų, 2900 kv. m. požeminės automobilių stovėjimo aikštelės, 4 aukštų seno ir 5 aukštų naujo pastato 6300 kv. m. nuomojamo ploto.



15 pav. Biurų pastato Gedimino per. 35 konstrukcijų BIM modelis (kairėje) ir architektūrinė vizualizacija (dešinėje) (Migilinskas et al., 2013)

Pagrindinis iššūkis buvo užtikrinti efektyvų skirtingų projekto dalyvių bendradarbiavimą, skirtingų projekto dalių suderinamumą ir programinę įrangą. Pagrindinė problema – projekto dalyvių bendradarbiavimas įgyvendinant projektą: architektas Vokietijoje, konstrukcijų ir ŠVOK projektavimas įvairiose Lietuvos vietose.

Architektūrai ir vizualizacijoms naudota programinė įranga – „Nemetschek Allplan Architecture“, konstrukcijų 3D modeliavimui – „Bentley Structural“, konstrukcijų analizei ir projektavimui, gelžbetoninių konstrukcijų detalizavimui, medžiagų žiniaraščių sudarymui – „Nemetschek SCIA Engineering“, plieninių konstrukcijų detalizavimui ir brėžiniams, medžiagų žiniaraščio sudarymui – „Tekla Structures“, ŠVOK ir vamzdynų sistemų projektavimui – „AutoCAD & CADVENT“. Visos projekto dalys buvo sujungtos naudojant „Bentley Triforma“ platformą. 3D failas PDF formatu buvo naudojamas tobulinant dizainą (susidūrimo taškų aptikimui) ir bendradarbiaujant su kitais projekto dalyviais bei klientu.

Projekte taikytų BIM technologijų privalumai:

- Efektyvus BIM technologijos naudojimas padėjo patikrinti suderinamumą tarp projekto dalių ir sutaupyti apie 0,5% projekto vertės projektavimo etape;
- Tikslūs kiekių žiniaraščiai padėjo sumažinti permoką tiekėjams, užtikrinti statybos valdymo komandos, subrangovų bei tiekėjų konstruktyvų bendradarbiavimą ir motyvaciją kartu ieškoti geresnių sprendimų.

Visais šiais keturiais atvejais surinkta informacija ir duomenys leido nustatyti produktyvumo ir pelningumo padidėjimą, laiko sutaupymus, išvengti didelių klaidų. Tai, kad Lietuvoje dar nesant BIM standartų, apibrėžtų reikalavimų, parodo, kad jau prieš daugiau nei 15 metų pavyko vykdyti BIM projektus, bent su minimaliais Užsakovo reikalavimais, o šiomis dienomis tokių projektų jau ne vienas per metus, tačiau normatyvinės bazės vis dar trūksta, nors kartu šia kryptimi sparčiai tobulėjama VšĮ „Skaitmeninė statyba“ iniciatyva (žr. 1.5. poskyrių).

3. BIM TECHNOLOGIJŲ TENDENCIJOS PASAULYJE

Architektūros, inžinerijos ir statybos įmonių darbo procesai nuolat tobulinami taikant pastato informacinį modeliavimą, kuris daugiausia susijęs su 3D modelio projektavimu, informacijos detalumu, ir viso to susiejimu su laiku, pinigais, darbų sauga, pastato valdymu, tvarumu tame pačiame modelyje. Kitų technologijų ir programinės įrangos integracija į 3D modelį yra vienas svarbiausių BIM valdymo ir tobulinimo elementų. Todėl, papildomai yra naudojamos technologijos, kurios padeda automatizuoti statybos sektoriaus įmonių procesus. Toliau pateikiamos pagrindinės BIM tendencijos (Shimonti, 2018):

1. Daiktų internetas (angl. *Internet of Things*, sutr. IoT):

Daiktų internetas keičia montuotojų ir modeliuotojų funkcijas. Su debesies programomis, tokiomis kaip „ABB Switch Range Configurator“ ar „Rexel Wholesaler Connector“, modeliuoti ir užsakymus atlikti yra daug lengviau. IoT palengvina BIM duomenų pateikimą surenkamųjų elementų gamintojams, tiekėjams ar modeliuotojams. Turint naujausius duomenis, projektavimas gali būti atliekamas tiesiogiai naudojant jau sukurtus produktus, kuriuos galima pristatyti tiesiai į statybvietę (žr. 3.1. poskyrių);

2. Papildytoji ir virtualioji realybės (angl. *Augmented and Virtual Realities*):

Virtualioji ir papildytosios realybės (sutr. VR ir AR) kelia didelius pokyčius statybų sektoriuje. Kadangi virtuali realybė suteikia galimybę montuotojams per akinius analizuoti didelius 3D modelius, ji tampa ypač tinkama priemone parodyti klientui projekto pristatymus. Papildytoji realybė – puiki atlikti susidūrimų (įvairių inžinerinių konstrukcijų susidūrimo taškų) bandymus vietoje (žr. 3.2. poskyrių);

3. Mobiliosios debesies programos:

Naudodami programas, tokias kaip „Trimble Connect“ programa, partneriai gali bendradarbiauti debesyje nuo projektavimo etapo iki pastato pridavimo. Inžinieriai gauna prieigą prie realiojo laiko duomenų naudodamiesi planšetiniu kompiuteriu, išmaniuoju telefonu ir kompiuteriu. Skirtingi žmonės, skirtingose vietose gali vienu metu žiūrėti statybos ir projektavimo proceso duomenis, gauti ataskaitas greitai ir realiuoju laiku, taip kuriant produktyvų bendradarbiavimą (žr. 3.3. poskyrių);

4. 3D skenavimas lazeriu ir dronai statybose:

Šis skenavimas suteikia tikslius 3D matmenis statybvietėje ir duomenų pagalbines priemones kuriant BIM modelį. Dronai taip pat vis dažniau naudojami statybų projektuose, leisdami fiksuoti duomenis realiuoju laiku, kurie padeda sukurti tikslesnius BIM modelius (žr. 3.4. poskyrių);

5. 3D spausdinimas statybose:

Ši technologija turi didelį potencialą per palyginti trumpą laiką ir su minimaliais medžiagų nuostoliais sukurti ypač tikslius pastato elementus. 3D spausdinimas gali būti naudojamas BIM procese, norint greitai pasidaryti prototipus arba komponentų gamybai ir surenkamosioms medžiagoms (žr. 3.5. poskyrių);

3.1. Daiktų internetas (IoT) statybose

3.1.1. Daiktų interneto samprata

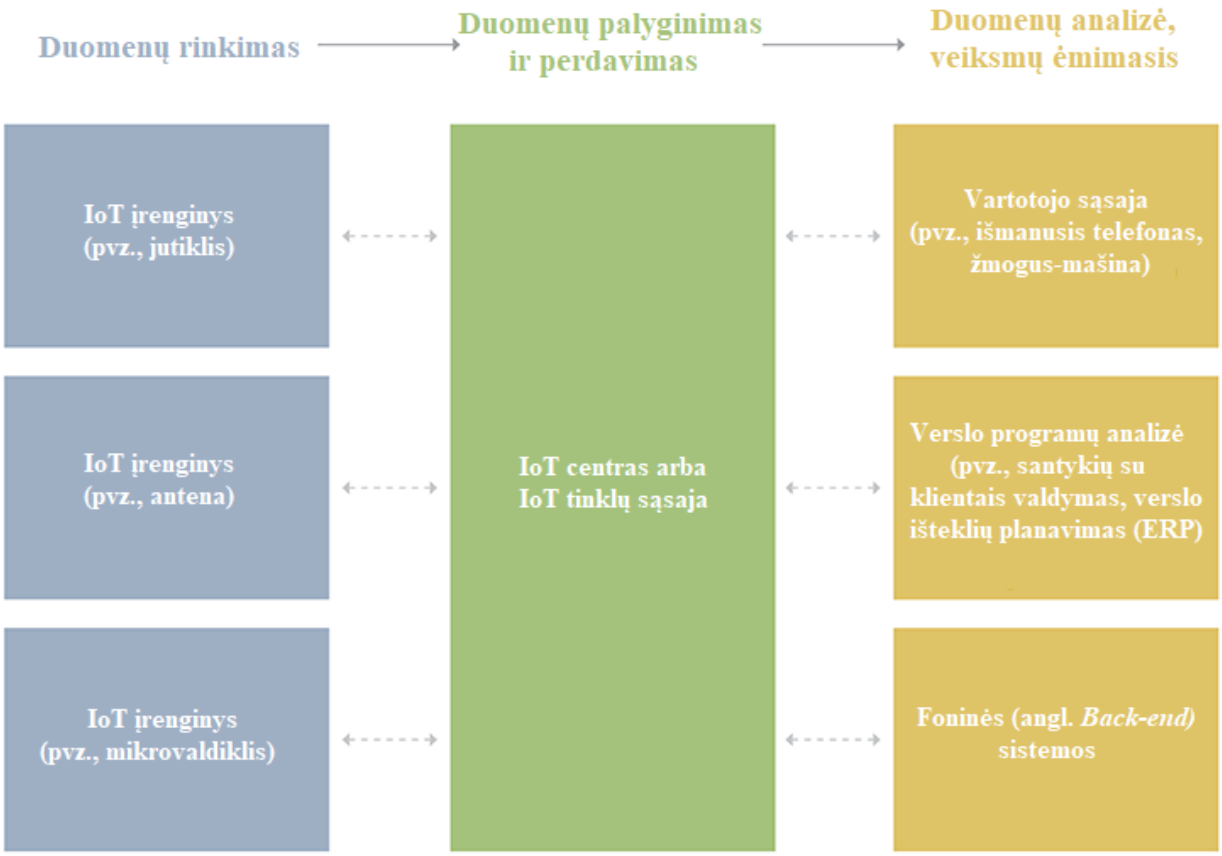
Daiktų internetas yra tarpusavyje susijusių skaičiavimo prietaisų, mechaninių ir skaitmeninių mechanizmų, objektų, gyvūnų ar žmonių sistema, turinti unikalius identifikatorius (angl. *Unique Identifier,* sutr. UID) ir galimybę perduoti duomenis tinklu nereikalaujant žmonių tarpusavio arba žmogaus ir kompiuterio sąveikos.

Daiktų interneto dalimi gali būti asmuo, turintis širdies stimuliatorių, gyvūnas su analizės matricos – „biočipo“ atsakikliu, automobilis, kuriame įmontuoti jutikliai, įspėjantys vairuotoją, kai oro slėgis padangose yra mažas, arba bet koks kitas natūralus ar žmogaus sukurtas objektas, kuriam gali būti priskirtas interneto protokolo (sutr. IP) adresas ir galintis perduoti duomenis tinklu.

Organizacijos, veikiančios įvairiose pramonės šakose, vis dažniau naudojasi daiktų internetu, kad galėtų efektyviau veikti, teikti patobulintas klientų aptarnavimo paslaugas, pagerintų sprendimų priėmimą ir padidintų verslo vertę.

IoT ekosistema susideda iš išmaniųjų įrenginių, naudojančių internetą, kurie turi integruotas sistemas, tokias kaip procesoriai, jutikliai ir ryšio įranga, kad galėtų rinkti, siųsti ir veikti duomenis, kuriuos jie gauna iš savo aplinkos. IoT įrenginiai dalijasi jutiklių duomenimis, kuriuos renka prisijungdami prie IoT tinklų sąsajos ar kito šalutinio įrenginio, kur duomenys analizei siunčiami į debesį arba analizuojami vietoje (žr. 16 pav.). Kartais šie įrenginiai sąveikauja su kitais susijusiais įrenginiais ir veikia pagal informaciją, kurią gauna vienas iš kito. Prietaisai didžiąją dalį darbo atlieka be žmogaus įsikišimo, bet žmonės gali sąveikauti su įrenginiais – pavyzdžiui, juos nustatyti, įdiegti instrukcijas ar pasiekti duomenis.

Prisijungimo, tinklų kūrimo ir komunikacijos protokolai, naudojami su prietaisais, turinčiais internetą, priklauso nuo konkrečių įdiegtų interneto programų. Daiktų internetas taip pat gali naudoti dirbtinį intelektą ir automatinį mokymąsi, kad duomenų rinkimo procesai būtų lengvesni ir dinamiškesni (Gillis, Rosencrance, Shea & Wigmore, 2017).



16 pav. IoT sistemos pavyzdys (Gillis et al., 2017)

Pagrindiniai IoT privalumai (Gillis et al., 2017):

- galimybė bet kuriuo metu bet kuriame įrenginyje pasiekti informaciją iš bet kurios vietos;
- patobulinta komunikacija tarp prijungtų elektroninių prietaisų;
- duomenų paketų perkėlimas per prijungtą tinklą, taupant laiką ir pinigus;
- galimybė automatizuoti užduotis, padedančias pagerinti verslo paslaugų kokybę ir sumažinti žmonių įsikišimo poreikį.

Pagrindiniai IoT trūkumai (Gillis et al., 2017):

- Didėjant prijungtų įrenginių skaičiui ir dalijantis daugiau informacijos tarp įrenginių, didėja ir galimybė, kad įsilaužėliai gali pavogti konfidencialią informaciją;
- Įmonėms gali tekti susidurti su dideliu internetinių įrenginių skaičiumi - gal net milijonais - ir surinkti bei tvarkyti visų tų prietaisų duomenis bus sudėtinga;
- Jei sistemoje yra klaida, tikėtina, kad kiekvienas prijungtas įrenginys bus iškraipytas;
- Nėra tarptautinio interneto suderinamumo standarto, todėl susieti skirtingų gamintojų įrenginius yra sudėtinga.

Pagrindiniai IoT standartai (Gillis et al., 2017):

- „IPv6“ per mažai energijos naudojančius belaidžius asmeninius tinklus (angl. *Low-Power Wireless Personal Area Networks,* sutr. 6LoWPAN) yra atviras standartas, apibrėžtas Interneto inžinerijos darbo grupės (angl. Internet Engineering Task Force, sutr. IETF).

6LoWPAN standartas suteikia galimybę bet kuriam mažos galios radijui susisiekti su internetu, įskaitant 804.15.4, „Bluetooth Low Energy“ (sutr. BLE) ir „Z-Wave“ (namų automatizavimui);

- „ZigBee“ yra mažos galios ir mažos spartos belaidis tinklas, daugiausia naudojamas pramoniniuose parametruose. „ZigBee“ yra pagrįstas Elektros ir elektronikos inžinierių instituto (angl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, sutr. IEEE) 802.15.4 standartu. „ZigBee“ aljansas sukūrė „Dotdot“ - universalią IoT kalbą, leidžiančią išmaniesiems objektams saugiai dirbti bet kuriame tinkle ir suprasti vienas kitą;
- „LiteOS“ yra „Unix“ tipo operacinė sistema (sutr. OS), skirta belaidžių jutiklių tinklams. „LiteOS“ palaiko išmaniuosius telefonus, nešiojamus įrenginius, intelektualias gamybos programas, išmaniuosius namus ir transporto priemonių internetą (IoV). OS taip pat tarnauja kaip išmaniųjų įrenginių kūrimo platforma;
- „OneM2M“ yra paslaugų teikimo lygmuo, kurį galima įterpti į programinę ir techninę įrangą, kad būtų galima prijungti įrenginius. Visuotinė standartizacijos įstaiga „OneM2M“ buvo sukurta siekiant tobulinti pakartotinai naudojamus standartus, kurie padėtų IoT programoms bendrauti įvairiose vertikalėse;
- Duomenų paskirstymo paslaugą (angl. *Data Distribution Service,* sutr. DDS) sukūrė Objektų valdymo grupė (angl. *Object Management Group,* sutr. OMG) ir ji yra IoT realaus laiko standartas, keičiamo dydžio ir didelio našumo M2M ryšiui;
- Išplėstinis pranešimų eilės protokolas (angl. *Advanced Messsage Queuing Protocol,* sutr. AMQP) yra atvirojo kodo publikuotas asinchroninių pranešimų perdavimo laidais standartas. AMQP įgalina užšifruotus ir sąveikius pranešimus tarp organizacijų ir programų. Protokolas naudojamas kliento-serverio pranešimams siųsti ir IoT įrenginiui valdyti;
- Apriboto taikymo protokolas (angl. *Consstrained Application Protocol,* sutr. CoAP) - tai IETF sukurtas protokolas, kuriame nurodoma, kaip mažos galios, suvaržyti įrenginiai gali veikti daiktų internete;
- Ilgo nuotolio tinklas (angl. *Long Range Area Network,* sutr. LoRaWAN) yra WAN (angl. *Wide Area Network,* liet. *plataus spektro tinklas*) skirtas protokolas, skirtas palaikyti didžiulius tinklus, pavyzdžiui, išmaniuosius miestus, kuriuose yra milijonai mažos galios įrenginių.

Pagrindinės IoT struktūros:

- „Amazon Web Services“ (sutr. AWS) IoT yra debesų kompiuterijos platforma, skirta IoT, kurią išleido „Amazon“. Ši sistema yra sukurta tam, kad išmanieji įrenginiai galėtų lengvai prisijungti ir saugiai sąveikauti su AWS debesimi ir kitais prijungtais prietaisais;

- „Arm Mbed IoT“ yra platforma, skirta kurti internetines programas, paremtas „Arm“ mikrovaldikliais. „Arm Mbed IoT“ platformos tikslas yra sukurti keičiamo dydžio, sujungtą ir saugią IoT įrenginių aplinką, integruojant „Mbed“ įrankius ir paslaugas;
- „Microsoft Azure IoT Suite“ yra platforma, kurią sudaro paslaugų rinkinys, leidžiantis vartotojams sąveikauti su savo IoT įrenginiais ir gauti duomenis iš jų, taip pat atlikti įvairias duomenų operacijas, tokias kaip daugialypė analizė, transformacija ir duomenų surinkimas apdorojimui bei vizualizuoti tas operacijas verslui tinkamu būdu;
- „Google Brillo“/„Weave“ yra platforma, skirta greitam IoT programų vykdymui. Platformą sudaro du pagrindinės magistralės: „Brillo“, sukurta „Android“ OS pagrindu, skirta integruotų, mažos galios įrenginių kūrimui, ir „Weave“, į IoT orientuotas ryšių protokolas, kuris tarnauja kaip ryšio kalba tarp įrenginio ir debesies;
- „Calvin“ yra „Ericsson“ išleista atvirojo kodo IoT platforma, skirta kurti ir valdyti paskirstytas programas, leidžiančias įrenginiams sąveikauti tarpusavyje. „Calvin“ apima programų kūrimo sistemą-struktūrą programuotojams, taip pat vykdymo aplinką, skirtą realiu laiku veikiančiai programai tvarkyti.

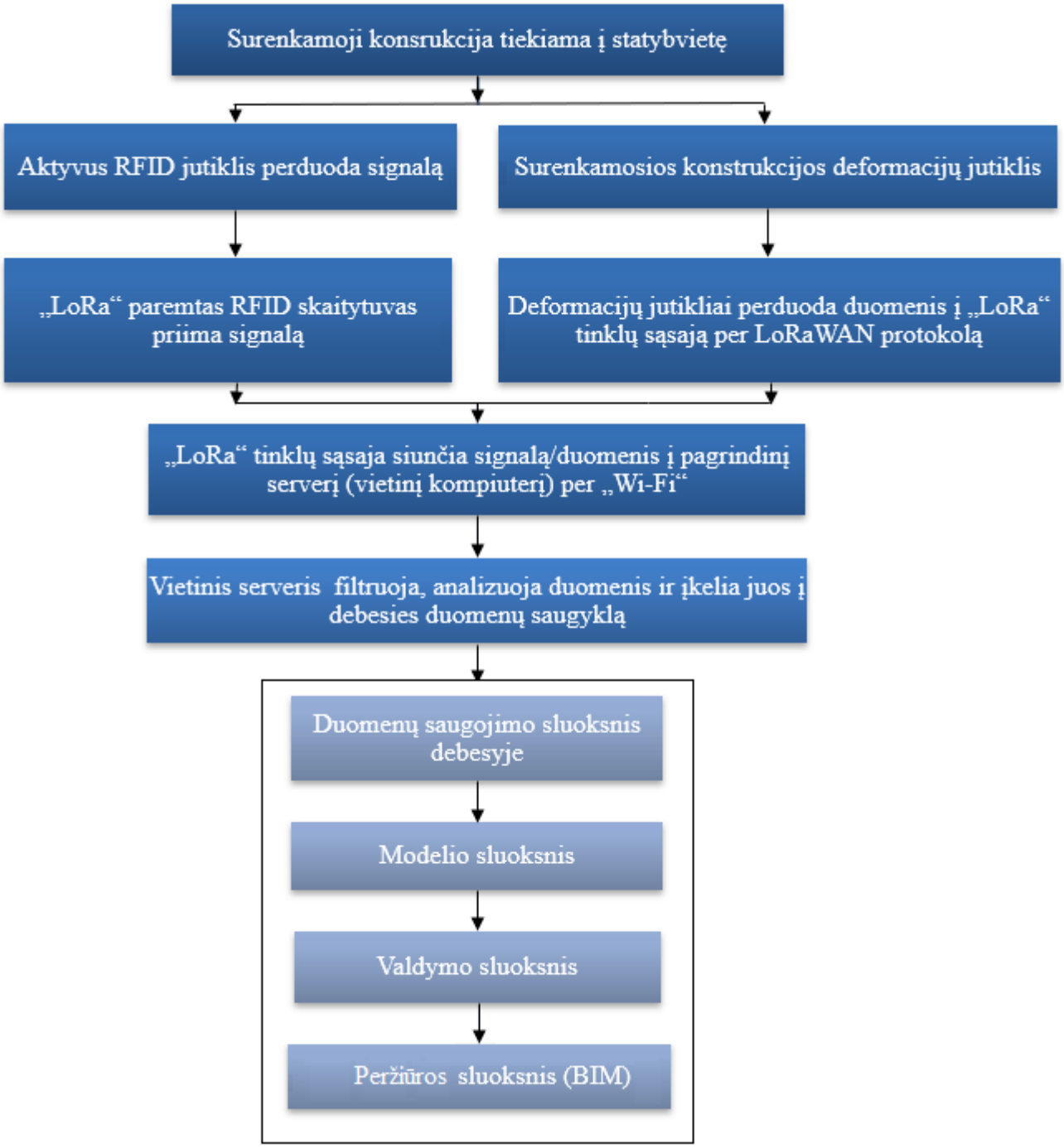
3.1.2. Kinijoje atliktas tyrimas, apimantis IoT, BIM ir surenkamąsias konstrukcijas

Siekiant pagerinti surenkamųjų konstrukcijų projekto vykdymo našumą ir paspartinti naujoves statybose, Zhao, Liu ir Mbachu (Zhao, Liu & Mbachu, 2019) tyrime pristatomas novatoriškas metodas, apimantis radijo dažnio atpažinimo (RFID) ir „Long Range“ (sutr. „LoRa“) technologijas, jutiklių tinklus, BIM modelį ir debesų kompiuteriją, kad būtų galima automatiškai rinkti, analizuoti ir matyti informaciją realiuoju laiku apie surenkamąsias konstrukcijas. Naudojant RFID technologiją ir deformacijų jutiklius, statybvietėje surinkti duomenys buvo perduoti į serverį taikant „LoRa“ technologiją. Tada debesyje buvo sukurtas projekto BIM modelis, skirtas saugoti ir realiuoju laiku pateikti projekto informaciją iš statybvietės. Be to, į debesį įdėtas BIM modelis projekto komandų nariams suteikė galimybę mobiliaisiais įrenginiais prieiti prie projekto informacijos iš bet kurios vietos. Pasiūlyta sistema buvo išbandyta realiame surenkamųjų konstrukcijų, 4 aukštų pastate Pekine, Kinijoje. Siūlomą metodą sudaro keturi moduliai:

1. Pirmąjį modulį sudaro radijo dažnio atpažinimo (RFID) jutikliai ir „LoRa“ palaikantys RFID skaitytuvai statybvietėje. Šis modulis naudojamas surenkamųjų konstrukcijų aptikimui statybvietėje. Kai konstrukcija tiekiama į statybvietę, aktyvus RFID jutiklis gali perduoti signalą, kurį vietoje gali priimti RFID skaitytuvai;
2. Antrąjį ir trečiąjį modulius sudaro belaidis jutiklių tinklas, kuris gali būti naudojamas surenkamųjų konstrukcijų duomenims kaupti montavimo metu. Visi jutiklio duomenys perduodami naudojant „LoRa“ tinklo technologiją: pirmiausia, perduodami į „LoRa“

tinklų sąsają per LoRaWAN protokolą, tada siunčiami iš tinklų sąsajos į vietinio kompiuterio serverį per „Wi-Fi“. Duomenys filtruojami, po to įkeliami į debesies duomenų saugyklą;

3. Ketvirtasis modulis yra debesimis pagrįstas BIM modelis, kurį sudaro keturi sluoksniai: duomenų saugojimo sluoksnis, modelio sluoksnis, valdymo sluoksnis ir atvaizdavimo sluoksnis (BIM). Modelis aiškiai pateikia projekto informaciją ir suteikia vartotojams prieigą prie realiojo laiko duomenų. Siūlomo metodo principas pateikiamas 17 paveiksle.



17 pav. Siūlomo metodo principas (Zhao et al., 2019)

Radijo dažnio atpažinimo (RFID) technologija naudojama norint nustatyti surenkamųjų konstrukcijų vietą statybvietėje. Aktyvioji RFID žyma dedama ant konstrukcijos, o „LoRa“ palaikantys RFID skaitytuvai įrengiami statybvietėje. Remiantis RFID skaitytuvais, išdėstytais trijose skirtingose vietose, siekiant nustatyti surenkamosios konstrukcijos vietą, naudojamas trikampio metodas. Pagrindinė šio metodo koncepcija pagrįsta gauto signalo stiprumo indikatoriumi (angl. *Received Signal Strength Indicator*, sutr. RSSI). Signalo stiprumas yra glaudžiai susijęs su atstumu tarp siuntėjo ir gavėjo. Atstumas tarp siuntėjo ir gavėjo įvertinamas naudojant signalo stiprumo praradimo laipsnį. RSSI matavimuose naudojamas kelio (atstumo) praradimo modelis atstumui įvertinti. Todėl, siekiant nustatyti ryšį tarp signalo stiprumo ir atstumo, buvo atlikta 1980 laboratorinių tyrimų, kurių duomenų rinkiniais remiantis sukurtas ryšio modelis. Kiekviename duomenų rinkinyje buvo tam tikru atstumu (kas 20 cm) užfiksuoti signalai. Ryšiui sukurti atlikta tiesinė regresinė analizė (žr. (1) formulę):

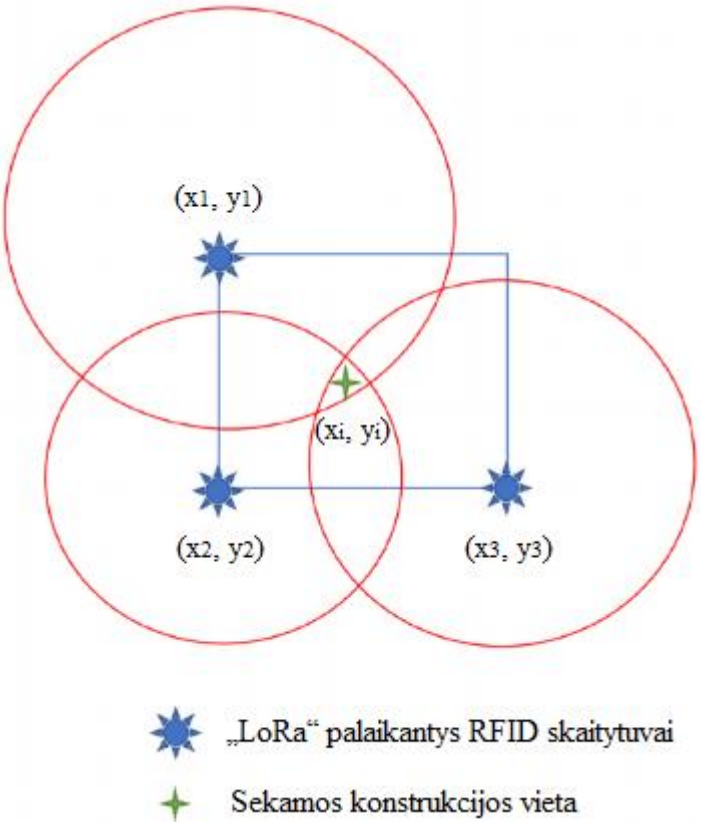
$$r = 15{,}82RSSSI + 300. \quad (1)$$

RFID skaitytuvo užfiksuotas signalas konvertuojamas į atstumą r, remiantis (1) formule, tada sudaromas apskritimas. Apskritimo centro taškas yra skaitytuvo vieta, spindulys – atstumas r. Trys „LoRa“ įgalinti RFID skaitytuvai, įrengti tame pačiame aukštyje, yra naudojami kaip atskaitos taškai su žinoma padėtimi (koordinatėmis) apibrėžtoje zonoje. Trijų „LoRa“ įgalintų RFID skaitytuvų vietos identifikuojamos kaip (x_1, y_1), (x_2, y_2) ir (x_3, y_3), o surenkamosios konstrukcijos vieta identifikuojama kaip (x_i, y_i). Trijų skaitytuvų vietoje su atitinkamais spinduliais susidaro trys apskritimai. Trijų apskritimų bendro ploto dalis laikoma surenkamosios konstrukcijos vieta (x_i, y_i). Vietos identifikavimo proceso schema pateikta 18 paveiksle.



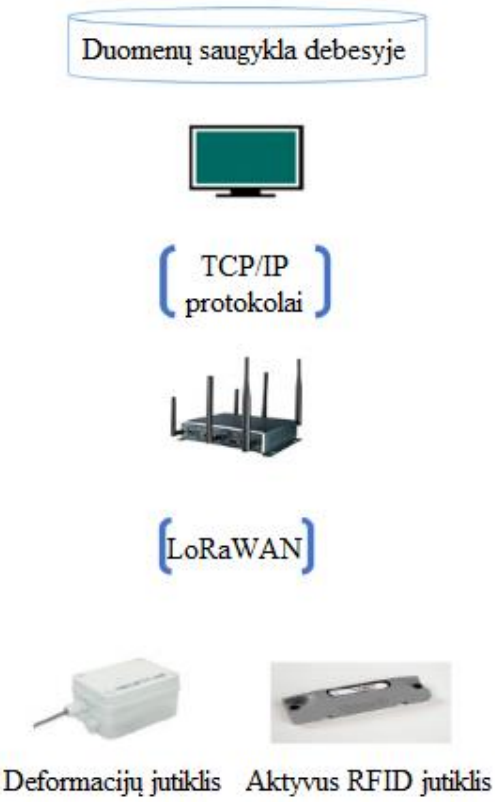
18 pav. Konstrukcijos buvimo vietos identifikavimo schema trikampių metodu (Zhao et al., 2019)

Surenkamai konstrukcijai judant į kitą vietą statybvietėje, tas pats skaičiavimo procesas kartojamas. Sugeneruota vieta (x_i, y_i) su atitinkamu laiku išsaugoma duomenų bazėje tolimesnei analizei. Pagrindinė vietos identifikavimo trikampių metodu koncepcija parodyta 19 paveiksle.



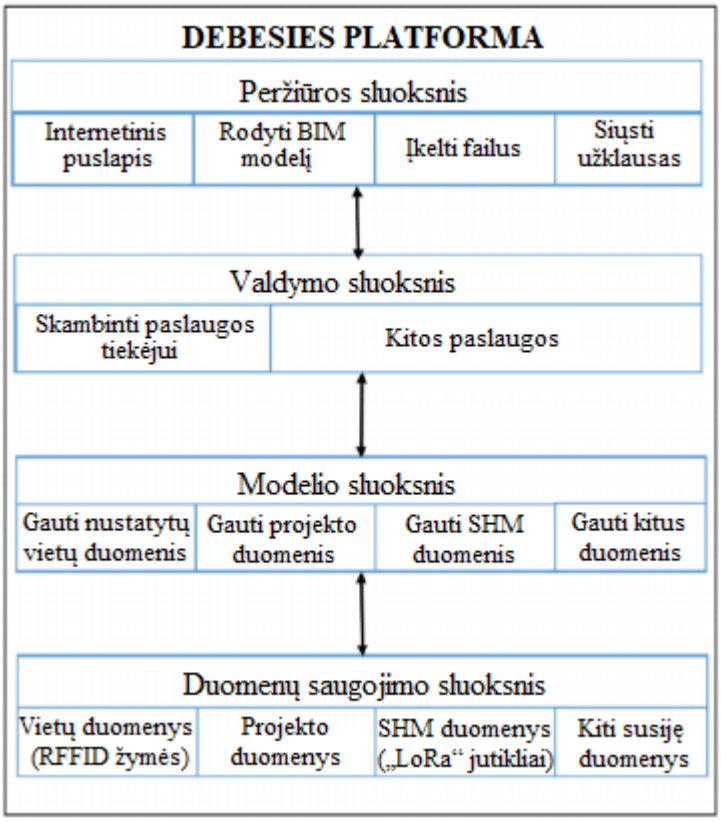
19 pav. Vietos identifikavimo trikampių metodu koncepcija (Zhao et al., 2019)

Duomenys, surinkti galutinių prietaisų (deformacijų ir RFID jutiklių), perduodami į „LoRa“ tinklų sąsają, turinčią interneto ryšį, tuomet siunčiami į tinklo serverį. „LoRaAlliance“ pasiūlytas tinklo protokolas LoRaWAN, skirtas belaidžiu ryšiu sujungti įrenginius su internetu. Tinklų sąsaja kaupia surinktus duomenis ir naudoja „Wi-Fi“ ar „Bluetooth“ ryšį duomenims siųsti į serverį, kuris yra atsakingas už tinklo valdymo funkcijas. Iš kiekvieno gauto duomenų paketo į tinklų sąsają galima perduoti įvairią informaciją. Šioje informacijoje yra paketo informacija, tokia kaip paketo tipas, šaltinio adresas, paketo RSSI ir duomenų ilgis. Duomenų filtravimui, analizei, prieš jiems patenkant į duomenų saugyklą debesyje, taikomi duomenų perdavimo protokolai TCP (angl. *Transmission Control Protocol*) / IP (angl. *Internet Protocol*), kurie užtikrina, kad perduodami duomenys būtų tikslūs, laiku ir reikiama eilės tvarka. Duomenų perdavimo modulio architektūra pateikta 20 paveiksle.



20 pav. Duomenų perdavimo modulio architektūra (Zhao et al., 2019)

„Model-View-Controller“ (sutr. MVC) architektūra buvo naudojama debesyje kuriant BIM modelį su keturiais sluoksniais: duomenų bazės, modelio, valdymo ir peržiūros (žr. 21 pav.).



21 pav. Keturi BIM modelio sluoksniai debesies platformoje (Zhao et al., 2019)

Duomenų bazės sluoksnis yra informacijos šaltinis, naudojamas saugoti duomenis, surinktus iš statybvietės (RFID žymių, „LoRa“ deformacijų jutiklių SHM (angl. *Structural Health Monitoring*, liet. *konstrukcijų kokybės stebėjimas*), BIM duomenis ir kitą susijusią informaciją. Modelio sluoksnis naudojamas informacijai gauti iš duomenų bazės sluoksnio, remiantis komandomis iš valdymo sluoksnio. Valdymo sluoksnis tvarko pagrindinę logiką tarp modelio ir peržiūros sluoksnių, atsakingų už tinkamų atsakymų į vartotojo užklausas pateikimą. Pavyzdžiui, kai vartotojas paspaudžia mygtuką norėdamas pateikti tam tikrą užklausą, valdymo sluoksnis „iškviečia“ atitinkamus duomenis iš modelio sluoksnio ir informaciją, pateiktą peržiūros sluoksnyje. Peržiūros sluoksnis yra vartotojo sąsaja, susidedanti iš HTML (angl. *Hyper Text Markup Language*, liet. *Kompiuterinė žymėjimo kalba*) komponentų, kuri vartotojam pateikia modelį ir informaciją. Debesyje kuriant BIM modelį, buvo naudojamos kelios programavimo kalbos: „Java“, „JavaScript“, SQL ir „jQuery“. Vartotojams buvo galima prisijungti iš bet kurios vietos, bet kuriuo įrenginiu, turinčiu internetą, prie debesyje esančios BIM platformos, kad gautų visą reikiamą informaciją apie surenkamąsias konstrukcijas ir projektą.

Prieš pradedant vykdyti darbus, buvo atlikti jutiklių ir „LoRa“ tinklo veikimo bandymai. Tyrime naudoti jutikliai ir „LoRa“ tinklų sąsaja pateikti 22 paveiksle.



22 pav. Tyrime naudoti įrenginiai (Zhao et al., 2019)

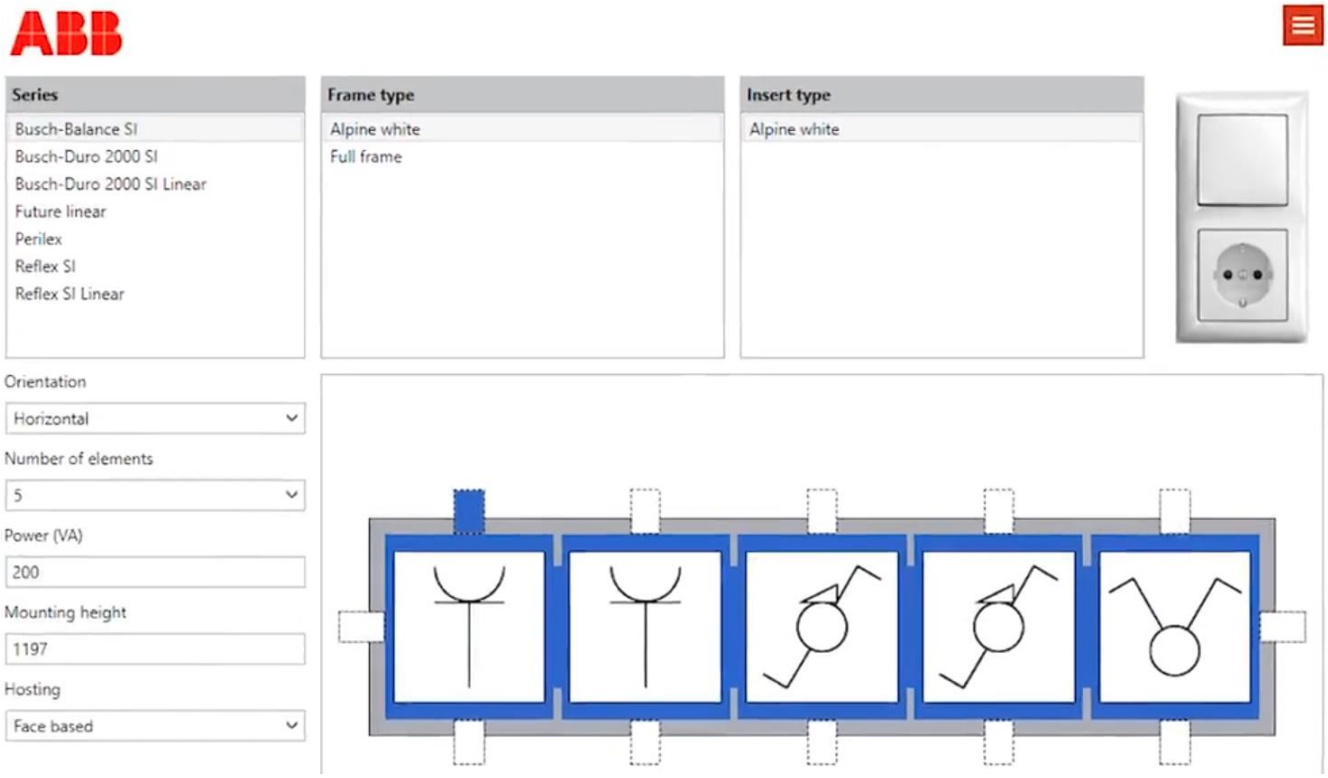
Atliktas tyrimas įrodo, kad IoT ir debesies BIM modelis gali veikti efektyviai ir tvariai. Pirma, tai leidžia visus duomenis sujungti, suskirstyti į kategorijas ir analizuoti automatiškai, taip sumažinant išlaidas, susijusias su rankiniais, klaidų skaičių didinančiais procesais. Antra, tai palengvina sprendimų priėmimo procesą ir pagerina projekto vykdymą. Trečia, į metodą įtraukta „LoRa“ technologija, skirta statybvietės valdymui, suteikia naują kryptį, kaip pagerinti informatyvumą ir automatizavimą statybose.

Šis metodas, paremtas debesyje esančiu BIM, RFID ir „LoRa“ technologija, sukuria automatiškesnę, sistemingesnę ir intelektualesnę statybvietės valdymo sistemą, naudingą projekto valdymui. Šiame tyrime reikiami duomenys (konstrukcijų buvimo vieta ir būklė montavimo metu) buvo sėkmingai renkami ir perduodami į pagrindinį kompiuterį. O debesyje esantis BIM modelis leido vartotojams iš bet kurios vietos pasiekti reikalingą projekto informaciją mobiliaisiais prietaisais.

3.1.3. Debesies programos surenkamųjų konstrukcijų modeliavimui ir užsakymui

„ABB Switch Range Configurator“:

Nemokama, „Revit“ skirta programa suteikia galimybę lengvai suprojektuoti, valdyti ir konfigūruoti įvairius jungiklių rinkinius BIM ir inžinerinių tinklų projektams (šildymui, vėdinimui, kondicionavimui, elektros instaliacijai, vandentiekiui ir nuotekoms). Programoje pateikiami Vokietijos ir Olandijos rinkos „ABB“ produktai (žr. 23 pav.).



23 pav. „ABB Switch Range Configurator“ programos langas („MEPcontent“, 2020a)

Programos privalumai („MEPcontent“, 2020a):

1. Jungiklių rinkiniai keičiami keliais paspaudimais – konfigūravimas, vietos parinkimas ir jungiklių rinkinių tvarkymas, atitinkantis aukščiausius kokybės ir estetikos reikalavimus, net dirbant su susietais ar architektūriniais modeliais;
2. Dizaino ir konfigūracijos įvairovė – platus „ABB“ jungiklių asortimentas leidžia lengvai sukurti norimus rėmelių ir dengiamųjų plokštelių (dėžučių) spalvų derinius. Galima pasirinkti, kiek elementų (pvz., jungiklis, elektros lizdas, šviesos reguliatorius, duomenų perdavimo

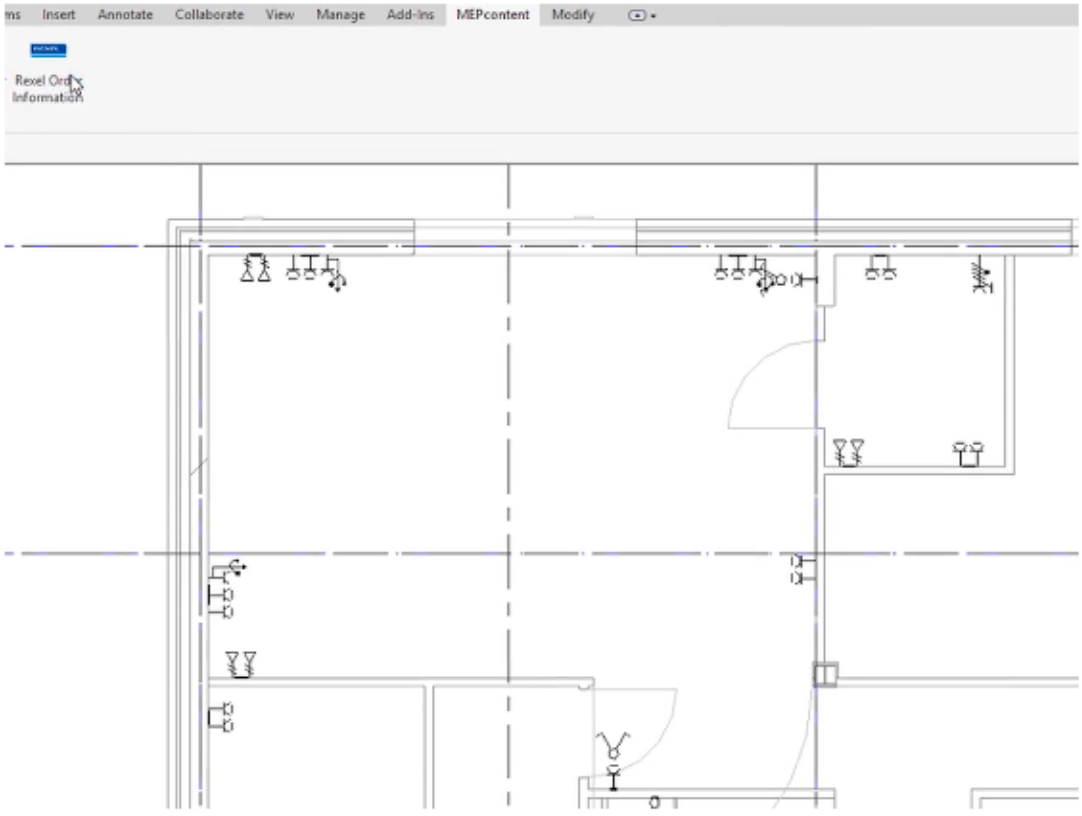
lizdass) turėtų būti projektuojamame jungiklių rinkinyje, kokia jo orientacija ir montavimo aukštis (žr. 23 pav.);

3. Daugiau nei 30 funkcijų – galima pasirinkti kiekvieno jungiklių rinkinio elemento tipą (pvz., viengubą ar dvigubą jungiklį, lizdą su įžeminimu ar be jo, garsiakalbį, skaitmeninį radiją ir t. t.);
4. Patikimi gamintojo duomenys – programoje pateikiami naujausi specifiniai „ABB“ duomenys, tokie kaip gaminio numeris, pasaulinės prekybos prekės numeris ir kita susijusi gamintojo informacija;
5. Paprastas anksčiau suprojektuotų jungiklių rinkinių savybių pakeitimas – reikia spustelėti vieną iš elementų, kurį reikia pakeisti ir parinkti norimus duomenis. Šią funkciją galima atlikti su keliais elementais vienu metu.

Be šios programos, rinkoje taip pat yra nemokamos „Busch-Jaeger Switch Range Configurator“ ir „Niessen Switch Range Configurator“, atliekančios tokias pat funkcijas, kaip „ABB Switch Range Configurator“, tik su kitų gamintojų elementų bazėmis. „Busch-Jaeger Switch Range Configurator“ skirta Vokietijos ir Olandijos rinkoms, o „Niessen Switch Range Configurator“ – Ispanijos ir Prancūzijos.

„Rexel Wholesaler Connector“:

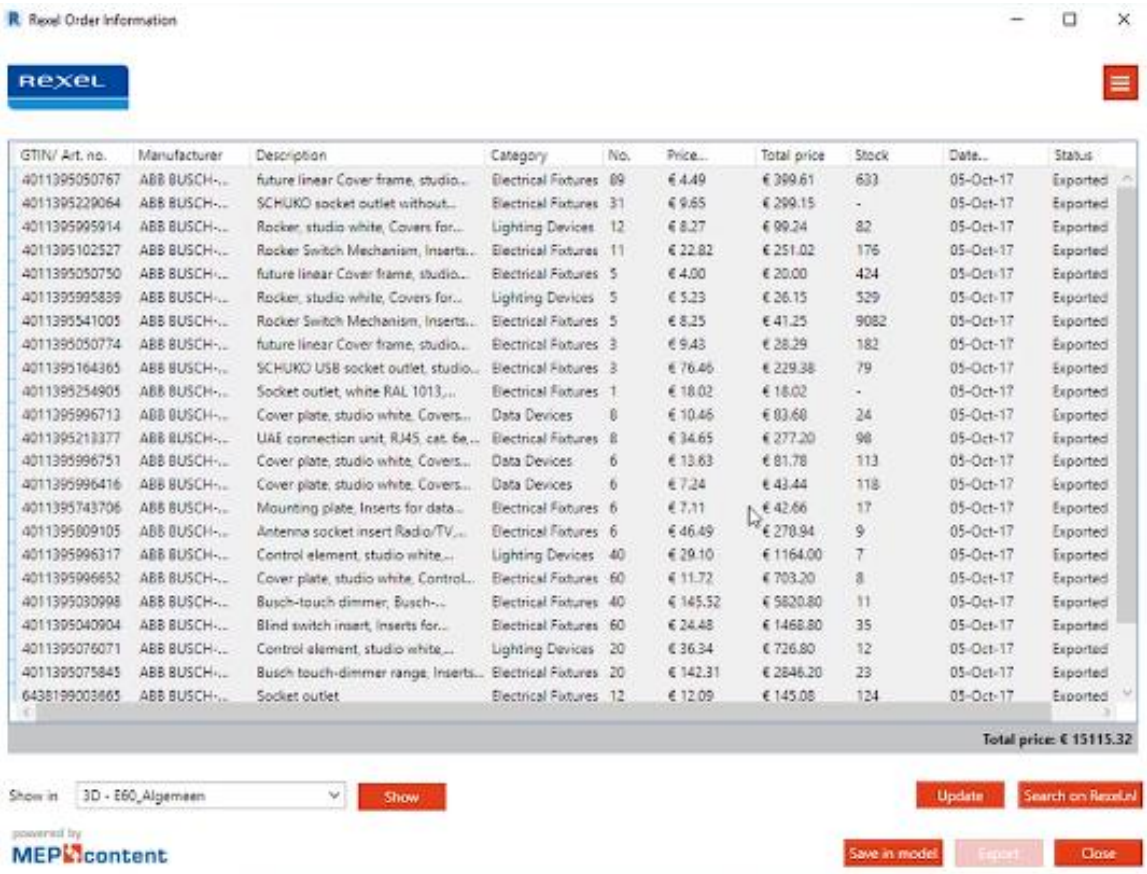
Nemokama, „Revit“ skirta programa suteikia galimybę užsisakyti Olandijos tiekėjo „Rexel“ produktus iš projekto modelio (žr. 24 pav.).



24 pav. „Rexel Wholesaler Connector“ programos langas („MEPcontent“, 2020b)

Programos privalumai („MEPcontent“, 2020b):

1. Informacija apie kainą ir atsargas bet kuriuo metu – realiu metu gaunama informacija apie modelyje suprojektuotų gaminių dabartinę kainą ir atsargas. Programa susieta su „Rexel“ didmenininko duomenų baze (kurią sudaro daugiau nei 250000 produktų), todėl visada gaunama naujausia informacija;
2. Gaminių duomenys gali būti įkeliami į sukurtą „Revit“ modelį – lengvai importuojami gaminių numeriai, informacija apie kainas ir atsargas;
3. Apsipirkimas tiesiai iš „Revit“ – visą projekte naudotų prekių sąrašą galima sudėti tiesiai į pirkinių krepšelį Olandijos „Rexel“ parduotuvėje. Produktų sąrašas suformuojamas programoje ir tuomet importuojamas į „Rexel“ internetinę parduotuvę (žr. 25 pav.);



25 pav. „Revit“ programoje naudoti produktai „Rexel“ lange („MEPcontent“, 2020b)

4. Greitai pasiekiami visi „Rexel“ produkto duomenys - visa informacija apie konkretų produktą pasiekiama paspaudus mygtuką ant projekte esančio gaminio.

Remiantis atliktu bandymu su surenkamosiomis konstrukcijomis ir jų sekimu bei sukurtais papildiniais „Revit“ programai, matoma IoT susiejimo su statybomis bei projektavimu pažanga. Gamintojai, integruojantys savo produktų bazes į projektavimo stadiją, ne tik palengvina darbą projektuotojams, bet kuria pavyzdį kitiems produktų tiekėjams – surenkamųjų konstrukcijų, apdailos medžiagų ir pan. Tai gali paskatinti kitų įmonių įsitraukimą į bendrų informacinių sistemų kūrimą, kurias galima įdiegti į BIM modelį.

3.2. Papildytoji ir virtualioji realybės

3.2.1. Papildytoji realybė statybose

Papildytoji realybė (angl. *Augmented reality*, sutr. AR) – tai technologija, praplečianti fizinį pasaulį, pridedant skaitmeninės informacijos sluoksnius. AR nesukuria dirbtinės aplinkos, kad pakeistų realią virtualia, o tiesiogiai rodo esamą aplinką, pridedant jai garsus, vaizdo įrašus, grafiką. 3D modeliai tiesiogiai projektuojami į fizinius dalykus arba sujungiami realiu laiku. AR programos paprastai skaitmeninę animaciją jungia specialiu žymekliu (angl. *marker*) arba telefonų GPS nustato vietą. Realybės papildymas vyksta realiu laiku ir atsižvelgiant į aplinką (Kovics, 2017).

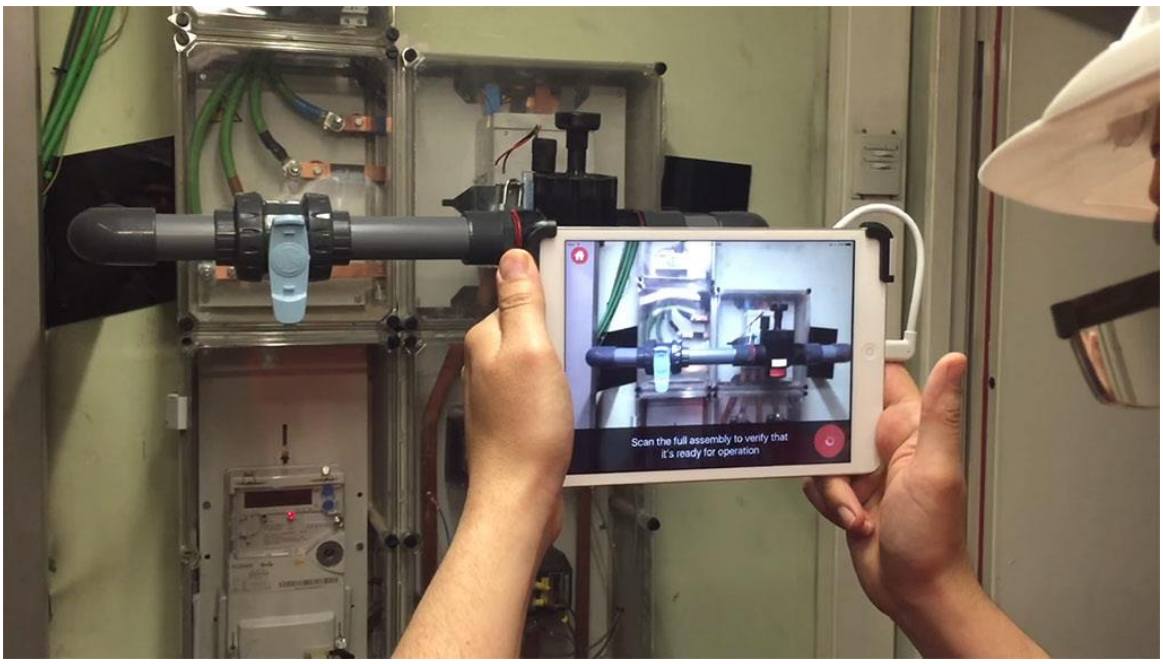
Šiuo metu yra 4 papildytosios realybės tipai (Kovics, 2017):

1. AR be žymeklio – kartais tai vadinama vaizdo atpažinimu, nes norint nuskaityti aplinką reikia specialaus vaizdo objekto ir fotoaparato. Tai gali būti bet kas nuo atspausdinto QR kodo iki specialių ženklų. AR prietaisas, kai kuriais atvejais apskaičiuoja žymeklio padėtį ir orientaciją tam, kad nustatytų turinį. Žymeklis inicijuoja skaitmeninę animaciją, kad vartotojai galėtų ją žiūrėti, ir vaizdai žurnaluose gali virstų 3D modeliais (žr. 26 pav.);



26 pav. AR be žymeklio pavyzdys (Kovics, 2017)

2. AR, pagrįsta žymekliais – vietovės arba padėties pagrindu sukurta išplėstinė realybė, kuri naudoja GPS, kompasą, giroskopą ir akselerometrą, kad teiktų duomenis pagal vartotojo buvimo vietą. Šie duomenys nustato, koks AR turinys gaunamas tam tikroje vietoje. Turint išmaniuosius telefonus, tokio tipo AR paprastai sukuria žemėlapius ir nuorodas, informaciją apie šalia esančias įmones. Taikomosios programos apima įvykius ir informaciją, pasirodančius verslo skelbimų langus, navigacijos palaikymą (žr. 27 pav.);



27 pav. AR, pagrįstos žymekliais, pavyzdys (Kovics, 2017)

3. AR, pagrįsta projekcija – projektuojama sintetinė šviesa į fizinius paviršius ir kai kuriais atvejais leidžiama su ja sąveikauti. Tai yra hologramos, kurios pokyčiai nustato vartotojo sąveiką su projekcija (žr. 28 pav.);



28 pav. AR, pagrįstos projekcija, pavyzdys (Kovics, 2017)

4. AR, pagrįsta superpozicija – originalus vaizdas pakeičiamas padidintu visiškai arba iš dalies. Objektų atpažinimas svarbiausia sudedamoji dalis. Be jo visa koncepcija būtų neįmanoma (žr. 29 pav.).



29 pav. AR, pagrįstos superpozicija, pavyzdys (Kovics, 2017)

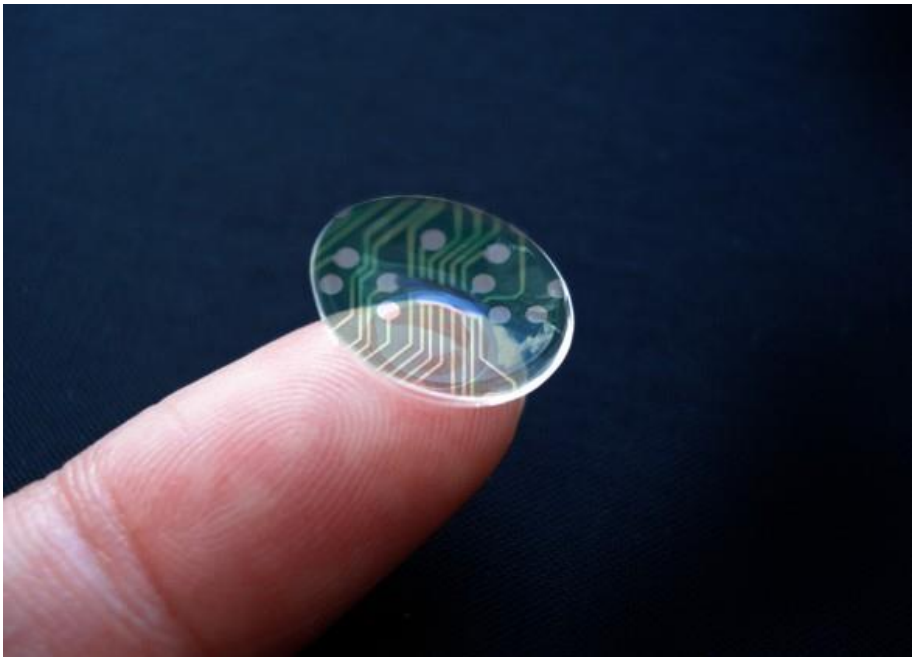
Papildytosios realybės įrenginių kategorijos:

- **Mobilieji įrenginiai** (išmanieji telefonai ir planšetiniai kompiuteriai) – labiausiai prieinami ir geriausiai pritaikomi AR mobiliosioms programoms, pradedant žaidimais ir pramogomis, baigiant verslo analitika, sportu ir socialiniais tinklais;
- **Specialūs AR įtaisai**, sukurti ir skirti tik papildytosios realybės potyriams. Vienas iš pavyzdžių yra ekranai „head-up“ (sutr. HUD), siunčiantys duomenis skaidriu ekranu tiesiai į vartotojo vaizdą. Tokie įtaisai yra pritaikomi aviacijoje, automobilių pramonėje, gamyboje, sporte ir kt. (žr. 30 pav.);



30 pav. HUD ekrano įrenginio pavyzdys (Anderson, 2018)

- **AR akiniai** (arba išmanieji akiniai) – „Google“ akiniai, „Meta 2“ akiniai, „Laster See-Thru“, „Laforge AR“ akiniai ir kt. Šie įrenginiai gali rodyti išmaniojo telefono pranešimus, padėti surinkimo linijos darbuotojams, pasiekti turinį laisvų rankų įranga ir kt.;
- **AR kontaktiniai lęšiai** (arba išmanieji lęšiai). Tokie gamintojai kaip „Samsung“, „Sony“, „Mojo Vision“ paskelbė apie AR lęšių kūrimą. Atitinkamai „Samsung“ dirba su lęšiais kaip priedu prie išmaniųjų telefonų, o „Sony“ lęšius kuria kaip atskirus AR įrenginius (su tokiomis funkcijomis kaip fotografavimas ar duomenų saugojimas) (žr. 31 pav.);



31 pav. AR kontaktinių lęšių pavyzdys (Yoon, 2016)

- **Virtualūs tinklainės ekranai** (angl. *Virtual Retinal Displays*, sutr. VRD), sukuriantys vaizdus, projektuojamą lazerio spindulį nukreipiant į žmogaus akis. Siekiant ryškių, didelio kontrasto ir aukštos skiriamosios gebos vaizdų, tokios sistemos dar turi būti sukurtos praktiniam naudojimui (žr. 32 pav.).



32 pav. Virtualaus tinklainės ekrano pavyzdys (Amanda, 2018)

Papildytoji realybė statybose leidžia sujungti virtualius architektūros projektus su fizine darbo vietos realybe. Ši technologija padidina tikslumą ir efektyvumą, sumažindama klaidas, susijusias su laiko, pinigų ir išteklių valdymu. Yra nemažai papildytosios realybės programų, kurios naudojamos statybos pramonėje bei šios 7 pagrindinės sritys (Chinn, 2019):

1. Projekto planavimas:

Papildytosios realybės vertė statybose prasideda planavimo ir leidimo suteikimo etapuose. Statybos planavimo etape svarbu įsitikinti, kad projekto planas atitinka kliento reikalavimus. Naudodami papildytąją realybę kartu su BIM, tiek architektai, tiek statybų įmonės gali parodyti funkcinius modelius savo klientams. Klientai gali priimti sprendimus remdamiesi dabartiniu planu ir atlikti pakeitimus prieš pradedant statybas. Kai kurias programas galima atsisiųsti ir naudoti išmaniuosiuose telefonuose ar planšetiniuose kompiuteriuose. Pavyzdžiui, „Morphollio Trace“, programa, kurią architektai gali naudoti kurdami projektą planavimo etape.

„Morpholio Trace“ yra architektūros ir dizaino programa, tinkama architektams, interjero dizaineriams, iliustratoriams ar bet kokios kūrybinės kultūros nariams. Tai unikalus piešimo įrankis, leidžiantis lengvai plėtoti idėjas sluoksniais, bendrauti naudojant piešimo žymes ir sklandžiai dirbti visuose projektavimo proceso etapuose. Tai padeda kurti intelektualius eskizus ir brėžinius, piešiant ant PDF failų, žemėlapių, nuotraukų, paveikslėlių, brėžinių rinkinių, fono šablonų ir daugiau naudojant dizainerio įrankius, teptukus ir rašiklius (žr. 33 pav.). Programėlės funkcijos („Apple App Store“, 2020):

- Projektavimas:
    - Idėjų, galimybių ir koncepcijų plėtojimas;
    - Pastatų ir objektų eskizų kūrimas;
    - Namų, biurų ir kraštovaizdžio atnaujinimo planų kūrimas.
- Rinkinių kūrimas:
    - Brėžinių rinkiniai ir PDF failai;
    - Statybvietės nuotraukos;
    - Pristatymai ir vaizdai.
- Braižymas/piešimas:
    - Aukštų planai, pjūviai ir realaus mastelio pritaikymas;
    - Statybvietės ir kraštovaizdžio planai;
    - Paveikslėliai ir pristatymo vaizdai.
- Duomenų apdorojimas:
    - Brėžinių rinkinių kūrimas ir eksportavimas;
    - Brėžinių ar paveikslėlių mastelių keitimas, matmenų matavimas;
    - Projektų organizavimas, planavimas.



33 pav. Keli programėlės „Morpholio Trace“ valdymo langai („Apple App Store“, 2020)

IPAD ir IPHONE išmaniesiems įrenginiams skirti programėlės įrankiai („Apple App Store“, 2020):

- AR perspektyvos ieškiklis – ašių tinklo nubraižymui realioje erdvėje;
- Matmenų skalė – braižymui ir metriniams arba imperiniams matmenims;
- Žemėlapiai – greitam statybvietės nubraižymui;
- Trafaretai – savo sukurta aplinka ir kita;
- Perspektyvus gidas – automatiniam nykstančių taškų braižymui;
- Įrankiai – liniuotė, kampainis, matlankis ir kiti;
- Kelių puslapių PDF failai – žymėjimui, užsakymams ir bendrinimui;
- Sluoksniai – kopijavimui, veidrodžio funkcijai, užrakinimui;
- Eksportavimas – komplektų, paveikslėlių, PDF failų siuntimui;
- Katalogai – darbų saugojimui, organizavimui, tvarkymui;
- Rašikliai ir teptukai – braižymui, piešimui;
- Rašiklio mastelis – linijų storiams nustatyti;
- Importavimas – nuotraukų galerijos, kameros, PDF arba debesies platformose esančių failų;
- Redagavimas – sluoksnių tvarkymui;
- Ryškiklis – reikiamos informacijos paryškinimas arba nereikiamos paslėpimas;
- Spalvų paletė – savo spalvų paletės sukūrimas daugkartiniam naudojimui;
- Šablonai – susikurti fonai daugkartiniam naudojimui.

Programėlės prenumeratos galimos:

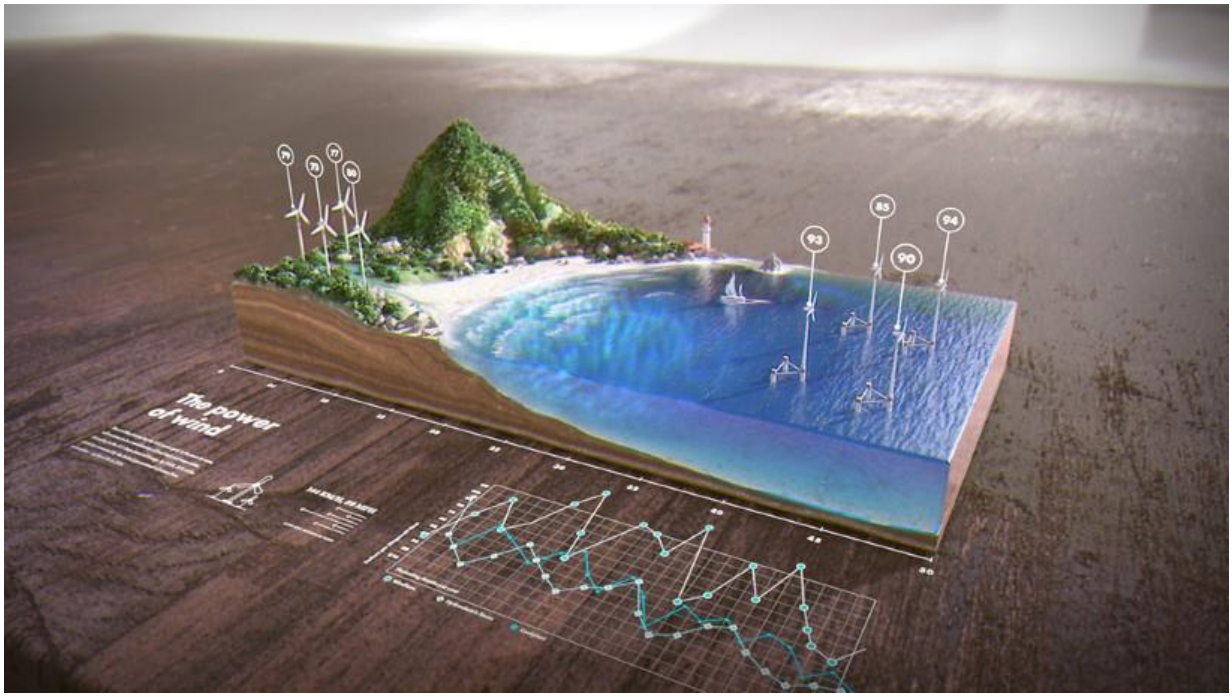
- „TraceEssentials“ per metus už 4,99 USD;
- „TracePremium“ per metus už 9,99 USD;
- „TracePro“ per metus už 19,99 USD;

2. Tikslesni matavimai:

Papildytosios realybės įrenginiai ir nešiojami daiktai, tokie kaip išmanieji akiniai „Microsoft HoloLens 2“, gali matuoti erdvės fizinius elementus, įskaitant gylį, aukštį ir plotį. Integruojant BIM su papildytąja realybe, įmonės gali naudoti modelius, kad tiksliai nustatytų matmenis ir suprastų, kaip projektas atrodys pritaikius tam tikrus parametrus. Darbo valandos ir reikalingos medžiagos bus efektyvesnės naudojant papildytąją realybę, nes ji suteikia tikslesnius matavimus.

„Microsoft HoloLens 2“ išmaniųjų akinių kaina be nuotolinio asistento 3500 USD, o su nuotoliniu asistentu 3500 USD už įrenginį ir 125 USD/mėn. aptarnavimui. Pagrindinės „HoloLens 2“ funkcijos ir privalumai („Microsoft“, 2020a):

- Galima žiūrėti daugiau hologramų vienu metu per padidintą regėjimo lauką, lyginant su „Microsoft HoloLens 1“. Skaityti tekstą, lengvai žiūrėti sudėtingą 3D vaizdo informaciją dėl aukštos skiriamosios gebos (žr. 34 pav. ir 2 lentelę);



34 pav. 3D modelio hologramа per „Microsoft HoloLens 2“ akinius („Microsoft“, 2020a)

- Ilgesnis ir patogesnis „HoloLens 2“ dėvėjimas. Po išmaniaisiais akiniais galima laikyti savo akinius - laisvų rankų įranga slenka tiesiai virš jų. Norint pakeisti užduotis, užtenka apversti ekraną, taip išeinant iš papildytosios realybės (žr. 35 pav.);



35 pav. „HoloLens 2“ dėvėjimas („Microsoft“, 2020a)

- Paliesti, paimti ir perkelti hologramas galima natūraliais būdais - jos reaguoja panašiai, kaip tikri objektai. Greitai ir saugiai prisijungti prie „HoloLens 2“ galima tik savo akimis, naudojantis „Windows Hello“, o balso komandos veikia ir triukšmingoje pramoninėje aplinkoje, naudojant išmaniuosius mikrofonus (žr. 36 pav.);



36 pav. Hologramos valdymas rankomis („Microsoft“, 2020a)

- Laisvas judėjimas su akiniais. Nereikia laidų ar išorinių pakuočių. „HoloLens 2“ išmanieji akiniai yra autonominis kompiuteris, turintis „Wi-Fi“ ryšį (žr. 2 lentelę).

2 lentelė. Pagrindinės „Microsoft HoloLens 2“ techninės specifikacijos („Microsoft“, 2020a)

Eil. Nr.	Ekranas	Sensoriai	Garsas ir kalba	Žmogaus supratimas	Aplinkos supratimas	Kitos
1	Permatomi holografiniai lęšiai	Galvos sekimo – 4 matomos kameros	5 kanalų mikrofonai	Modelio valdymas 1, 2 rankomis	Pasaulio masto padėties sekimas	Sistemos lustas - „Qualcomm Snapdragon 850“ platforma
2	Skiriamoji geba 2k 3:2	Akių sekimo – 2 IR (infraraudonųjų spindulių) kameros	Erdvinio garso garsiakalbis	Akių sekimas realiu metu	Aplinkos tinklelis realiu metu	Holografinis apdorojimo įrenginys (2 kartos)
3	Holografinis tankis >2,5 šviesos taškų	Gylio – 1 MP		Valdymas balsu	Holografinės ir fizinės aplinkos nuotraukos ir vaizdo įrašai	4 GB operatyvi atmintis, 64 GB vidinė atmintis
4	Ekrano optimizavimas 3D akių pozicijai	Akselerometras, giroskopas, magnetometras		„Windows Hello“ – rainelės atpažinimas		Wi-Fi: Wi-Fi 5 (802.11ac 2x2); Bluetooth 5; USB Type-C
5						Baterijos veikimo laikas 2-3 val.; Greitas įkrovimas USB-PD

Tam, kad išmaniuosius akinius būtų galima naudoti statybos aikštelėje, yra sukurti šalmai „Trimble XR10“, atitinkantys visus saugumo reikalavimus (žr. 37 pav.). Pagrindinės šalmo charakteristikos („Trimble“, 2020):

- Šalmai „MSA V-Gard“ (priekiniu snapeliu ir pilno krašto) su „Fas-Trac III“ pakaba;
- Standartiniai priedų tvirtinimai, suderinami su trečiųjų šalių aksesuarais (ausų kištukais, smakro dirželiais);
- Šalmo apsauga nuo smūgio: ANSI / ISEA Z89.1-2014 1 tipas, E klasė (atitinka OSHA), CSA Z94.1, EN 397: 2012 + A1: 2012, AS / NSZ 1801, GB2811-2017;
- Savaiminė sauga: UL I klasė, 2 skyrius; UL 121201 ir CSA C22.2 Nr. 213;
- Akių apsaugos pagrindinio poveikio sertifikavimas: ANSI Z87.1-2015, CSA Z94.3-07, EU EN 166, AS / NZS 1337.1;
- Apsauga nuo patekimo į vidų: IP50 (apsaugota nuo dulkių);
- Svoris: 0,79 kg XR10;
- Darbinė temperatūra: nuo + 10 °C iki + 27 °C;
- Laikymo temperatūra: nuo -20 °C iki + 60 °C;
- Eksploatacijos/laikymo drėgmė: nuo 8% iki 90% santykinio oro drėgnumo.



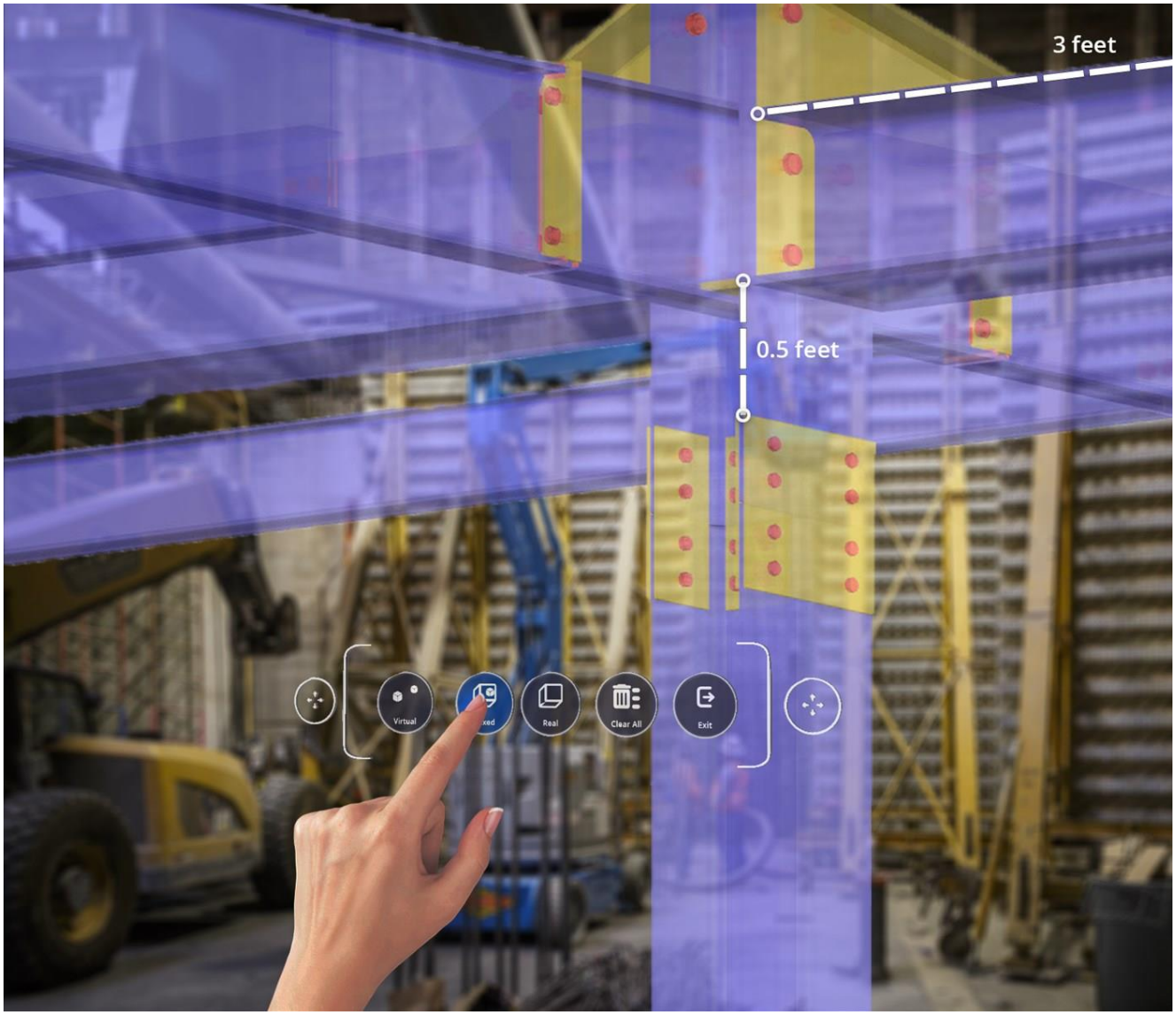
37 pav. „Trimble XR10“ šalmas, pritaikytas „HoloLens 2“ („Trimble“, 2020)

„Trimble Connect“ programa, skirta „HoloLens 2“, naudoja papildytosios realybės technologiją, kad perkeltų 3D turinį iš ekrano ir į realią aplinką, suteikdami projekto suinteresuotoms šalims patobulintą 3D projekto apžvalgą, koordinavimą, bendradarbiavimą ir projekto valdymo procesus. „Trimble Connect“, sukurta debesyje esančioje „Trimble Connect“ bendradarbiavimo platformoje, palaiko darbą su modeliais per visą pastato gyvavimo ciklą, pradedant projektavimu ir baigiant griovimu. Programa suderinama su „Xbox One“, „Windows 10“ versija 10240.0 arba aukštesne („Microsoft“, 2020b).

„Trimble Connect“ privalumai („Microsoft“, 2020b):

- Efektyvesnis 3D modelių pateikimas ir paaiškinimas visoms suinteresuotosioms šalims;
- Prastovų sumažinimas, patobulinant vietinių ir nuotolinių suinteresuotųjų šalių bendradarbiavimą taikant holografinę dalyvių funkciją, vizualizuojant duomenis visame 3D kontekste;
- Kokybės pagerinimas ir neatitikimų nustatymas, pridedant erdvinį kontekstą į realų pasaulį, kad būtų galima sekti statybos ar projektavimo progresą ir anksčiau priimti pagrįstus dizaino sprendimus (žr. 38 pav.);
- Kainos sumažinimas, įtraukiant suinteresuotąsias šalis į projektavimą anksčiau ir dažniau, pašalinant projekto perdarymo/taisymo dažnumą ir sumažinant kelionių išlaidas;
- Saugos padidinimas, sumažinant poreikį lankytis statybos aikštelėje, galimybė mokyti darbuotojus nuotoliniu būdu ir nustatyti galimas projektavimo klaidas prieš pradedant statyti;

- Komandinio darbo skatinimas, užkertant kelią klaidų atsiradimui, perduodant naujausią informaciją, naudojantis „Trimble Connect“ programa, skirta „HoloLens“.

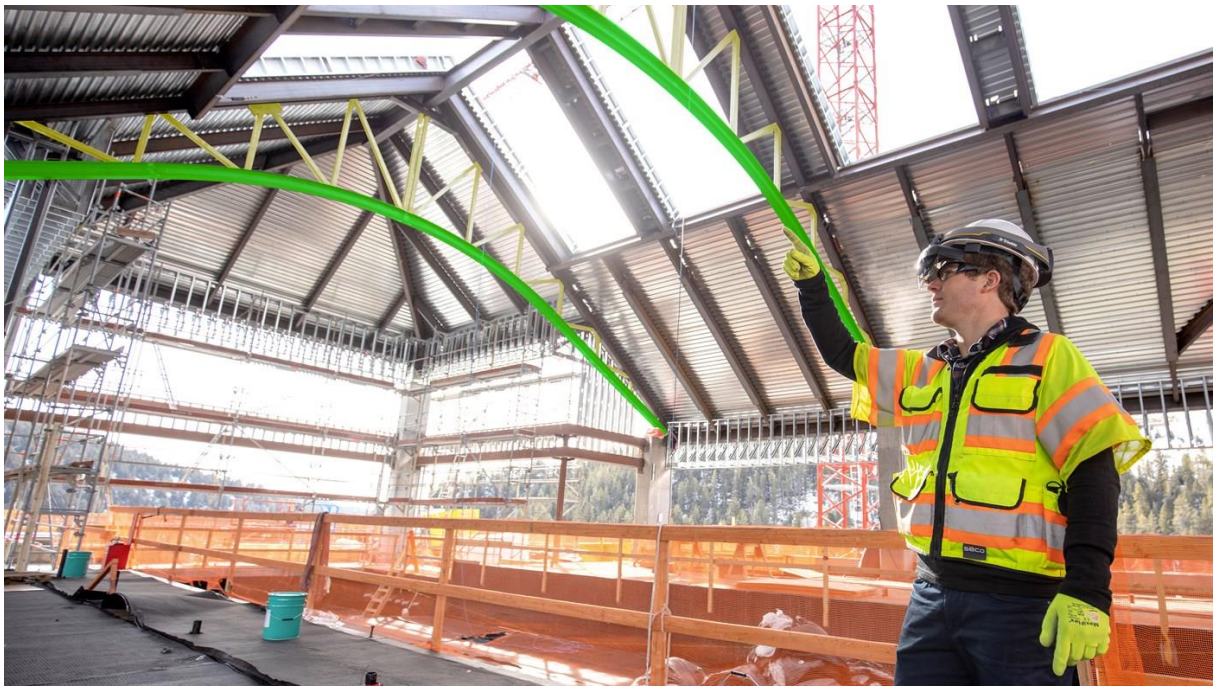


38 pav. „Trimble Connect“ programos naudojimas su „HoloLens 2“ („Microsoft“, 2020b)

„Trimble Connect“ programos funkcijos („Microsoft“, 2020b):

- „Trimble Connect“ debesies platformos integracija;
- .SKP, .RVT, .DWG, .DXF, .IFC, .DGN formatų palaikymas;
- Rankinis QR kodo prisijungimas;
- Naršyklės ir informacijos suvestinės: projektas, duomenys, rodiniai, užduotys (informacijos užklausų valdymas) ir naršyklių rūšiavimas;
- Modelio peržiūra (stalinė ir įtraukianti);
- Kelių modelių sluoksnių palaikymas;
- Pjūvių dėžutė, automatinis modelio optimizavimas ir „ apvalaus žuvies akvariumo“ režimas bet kokio dydžio modeliui valdyti;

- Objekto savybių atkūrimas;
- Modelio suderinimas su realaus pasaulio plokštuma;
- Modelio suderinimas su realaus pasaulio plokštuma, pritvirtinant modelį prie tikslaus ašių tinklo (žr. 39 pav.);
- Užduočių kūrimas;
- Matavimai (modelio su modeliu, modelio su realiu pasauliu ir realaus pasaulio su realiu pasauliu);
- Nuotolinis „HoloLens 2“ prietaisų bendradarbiavimas;
- Vietinis bendradarbiavimas tarp „HoloLens“ prietaisų;
- „Prisijungimo meniu“ balso komanda sugrįžimui į meniu;
- Sekos nustatymo įrankis fazių peržiūrai ir laisvų rankų 3D instrukcijos žingsnis po žingsnio;
- Modelio tekstūrų palaikymas;
- Modelio permatomumo koregavimas;
- Išsaugotų duomenų demonstracinis režimas neprisijungus.



39 pav. Modelio elementų rodymas realaus pasaulio tikslioje vietoje („Microsoft“, 2020b)

3. Statybvietės peržiūra:

Didžiausias papildytosios realybės naudojimo privalumas yra galimybė pamatyti, kaip suprojektuoti elementai tinka statybos aikštelėje. Tai projektų vadovams suteikia galimybę pamatyti, kaip viskas dera vietoje, prieš užsakant medžiagas arba nustatyti, kiek darbo jėgos reikia tam tikros konstrukcijos ar įrengimui. Darbininkai, turintys išmaniuosius įrenginius (tokius, kaip „Microsoft HoloLens 2“), gali matuoti jau sumontuotus gaminius ir palyginti jų matmenis su nurodytais modelio duomenimis. Vykdant 3D modelio peržiūrą statybvietėje, galima ankstyvoje stadijoje nustatyti neatitikimus projekte ir išvengti didelių išlaidų bei vėlavimų.

4. Sauga ir kontrolė:

Su įrenginiais, tokiais, kaip „Microsoft HoloLens 2“ galima vykdyti saugos ir atliktų darbų kokybės patikrą. Jungtinių Amerikos Valstijų Mokslinių tyrimų institutas (angl. *„Scientific Research Institute*“), naudoja išmaniuosius akinius, kad padėtų techninei priežiūrai sutaupyti laiko, sumažinti išlaidas ir pagerinti saugą. Paprastai tikrinimo procesas atliekamas rankiniu būdu ir dažnai reikalauja daugiau nei vieno asmens. Su „HoloLens 2“ techninė priežiūra gali tiksliai palyginti įrengtas konstrukcijas su BIM modeliu. Be to, gali fiksuoti nuotraukas, esant poreikiui, arba peržiūrėti užrašus iš statybos aikštelių. Statybvietėje esančių sudėtingų projekto vietų nustatymas ir pasidalinimas su kitomis suinteresuotosiomis šalimis tampa lengvesnis ir greitesnis.

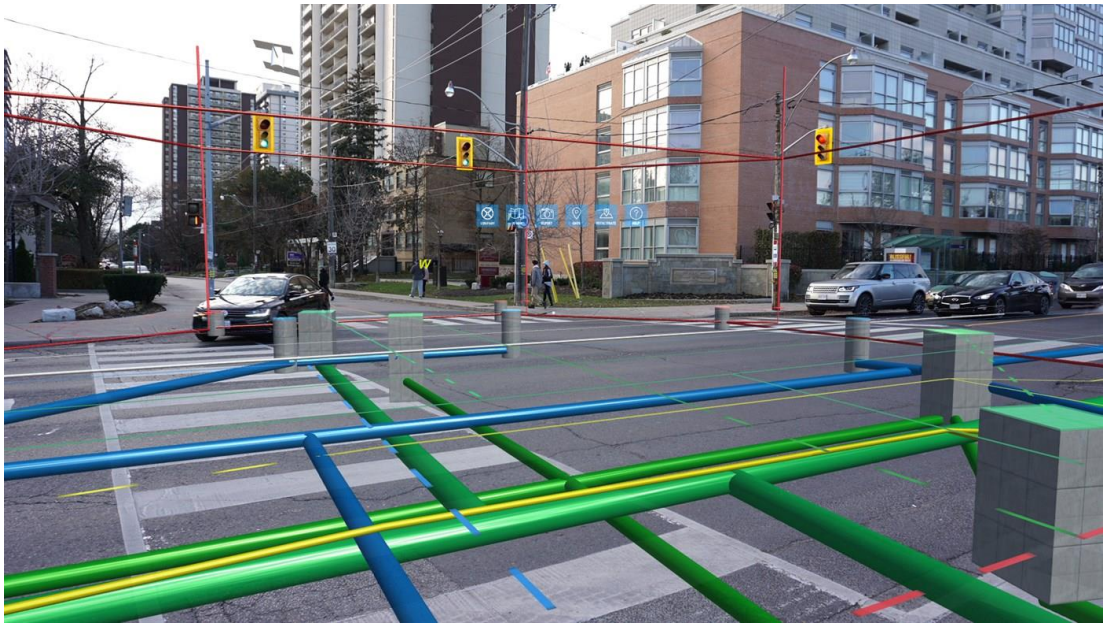
5. Požeminė statyba:

Žemės kasimo procese yra rizika užkliudyti ar sugadinti įvairias požemines inžinerines sistemas ir tai gali sukelti įvairius sprogimus, padaryti didelę žalą aplinkai, žmonėms. „vGIS Utilities“ yra programa, leidžianti vartotojams pamatyti po žeme ir ne tik esančias komunikacijas. „vGIS“ yra vizualizacijos platforma, kuri perkelia „Bentley BIM“, „Autodesk CAD“, „Esri ArcGIS“ ir kitų tipų duomenis į papildytosios realybės vaizdus. „vGIS“ veikia ne žemesnės nei 7 „Android“ operacinės sistemos telefonuose ir planšetiniuose kompiuteriuose, taip pat ne žemesnės nei 11.1 „iOS“ operacinės sistemos telefonuose ir planšetiniuose kompiuteriuose bei su įrenginiais, turinčiais „Windows 10“ ar aukštesnę operacinę sistemą ir išmaniaisiais akiniais „HoloLens“ ir „Microsoft HoloLens 2“ („Microsoft“, 2020c).

Pagrindinės programos charakteristikos („Microsoft“, 2020c):

- Tikslumas: 5 cm vietos tikslumas daugelyje sričių;
- Nuosekli vizualizacija: trimačiai sluoksniai sinchronizuojami su fiziniu pasauliu tiksliu „ašių pririšimu“;
- Įvairių įrenginių palaikymas („Android“, „iOS“, „Windows“);
- Programos veikimui ereikia papildomos įrangos;
- Pažangus bendradarbiavimas: integruotos hologramos, vaizdo ir garso įrašai, jungiantys biuro darbuotojus su statybvietės komandomis;
- GIS (liet. *Geografinės informacijos sistema*) integracija: dvikryptė integracija su „Esri ArcGIS“ ir kitomis GIS sistemomis
- GNSS (liet. *Pasaulinė palydovinės navigacijos sistema*) integracija: integruoja tikslius GNSS duomenis iš „EOS“, „SXBlue“ ir „Trimble“;
- Įvairių vaizdo tipų palaikymas: asmens patirtis statybos aikštelėje ir atitolinimo vaizdai, pavyzdžiui, iš „paukščio skrydžio“;
- GIS objekto palaikymas: palaiko taškų, linijų, plotų, tūrių ir 3D objektų vizualizaciją (žr. 40 pav.);

- 3D objektų palaikymas: natūraliai rodo objektus iš „Esri CitiEngine“ ir „Trimble SketchUp“ programų.



40 pav. Požeminių ir antžeminių inžinerinių tinklų vizualizacija „vGIS“ programa („Microsoft“, 2020c)

6. Treniruotės:

Statybos procesuose dalyvauja įvairios mašinos, kurioms valdyti gali reikėti nemažai valandų mokymų. Tačiau šiuo metu yra papildytosios realybės ausinės, leidžiančios darbuotojams gauti tiesioginius nurodymus ir atitinkamai veikti. Dėl papildytosios realybės laisvų rankų įrangos sumažinamos mokymų išlaidos ir prastovos. Be to, papildytoji realybė gali suteikti saugesnę mokymo aplinką. Pavyzdžiui, „Asobo Studio“ 2017 metais pristatytas krano simuliatorius „The Holocrane“, kuriuo naudojantis su „Microsoft HoloLens“ išmaniaisiais akiniais galimas saugesnis būsimų kranų operatorių mokymas (Palladino, 2017), (žr. 41 pav.).



41 pav. „The Holocrane“ simuliatorius su „Microsoft Hololens“ akiniais (Palladino, 2017)

7. Išlaidų taupymas:

Papildytoji realybė gali padidinti darbo našumą, sumažinti išlaidas ir pagerinti saugą, naudojant ją per visą projekto gyvavimo ciklą. Pavyzdžiui, laiko grafikų įvykdymas laiku labiau tikėtinas naudojant AR dėvimus įrenginius, pavyzdžiui, „Microsoft HoloLens 2“, darbuotojams parodant, kokias užduotis ir kada jas reikia atlikti.

3.2.2. Virtualioji realybė statybose

Pagrindinės sritys, kuriose naudojama virtualioji realybė statybose (Strohanova, 2019):

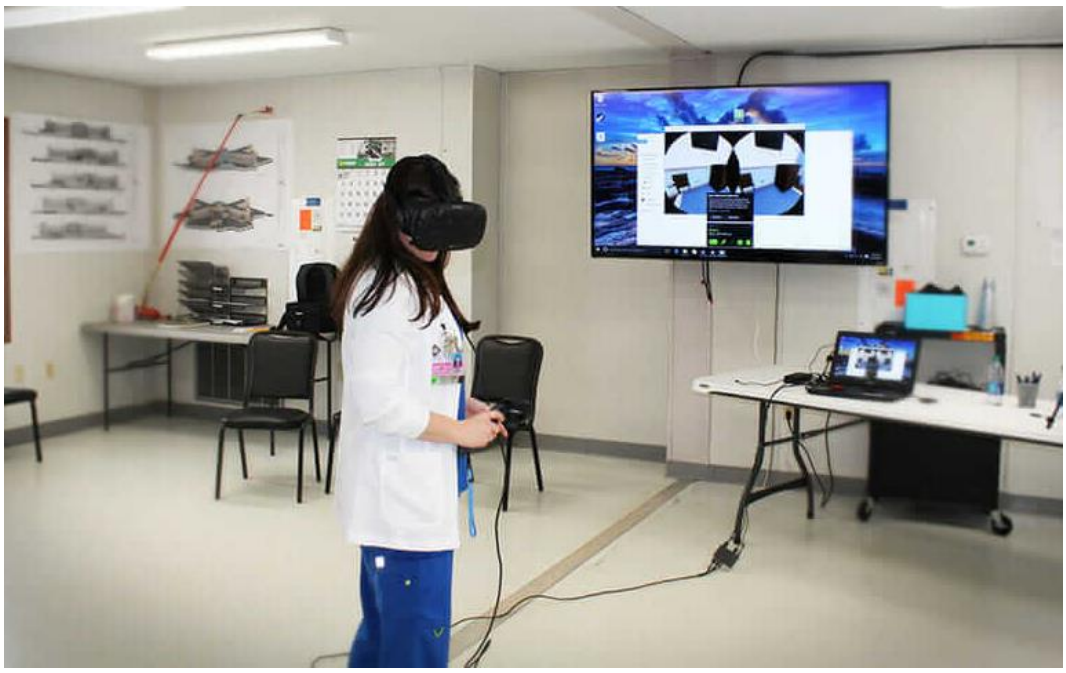
1. 3D modeliavimas ir BIM pritaikymas:

Pagrindinis BIM modelių tikslas yra palengvinti pastato duomenų gavimą ir valdymą sukuriant fizines vietas tiek 2D, tiek 3D formatu su jų funkcinėmis savybėmis. BIM modeliai ir VR technologijos gali susijungti į interaktyvesnį, įtraukiantį ir išsamesnį virtualų statybos projekto vaizdą. Naudojantis VR įrenginiais galima pamatyti ar pasivaikščioti pastate, kuris dar nėra pastatytas.

2. Bendradarbiavimas virtualiojoje realybėje:

Rangovo požiūriu, virtualioji realybė gali būti patogus būdas aptarti visus svarbius ar aktualius klausimus, nepriklausomai nuo to, kur yra komandos nariai. Jie gali susitikti virtualioje konferencijų salėje ir pamatyti vienas kito VR pristatymus ir taip pat naudotis kūno kalba. Galima įtraukti visus 3D modelius į bendrą matomą aplinką, kad jie būtų visų dalyvių akivaizdoje ir su jais sąveikautų. Be vietos veiksnio, kuriuo galima atskirti darbuotojus, yra ir nuotaikos veiksnys, VR aplinką galima koreguoti ir pakeisti, kad būtų sukurtos norimos vietos: kosmosas, vandenyno dugnas, futuristinė salė ar kt.

Užsakovo požiūriu, virtualioji realybė gali suteikti klientams galimybę pakeisti projekto sprendinius ar persvarstyti savo norus dar planavimo etape. Kai visos suinteresuotos šalys bendradarbiauja efektyviai, gali būti išvengiama nesusipratimų ir klaidų. Tokio bendradarbiavimo pavyzdys yra medicinos centras Florencijoje, Alabamos valstijoje. Centrą „Autodesk Revit“ programa projektavusi bendrovė „Layton Construction“ sukūrė realius 3D modelius, leidžiančius žmonėms vaikščioti po medicinos palatas. Baigę VR maketus, jie leido centro darbuotojams laisvai judėti ir sąveikauti su aplinka, naudojantis „HTC VIVE“ sistema (žr. 42 pav.). Medicinos centro projektą peržiūrėjo daugiau nei 200 žmonių, iš kurių projektuotojai gavo vertingų atsiliepimų projekto koregavimui ankstyvoje stadijoje (Angus ir Stocking, 2017).



42 pav. Medicinos centro projekto peržiūrai naudojama įranga „HTC VIVE“ (Angus et al, 2017).

3. Nuotoliniai statybos aikštelės vizitai:

Derinant VR technologijas ir 3D kamerą, galima transliuoti 360 laipsnių vaizdo įrašą realiu laiku ir leisti bet kurioms suinteresuotosioms šalims surengti statybos eigos apžiūrą. Be to, potencialūs naujų butų pirkėjai gali apžiūrėti savo būsimą turtą, išbandyti įvairius interjero dizaino sprendinius virtualiojoje realybėje. Tai suteikia galimybę pradėti pardavinėti nekilnojamąjį turtą dar neprasidėjus statyboms.

4. Efektyvesni ir saugesni statybininkų mokymai:

Mokyti sunkiosios technikos darbuotojus, pavyzdžiui, kranų operatorius, virtualiojoje realybėje yra pigiau ir daug saugiau. Virtualioji realybė leidžia darbuotojams mokytis valdyti pavojingą įrangą be jokios rizikos. Pasaulyje pirmaujanti geriausių medžiagų tvarkymo produktų ir intelektualių vidinės logistikos sprendimų tiekėja „Raymond Corporation“, turi VR programą, skirtą mokytis nerizikingoje aplinkoje. Naudojantis programa, pašalinama bet kokio žmogaus sužalojimo ir įrangos žalos rizika, o tai padeda išvengti papildomų išlaidų.

Į „Raymond“ virtualiosios realybės simuliatoriaus programinę įrangą įtraukti kelių tipų keltuvai. Kiekvienas keltuvas turi tam tikrą skaičių vedamų pamokų, kurios tampa vis sudėtingesnėmis ir yra grindžiamos ankstesnėse pamokose išmoktais principais, suteikdamos operatoriams nuoseklią patirtį bei kartu sustiprindamos norimą mokinio elgesį. Mokymai vyksta, naudojantis „VR Goggles“ akiniais („Raymond Corporation“, 2020), (žr. 43 pav.).

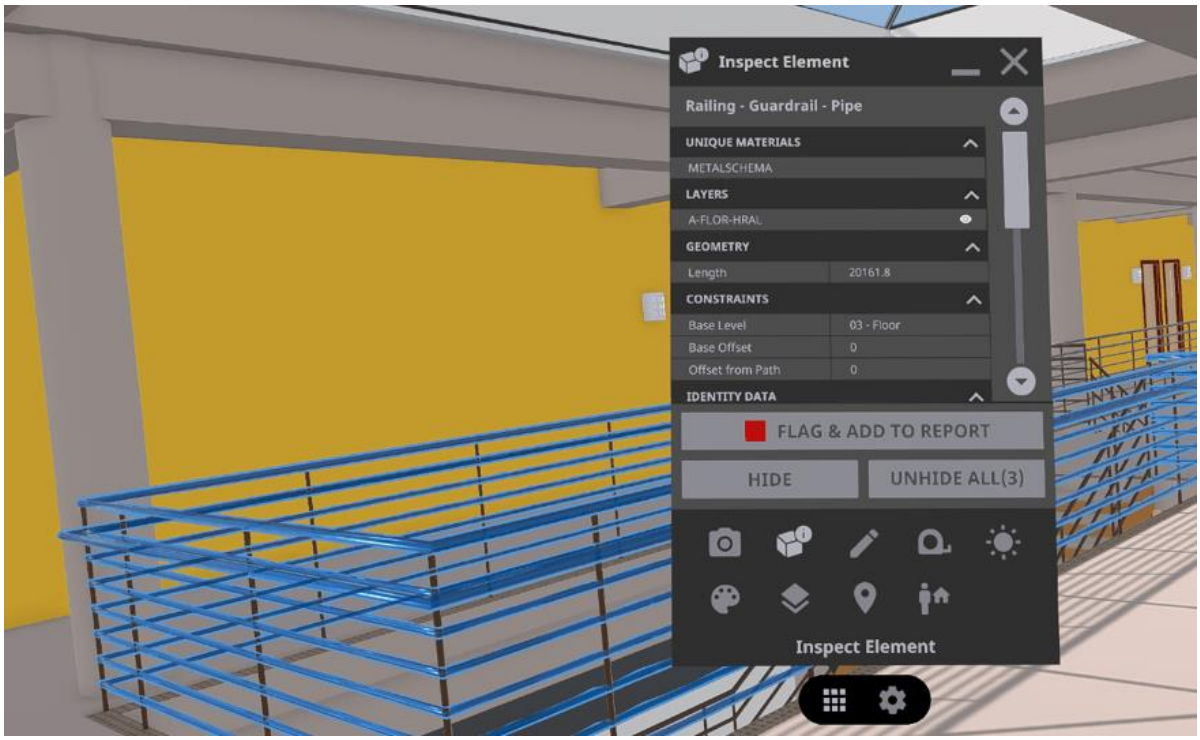


43 pav. „Raymond“ virtualiosios realybės simuliatorius („Raymond Corporation“, 2020)

Programa „Iris VR Prospect“ gali konvertuoti „Revit“, „Navisworks“, „Rhino“, „SketchUp“ ir kt. 3D modelius į virtualiąją realybę, suteikdama galimybę bendradarbiauti ir rengti susitikimus virtualioje 3D modelio erdvėje.

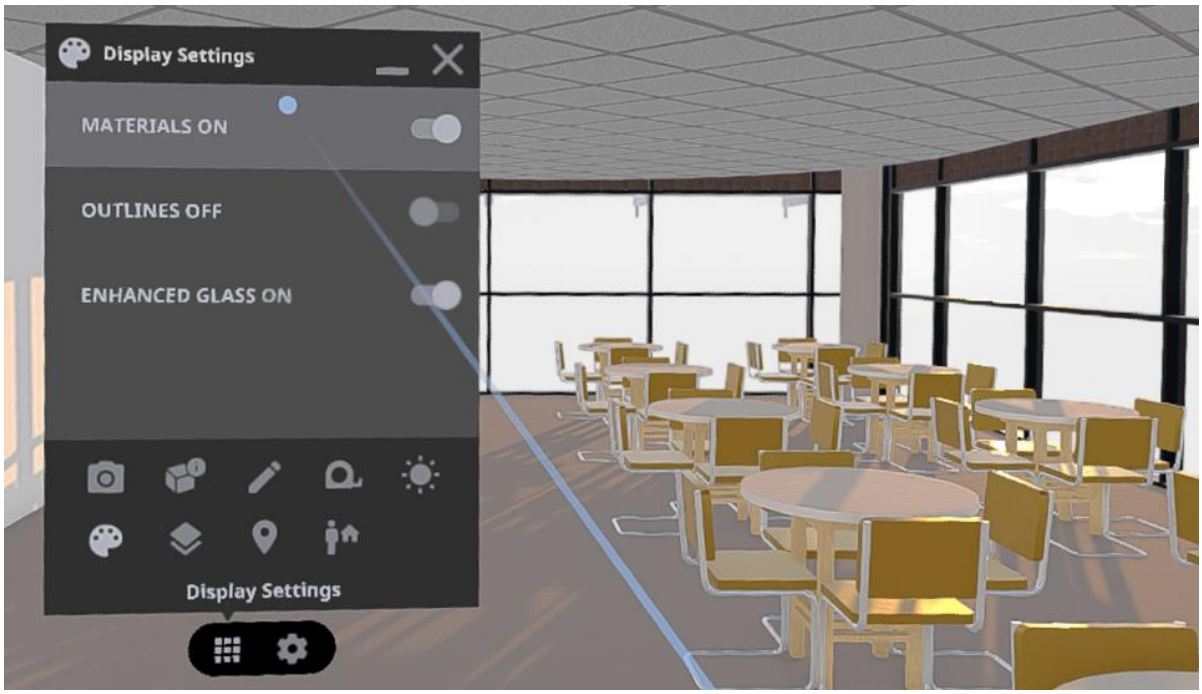
Iš „Revit“ programos modelio į virtualiąją realybę importuojama tokia informacija („IrisVR“, 2020a):

1. BIM objektų savybės – norint patikrinti bet kurio BIM elemento metaduomenis, naudojamas įrankis „Tikrinti elementą“ su galimybe pažymėti elementą vėlesnei peržiūrai (žr. 44 pav.);



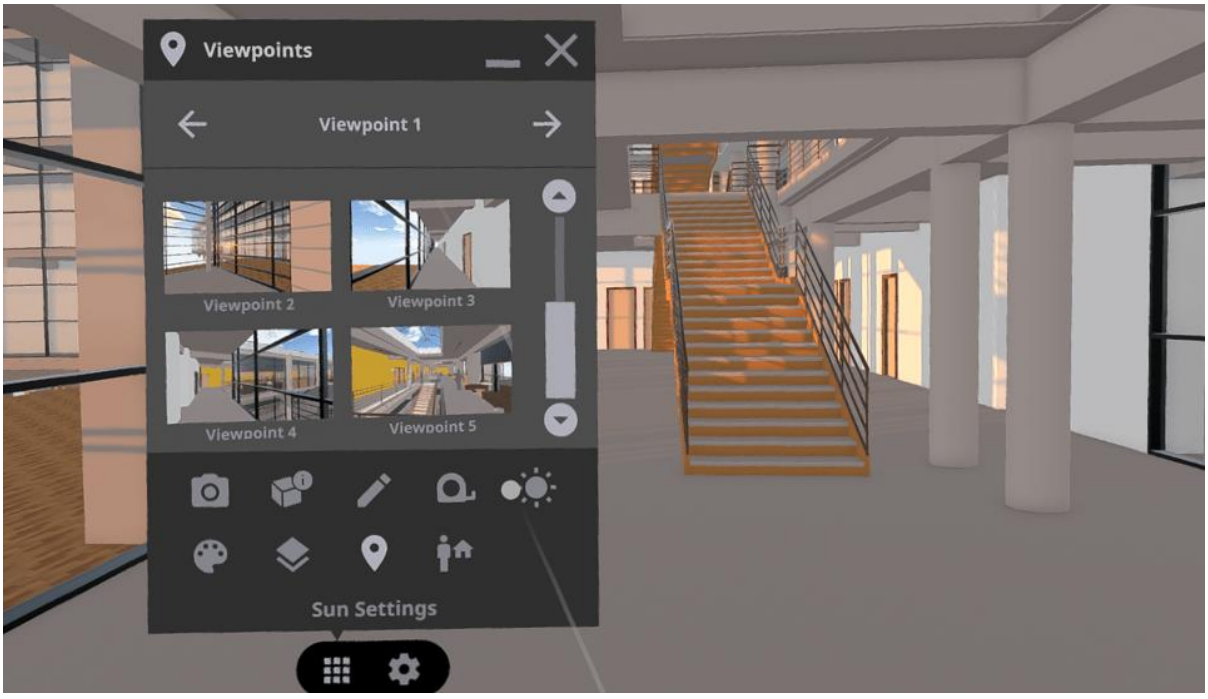
44 pav. „Tikrinti elementą“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020a)

2. Medžiagos – 3D modelis matomas, toks, koks buvo suprojektuotas „Revit“ programoje, atitinkamo mastelio, išlaikant visas medžiagas (žr. 45 pav.);



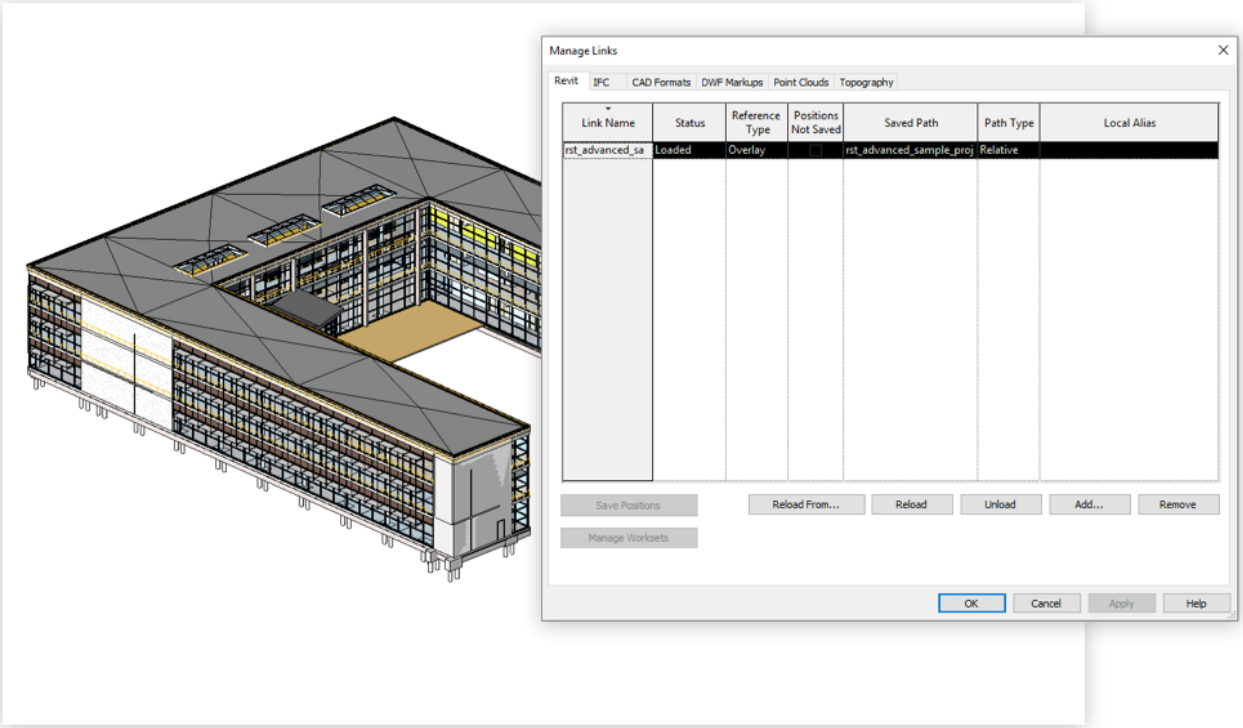
45 pav. „Revit“ programa sumodeliuotų medžiagų rodymas („IrisVR“, 2020a)

3. Apžvalgos taškai - 3D vaizdai importuojami tiesiai į VR ir automatiškai tampa apžvalgos taškais. Naudojantis funkcija „Viewpoints“ dėmesys gali būti sutelkiamas į reikiamas modelio vietas masteliu 1:1 (žr. 46 pav.);



46 pav. „Viewpoints“ funkcijos peržiūra „Revit“ („IrisVR“, 2020a)

4. Susieti failai - susieti „Revit“ failai iš trimačio vaizdo perkeliami į virtualiąją realybę (žr. 47 pav.).



47 pav. Susietų failų valdymas virtualiojoje realybėje („IrisVR“, 2020a)

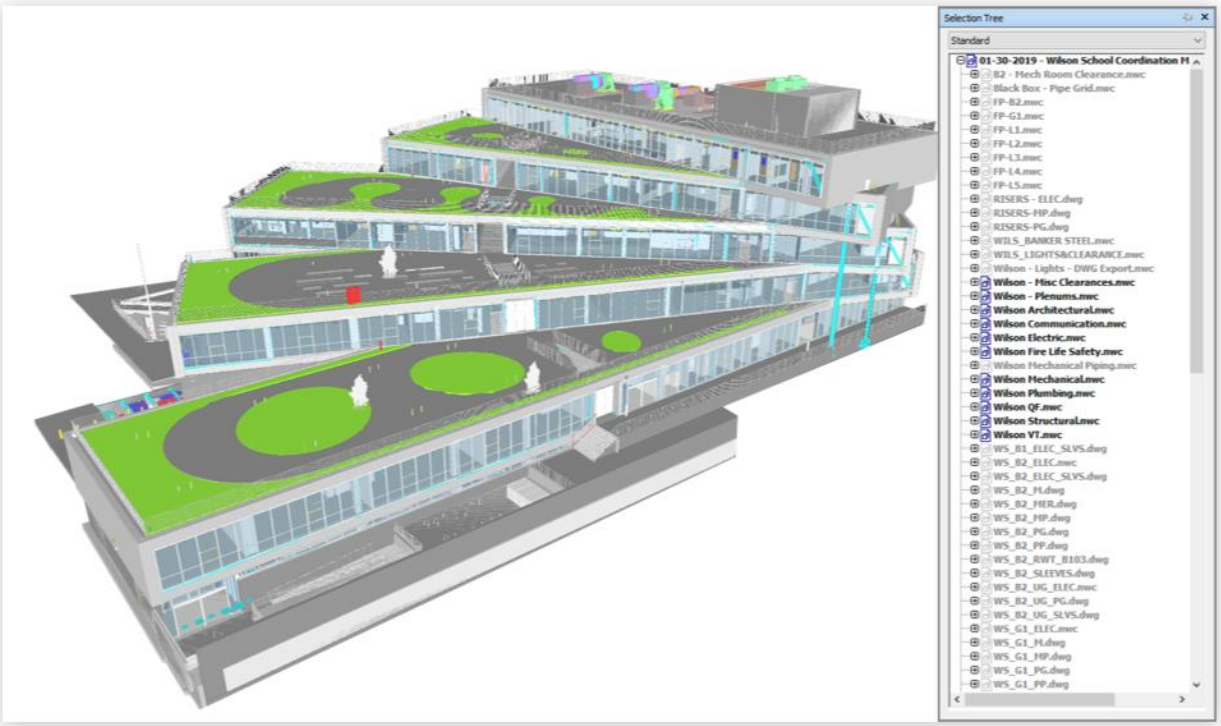
Iš „Navisworks“ programos modelio į virtualiąją realybę importuojama tokia informacija („IrisVR“, 2020b):

1. Elemento-lygio BIM metaduomenys – perkeliama visa svarbi modelio informacija (žr. 48 pav.);



48 pav. „Tikrinti elementą“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020b)

2. Susieta geometrija (žr. 49 pav.);



49 pav. Geometrijos perkėlimas iš „Navisworks“ į „IrisVR Prospect“ („IrisVR“, 2020b)

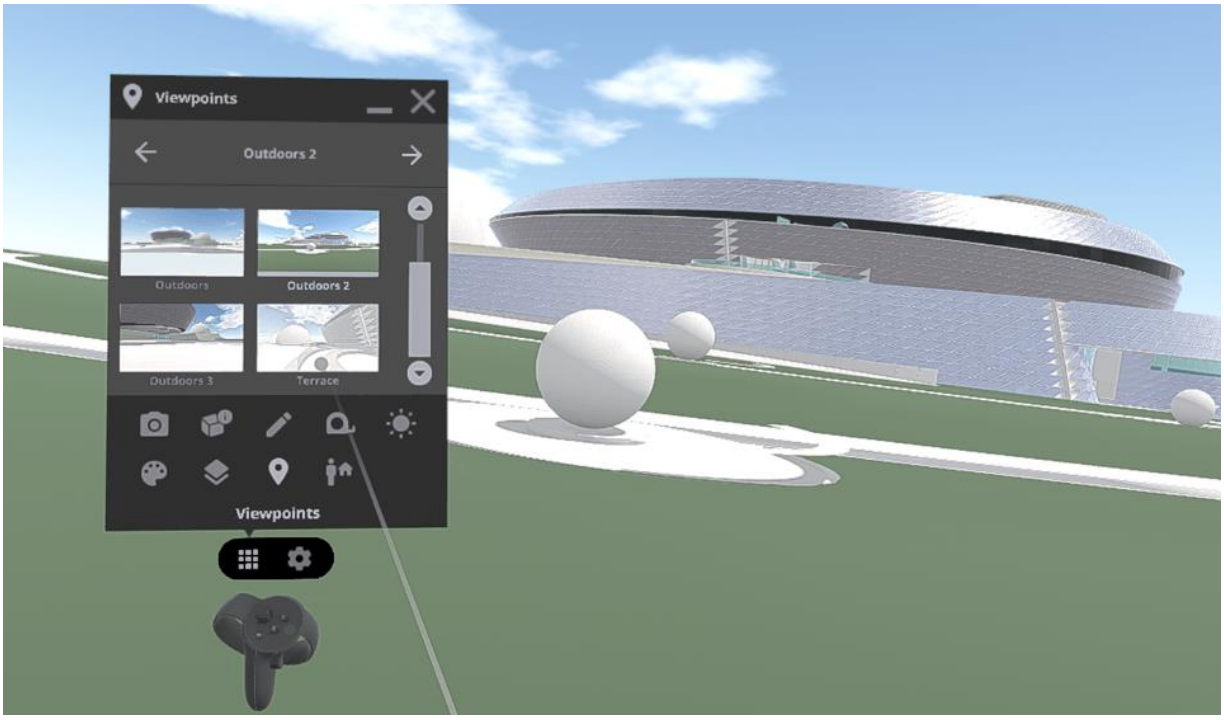
3. Apžvalgos taškai - išsaugoti „Navisworks“ vaizdai importuojami tikslingoms modelių peržiūros sesijoms. Galima įtraukti susidūrimus į VR, eksportuojant „Clash Reports“ kaip apžvalgos taškus (žr. 50 pav.).



50 pav. „Viewpoints“ funkcijos peržiūra „Navisworks“ („IrisVR“, 2020b)

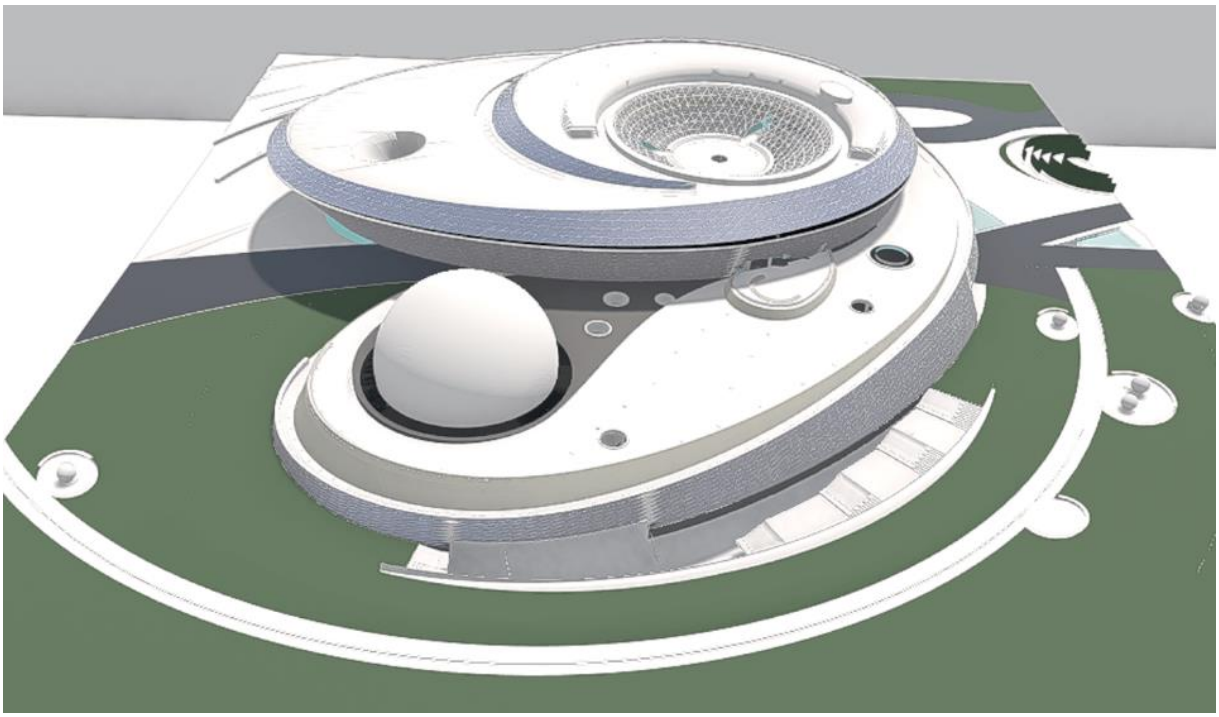
Iš „Rhino“ programos modelio į virtualiąją realybę importuojama tokia informacija („IrisVR“, 2020c):

1. Sukurti vaizdai (angl. *Named Views*) - „Rhino“ sukurti vaizdai konvertuojami į peržiūros taškus „IrisVR Prospect“ (žr. 51 pav.);



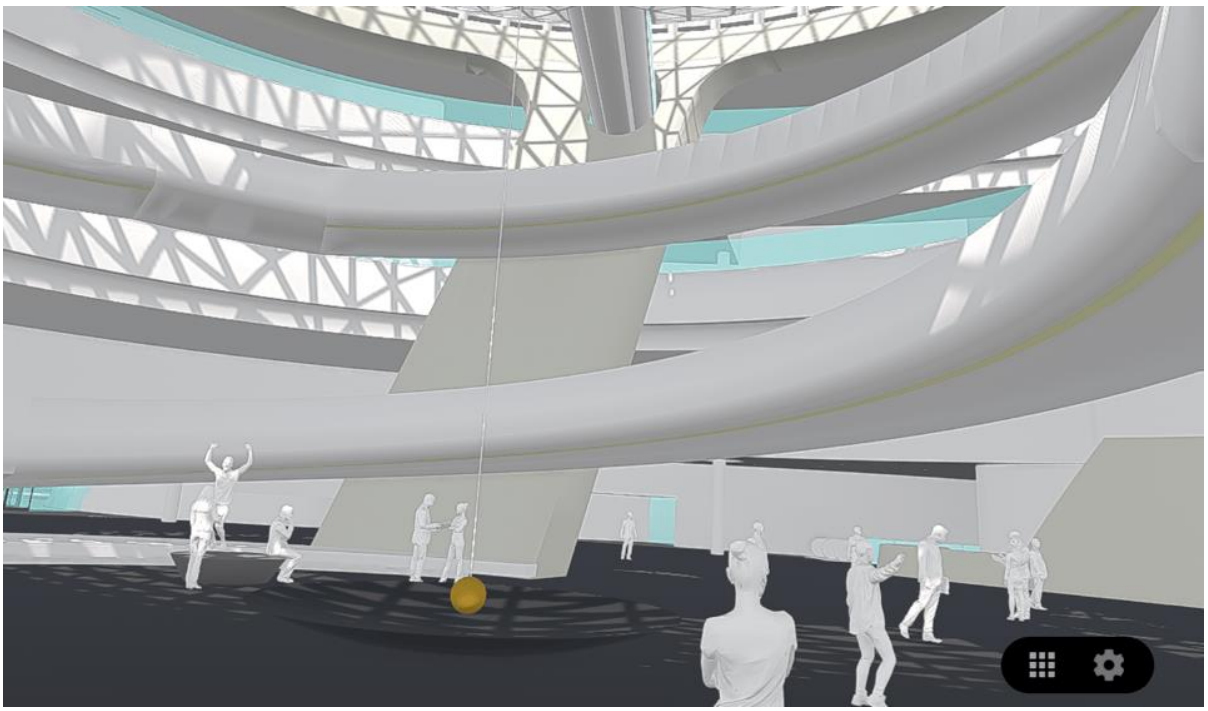
51 pav. „Viewpoints“ funkcijos peržiūra „Rhino“ („IrisVR“, 2020c)

2. Medžiagos – modelis matomas taip, kaip jis buvo sukurtas „Rhino“ – tikslaus mastelio, išlaikant visas medžiagas (žr. 52 pav.);



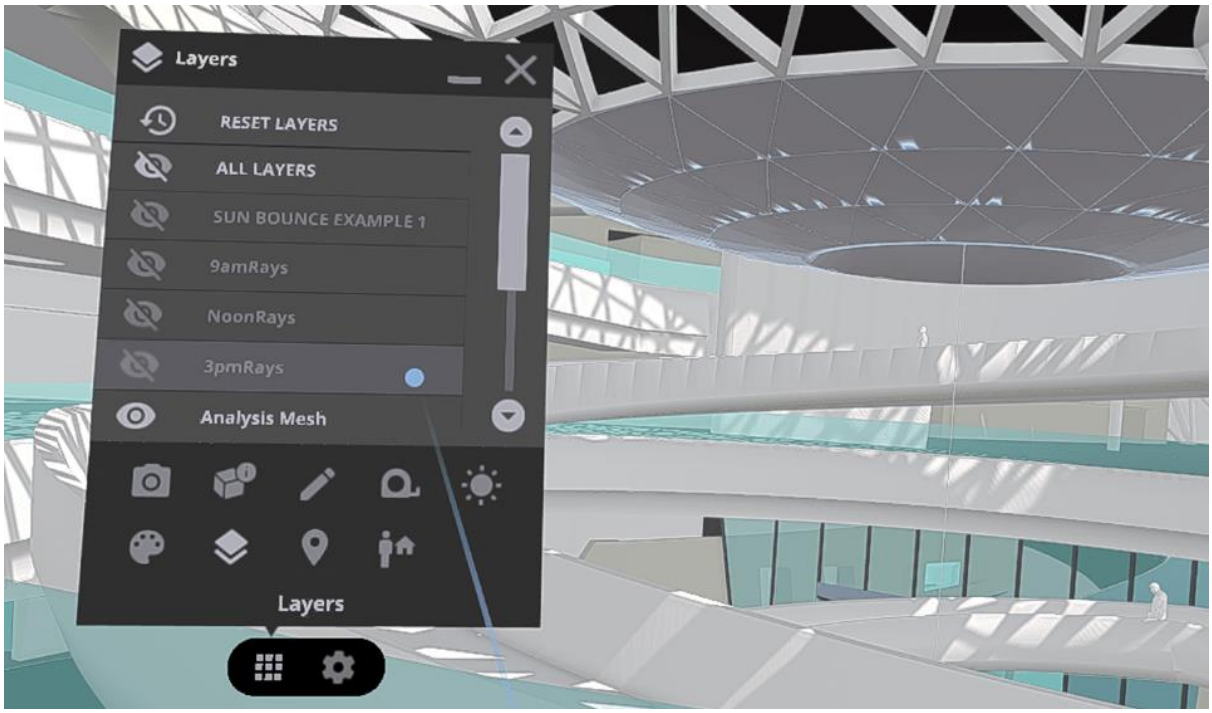
52 pav. Medžiagų importavimas iš „Rhino“ („IrisVR“, 2020c)

3. Geografinė padėtis ir saulės tyrimai – norint atlikti tikslius saulės ir šešėlio tyrimus, naudojama funkcija „Sun Settings“ (žr. 53 pav.);



53 pav. „Sun Settings“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020c)

4. Sluoksniai – palaikoma sluoksnių įjungimo ir išjungimo funkcijos, leidžiančios peržiūrėti skirtingų spalvų ir medžiagų parinktis (žr. 54 pav.).



54 pav. Sluoksnių funkcijos peržiūra „Rhino“ („IrisVR“, 2020c)

Iš „SketchUp“ programos modelio į virtualiąją realybę importuojama tokia informacija („IrisVR“, 2020d):

1. Medžiagos - visos „SketchUp“ tekstūros palaikomos VR (žr. 55 pav.);



55 pav. Medžiagų importavimas iš „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d)

2. Scenos – kameros vaizdai iš „SketchUp“ automatiškai paverčiami „Viewpoints“ (žr. 56 pav.);



56 pav. Scenų importavimas iš „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d)

3. Geografinė padėtis ir saulės tyrimai – norint atlikti tikslius saulės ir šešėlio tyrimus, naudojama funkcija „Sun Settings“ (žr. 57 pav.);



57 pav. „Sun Settings“ funkcijos peržiūra („IrisVR“, 2020d)

4. Sluoksniai - palaikoma sluoksnių įjungimo ir išjungimo funkcijos, leidžiančios peržiūrėti skirtingų spalvų ir medžiagų parinktis (žr. 58 pav.).



58 pav. Sluoksnių funkcijos peržiūra „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d)

5. Komponentai ir grupės - „SketchUp“ failų komponentų geometrija VR rodoma be kliūčių. Tai taip pat rodomi „Face Me“ komponentai, tai 2D elementai, tokie, kaip, PNG vaizdai (paveikslėliai) konvertuoti į VR (žr. 59 pav.).



59 pav. 2D komponentų importavimas iš „SketchUp“ („IrisVR“, 2020d)

„Iris VR Prospect“ programa individuliam asmeniui kainuoja 207 Eur/mėn., komandai 322 Eur/mėn. Programa suderinama su „Windows 7“ ir aukštesnėmis operacinės sistemos versijomis bei su išmaniaisiais VR įrenginiais pateiktais 3 lentelėje.

3 lentelė. Su programa „IrisVR prospect“ suderinami VR išmanieji įrenginiai („IrisVR, 2020e)

Eil. Nr.	**Pavadinimas**	**Nuotrauka**	**Kaina, Eur**
1	„Oculus Rift“		275
2	„Oculus Rift S“		367
3	„Oculus Quest“		367 (64 GB atminties)- 459 (128 GB atminties)
4	„HTC Vive“		-

3 lentelės tęsinys. Su programa „IrisVR prospect“ suderinami VR išmanieji įrenginiai („IrisVR, 2020e)

5	„HTC Vive Pro“		-
6	„Valve Index“		1079
7	„Pimax 5K Plus, 5K XR, 8K		1105, 1289, 1197
8	„HP Reverb“		552
9	„Dell Visor“		394 (Lietuvoje)
10	„Samsung HMD Odyssey/Odyssey+“		369, 257
11	„Acer Windows Mixed Reality Headset“		460
12	„Lenovo Explorer“		-
13	„HP Windows Mixed Reality Headset“		433

Peržiūrėjus papildytosios ir virtualiosios realybės tendencijas statybose, matomi tokie privalumai:

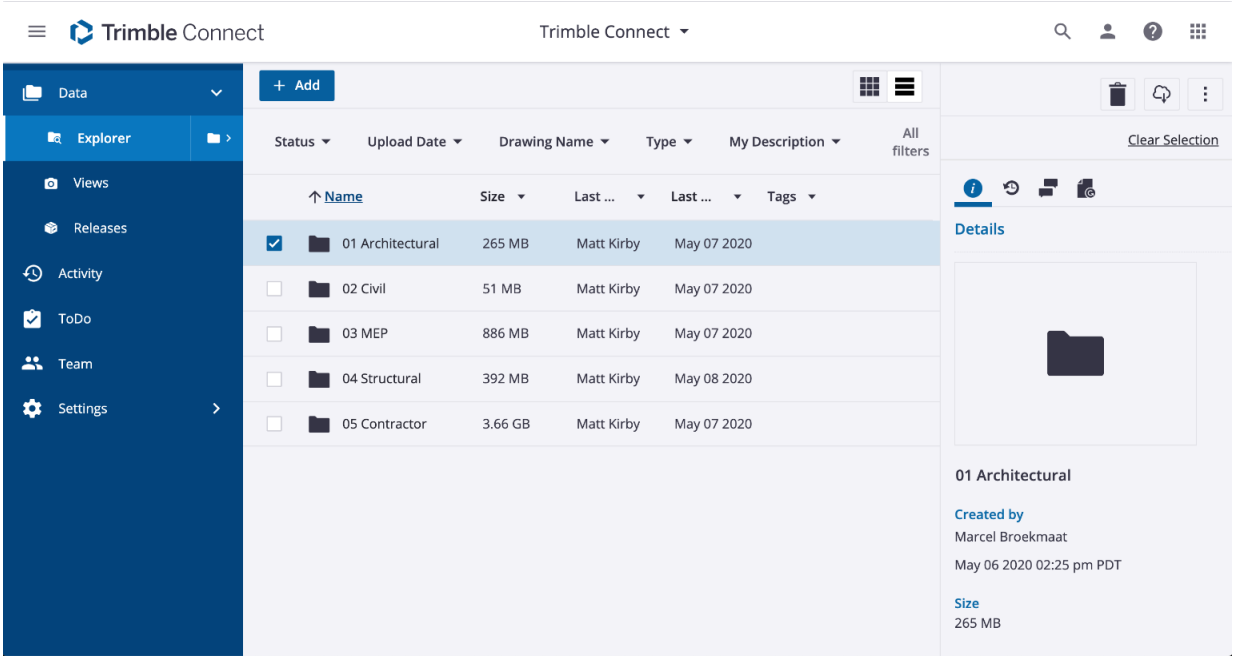
- Sutaupomas laikas ir pinigai – visoms suinteresuotosioms projekto šalims bendradarbiaujant VR ir AR realybėje, ankstyvoje stadijoje lengviau pamatomos projekto klaidos ir paprasčiau pasirenkamas norimas dizainas, todėl sumažinamas pakeitimų skaičius statybų metu;
- Pagerinama mokymosi dirbti sunkiaisiais mechanizmais statybose patirtis ir sauga – AR ar VR realybėje mokantis valdyti kraną, keltuvą ar kitą priemonę, išvengiama žmogaus sužalojimo ar įrangos sugadinimo;
- Pagerintas bendradarbiavimas virtualiais susitikimais, nuotoline objekto apžiūra;
- Pagerinama projekto kokybė – greičiau priimami sprendimai, matant aiškų 3D vaizdą mažiau klaidingų projekto interpretacijų ir darbų perdarymo.

3.3. Mobiliosios debesies programos

Debesimi paremtos programos yra statybos skaitmeninės revoliucijos pagrindas. Tai suteikia greitesnį informacijos dalijimąsi su visais projekto dalyviais. Taip pat duomenų praradimo apsaugą, pavyzdžiui, sugedus kompiuteriui, išmaniajam telefonui ar planšetiniam kompiuteriui, nors dažnai duomenis galima atkurti, tačiau tai užimtų daug brangaus statybų proceso laiko. Debesies programose galima dėti ir dalintis didelės apimties failais, prijungti reikiamus komandos narius failų redagavimui ir matyti naujausią informaciją, pakeitimus realiu laiku.

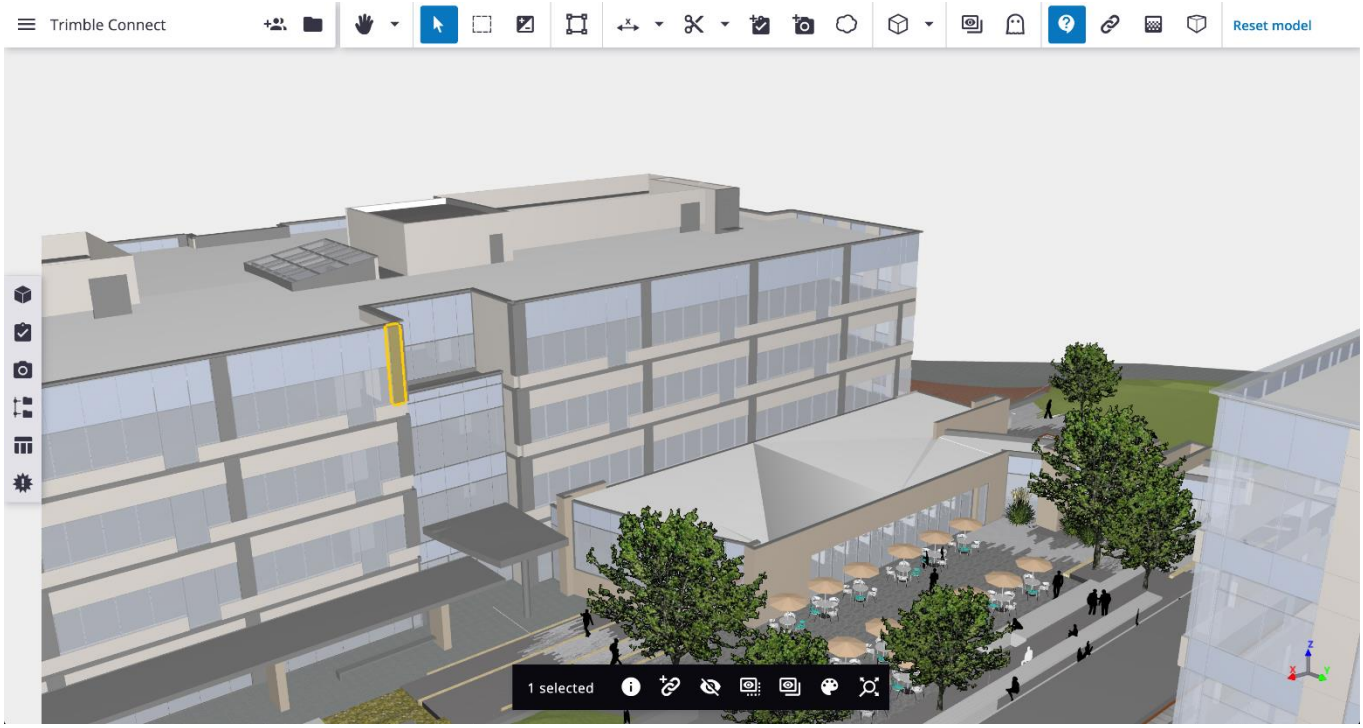
Viena tokių programų, kuria galima naudotis ne tik kompiuteriuose, bet ir išmaniuosiuose telefonuose („Android“ ir „iOS“ operacinių sistemų) yra „Trimble Connect“, kurios pagrindinės funkcijos („Trimble Connect“, 2020):

1. Duomenų valdymas – galima kurti projektus, katalogus, kelti įvairių formatų failus (žr. 60 pav.);



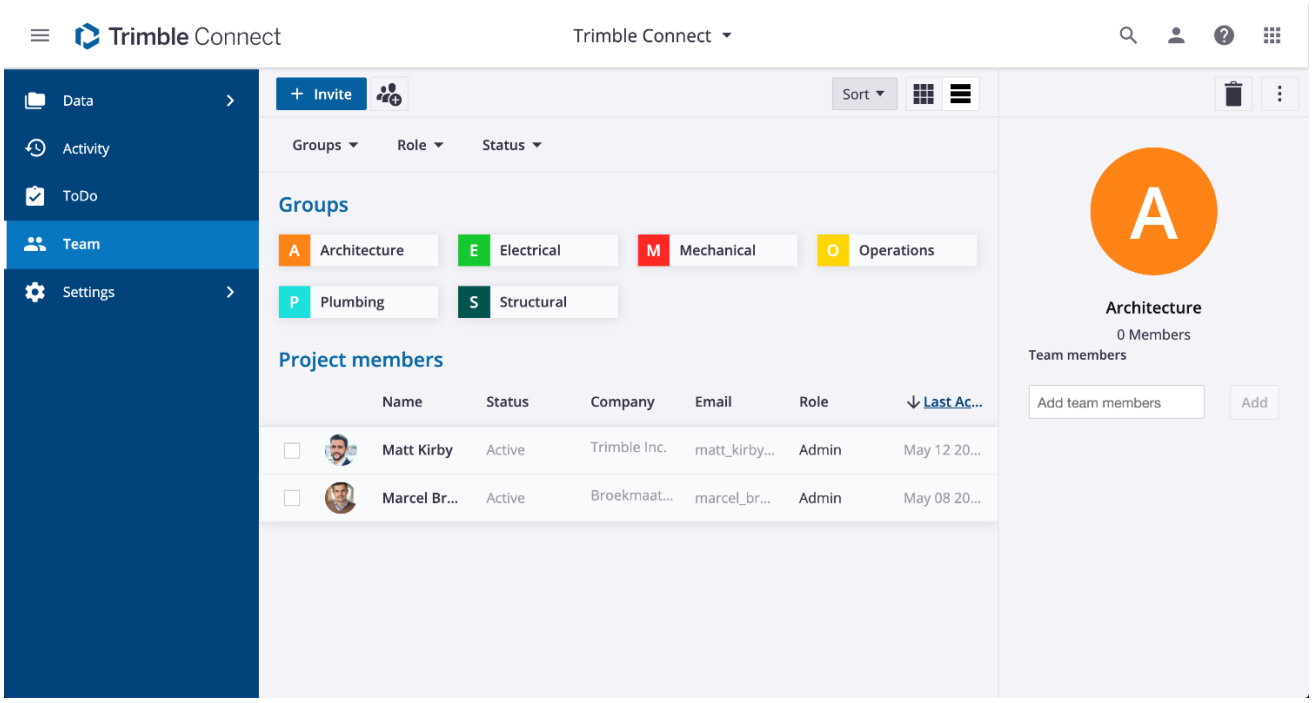
60 pav. „Trimble Connect“ duomenų valdymas („Trimble Connect“, 2020)

2. 3D modelių valdymas – 3D modelių peržiūra, dalijimasis naujausiais brėžiniais su komandos nariais, galimybė komentuoti įvairius projekto dokumentus, parodyti klaidas, fiksuoti jų ištaisymo progresą (žr. 61 pav.);



61 pav. 3D modelių valdymas „Trimble Connect“ programoje („Trimble Connect“, 2020)

3. Komandų bendradarbiavimas – visi projekto dalyviai informaciją gali pasiekti, dalintis ir komentuoti realiu metu, būdami skirtingose vietose (žr. 62 pav.);



62 pav. „Trimble Connect“ projekto komandos kūrimas, valdymas („Trimble Connect“, 2020)

4. Projekto kokybės užtikrinimas ir kontrolė – susidūrimo taškų nustatymas mobiliosiomis ar virtualiosios / papildytosios realybės programomis, užduočių kūrimas, priskyrimas problemoms spręsti realiu metu (žr. 63 pav.);



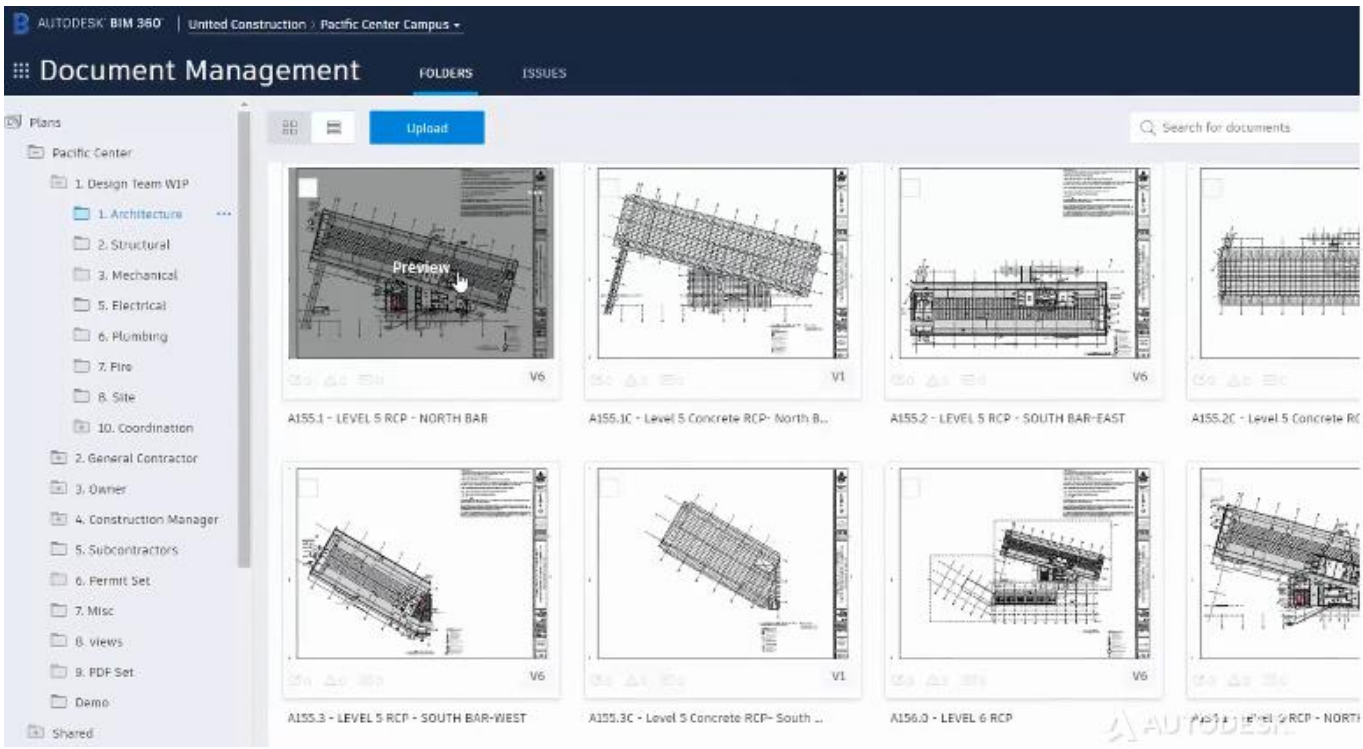
63 pav. Klaidų nustatymas ir taisymas realiu metu „Trimble Connect“ („Trimble Connect“, 2020)

„Trimble Connect“ programa palaiko įvairių partnerių, tokių kaip „Revit“, „SketchUp“, „ProjectSight“ (generalinių rangovų statybos procesų valdymo), „Tekla Structures“, „Stabicad12“ (inžinerinių sistemų projektavimo) ir trečiųjų šalių produktus, todėl galima įvairių 3D modelių ir kitos informacijos failų formatų integracija.

„Trimble Connect“ programinė įranga asmeniniam naudojimui yra nemokama (ribotas funkcijų kiekis), skirta verslui 92 Eur/metams ir 230Eur/metams vienam vartotojui, priklausomai nuo norimų funkcijų kiekio.

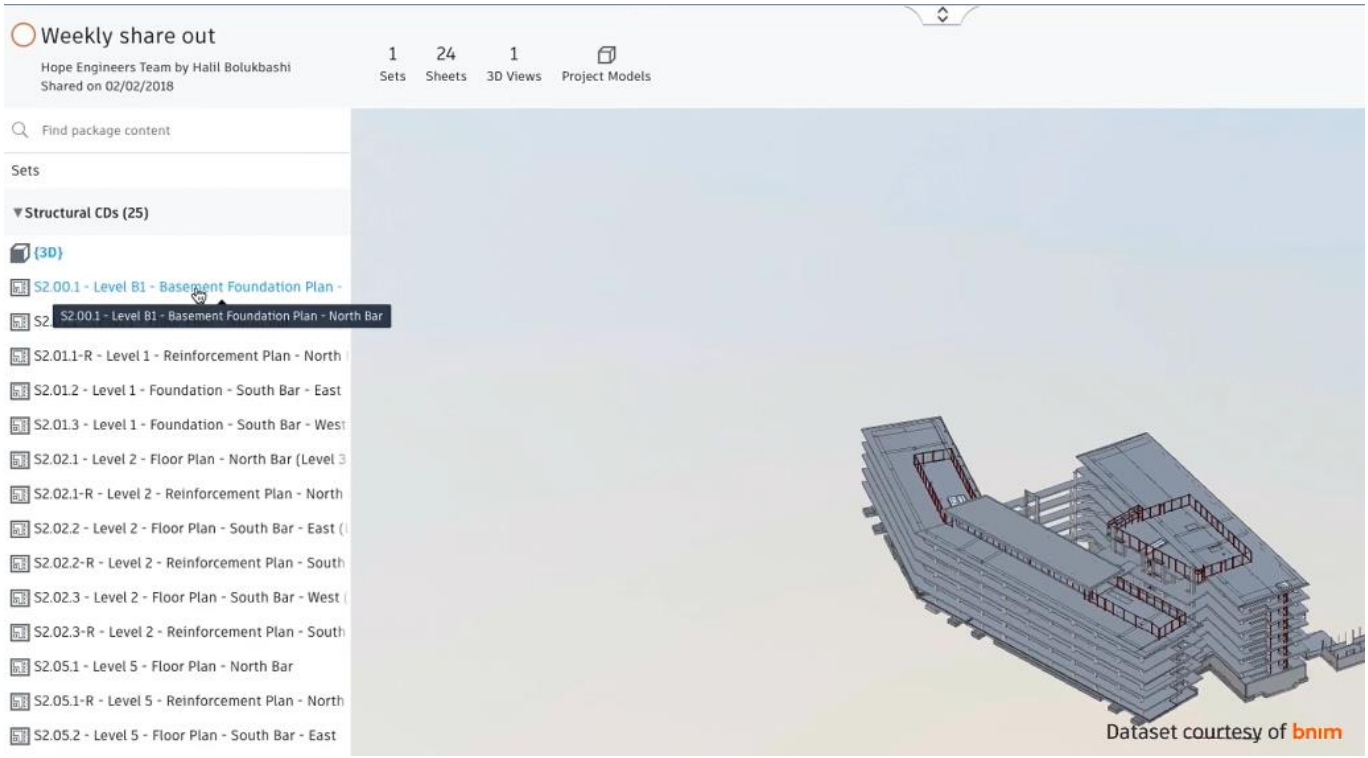
Kita debesimi paremta programa yra „BIM 360“, kuri susideda iš kelių atskirų pagrindinių modulių („Autodesk BIM 360“, 2020):

1. „BIM 360 Docs“ (liet. *„BIM 360 dokumentai“*) – projekto dalyvių informacijos valdymas, aplankų kūrimas ir prieigos prie jų suteikimo kitiems dalyviams valdymas, įvairių failų formatų įdėjimas į programą (.png, .pdf, .ifc, .rvt, .nwc ir kt.), komentarų rašymas (žr. 64 pav.);



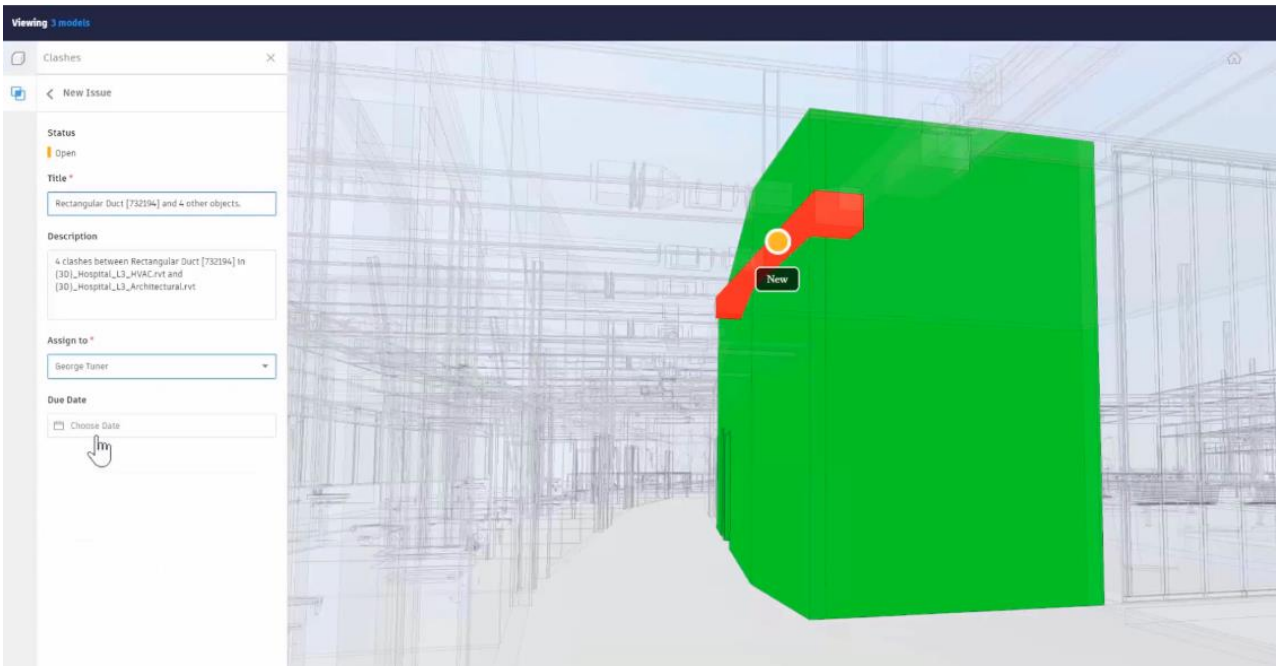
64 pav. „BIM 360“ duomenų/dokumentų valdymas („Autodesk BIM 360“, 2020)

2. „BIM 360 Design“ (liet. *„BIM 360 projektavimas“*) – dalijimasis projekto 3D modeliais, jų peržiūra, informacijos atnaujinimas, pakeitimų istorija, klaidų nustatymas ir perdavimas taisymui realiu laiku (žr. 65 pav.);



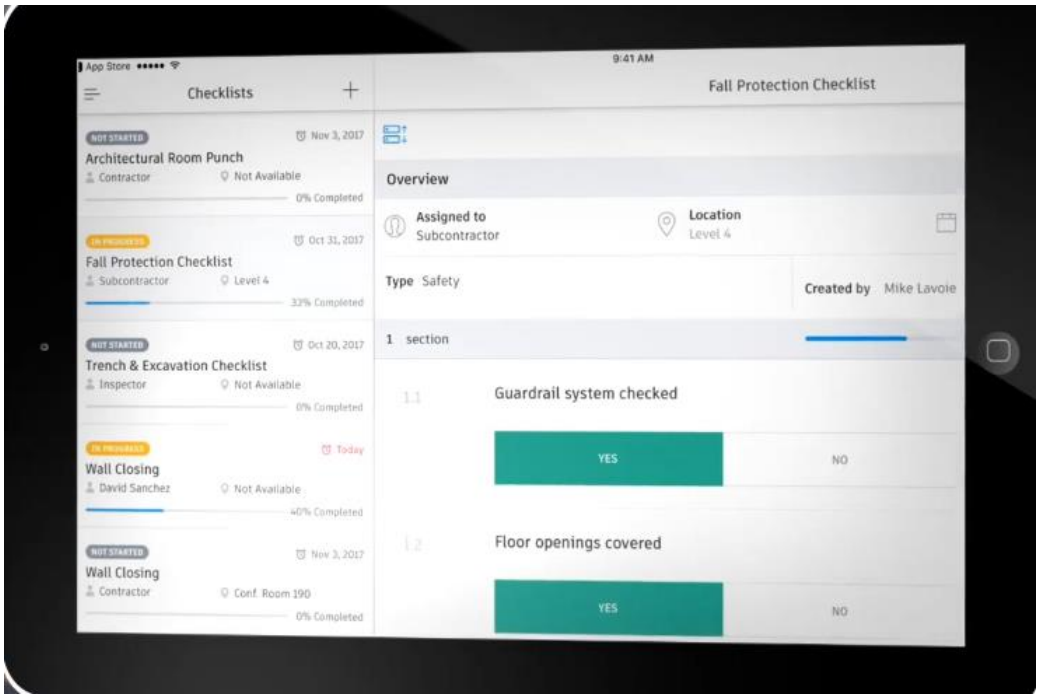
65 pav. „BIM 360 Design“ 3D modelių valdymas („Autodesk BIM 360“, 2020)

3. „BIM 360 Coordinate“ (liet. *„BIM 360 koordinavimas“*) – skirtingų dalių 3D modelių sujungimas į vieną, susikirtimo taškų nustatymas, jų taisymo perdavimas reikiamiems komandos nariams (žr. 66 pav.);



66 pav. Susidūrimo taškų nustatymas „BIM 360 Coordinate“ („Autodesk BIM 360“, 2020)

4. „BIM 360 Build“ (liet. *„BIM 360 statyba“*) – dviejų plėtinių modulis: statybvietės valdymo ir projekto valdymo bei atskirai kainų kontrolės. Užduočių skirstymas ir atsakingų asmenų paskyrimas jų įvykdymui, progreso matymas realiu metu, biudžeto valdymas, užsakymų sekimas ir pakeitimai, sutarčių valdymas (žr. 67 pav.).



67 pav. Užduočių paskyrimas ir kontrolė „BIM 360 Build“ („Autodesk BIM 360“, 2020)

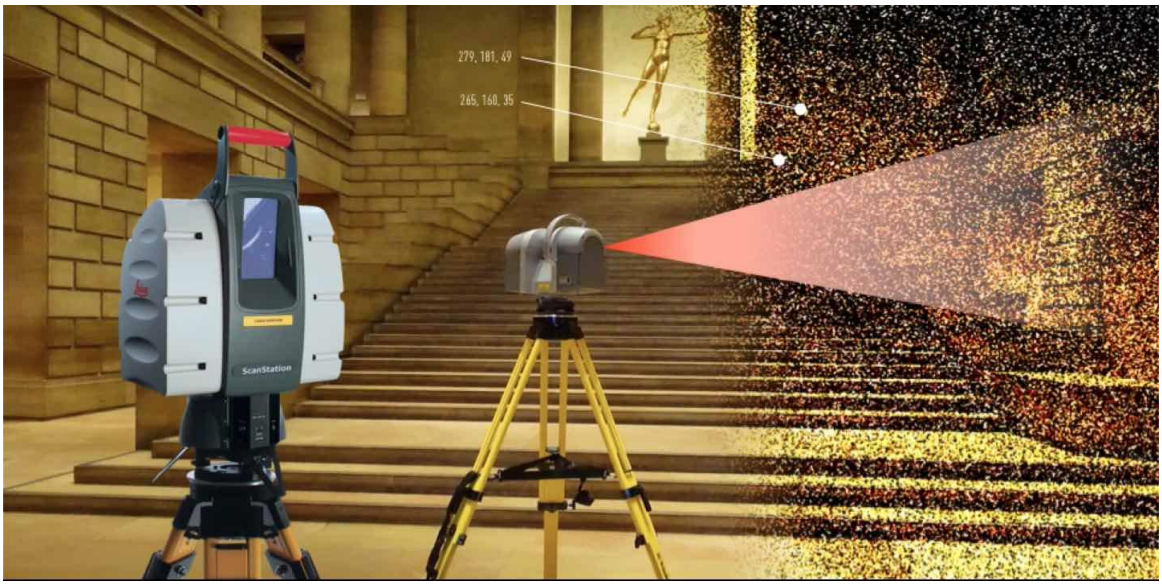
„BIM 360“ kaina prasideda nuo 30 Eur/mėn. 1 vartotojui, priklausomai nuo modulių pasirinkimo ir kiek darbo vietų bus reikalinga programinė įranga.

Debesies platformos mobiliuosiuose įrenginiuose naudojimas statybose turi nemažai privalumų, atsižvelgiant į naudojamos programinės įrangos funkcijas. Visa informacija keliama į bendrą, centralizuotą sistemą ir pasiekiama bet kurioje vietoja išmaniaisiais telefonais ar planšetiniais kompiuteriais realiu laiku. Be to, nereikia skirtingų programų 3D modeliams peržiūrėti, jie atidaromi integruotomis į debesį programomis ir informacija lieka saugi įrenginio sugadinimo ar praradimo atveju. Dėl susidūrimo taškų funkcijos ir visos komandos bendradarbiavimo, turint naujausią informaciją didžioji projekto klaidų dalis ištaisoma dar ankstyvoje projektavimo stadijoje, dėl to statybos metu sutaupomas laikas ir pinigai. Debesies platformos projektavimo ir statybos procesams valdyti matoma nauda akivaizdi, ypač sudėtingų projektų valdymui, kai yra daug komandos narių iš skirtingų įmonių.

3.4. 3D skenavimas lazeriu ir dronai statybose

3.4.1. 3D skenavimas lazeriu

Skenavimas lazeriu yra tikslus metodas esamo pastato ar statybvietės detalėms užfiksuoti. Naudodami lazerio šviesą, skaitytuvai sukuria 3D vaizdus, vadinamus taškų debesimis (angl. *point clouds*), kuriuos sudaro duomenys, reikalingi tikslių formų ir dydžių objektų žemėlapiui sukurti (žr. 68 pav.).



68 pav. 3D skenavimo lazeriu taškų debesys („Vectorworks“, 2020)

Pagrindinės 3D skenavimo lazeriu naudojimo sritys statybose:

1. Esamų statybos aikštelės sąlygų žemėlapis renovacijos projektams:

Norint pradėti renovacijos projektą, architektas turi parengti naują projektą, remdamasis esamo pastato brėžiniais. Tačiau dažnai pasitaiko, kad esami, norimo renovuoti pastato, brėžiniai būna netikslūs, neatitinkantys esamos situacijos, o paskyrus darbuotoją objekto apžiūrai atlikti užfiksuojamos ne visos svarbios detalės ir esamuose brėžiniuose ne visada pastebimos klaidos, nesutapimai su realiais pastato

duomenimis, kol neprasideda statybos darbai. Tuomet dėl šių nesutapimų keičiasi užsakymai, vėluojama atlikti darbus ir atsiranda papildomų išlaidų. Tačiau naudojantis 3D skenavimu lazeriu viso to galima išvengti ir prieš pradedant darbus pamatyti tikslią esamą situaciją, projektavimo klaidas.

2. Tinkamo projekto įvykdymo įteisinimas:

3D skenavimas lazeriu gali būti naudojamas patvirtinti projekto vykdymą kokybės užtikrinimo atžvilgiu. Atliekant baigto arba vis dar vykdomo projekto 3D skenavimą, galima palyginti gautą modelį su projektiniu ir taip patikrinti projekto vykdymo kokybę. Be to, modelis gali būti žymimas spalvomis ir pažymėtas taip, kad būtų matomas nukrypimo nuo projekto laipsnis. Tuomet galima ištaisyti klaidas ar atlikti projekto pakeitimus, kurie padės išlaikyti tinkamą pastato kokybę.

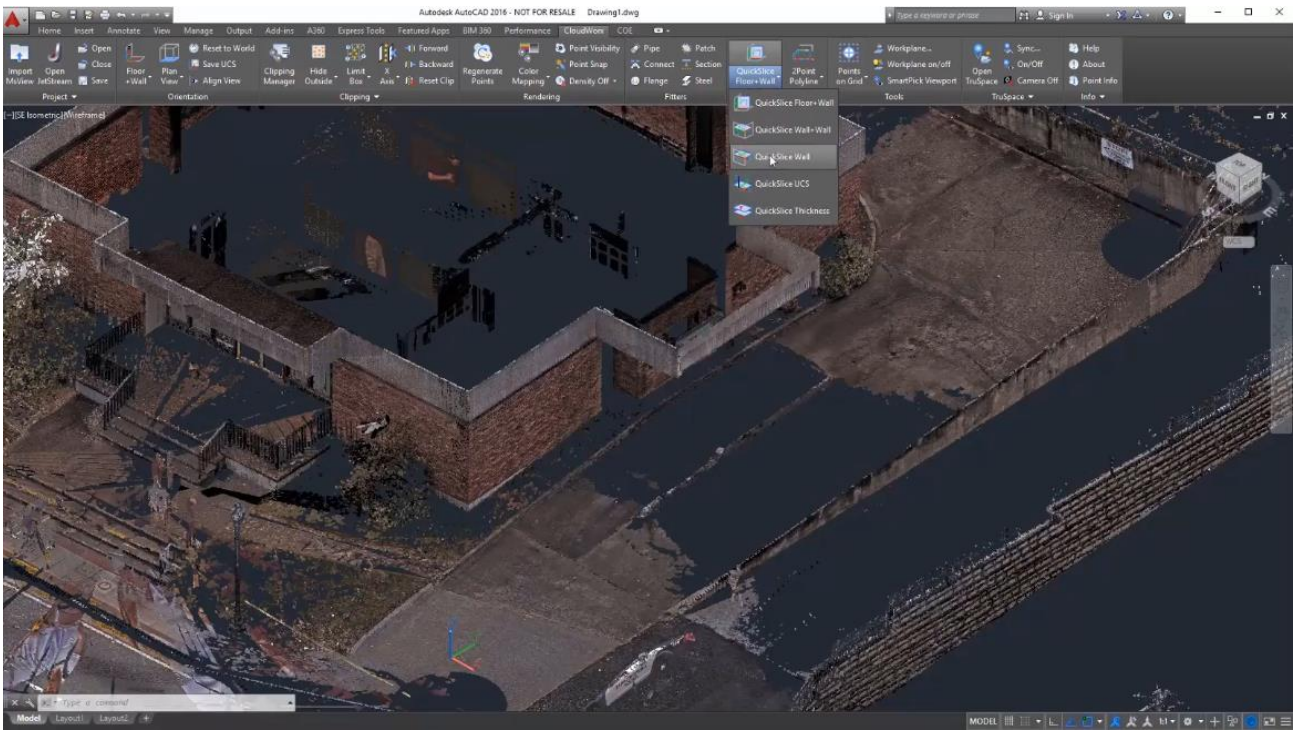
3. Progreso matavimas ir įvertinimas:

Norint užtikrinti tinkamą projekto vykdymą, 3D skenavimas lazeriu gali būti naudojamas per visą projekto vykdymo laiką, taip gaunant tikslius visų statybos etapų įrašus. Pastato valdymo ir priežiūros komanda gali naudoti šiuos įrašus per visą pastato gyvavimo ciklą.

4. Pastatų 3D modelių kūrimas:

Architektai dažnai turi perduoti sudėtingas projektavimo idėjas suinteresuotosioms šalims, pavyzdžiui, investuotojams, kurie neturi statybų ar projektavimo patirties. Norint tai atlikti efektyviai ir greitai, galima kurti fizinį 3D modelį arba virtualų modelį. Lazeriai greitai užfiksuoja trimačius duomenis, todėl atitinkamai greičiau gali būti sukurtas fizinis arba virtualus modelis.

Norint sukurti 2D brėžinius ar 3D modelį iš taškų debesų, reikalinga programinė įranga arba papildinys jau turimai programai, pavyzdžiui, į „AutoCAD“ galima įdiegti papildinį „Leica CloudWorx“. Taškų debesys padeda greitai ir tiksliai kurti modelius projektavimo programose (žr. 69 pav.).



69 pav. Į „AutoCAD“ integruota „CloudWorx“ ir taškų debesys („Leica Geosystems AG“, 2020)

Skaitmeninės realybės papildinys „CloudWorx“ taip pat gali būti įdiegiamas į „MicroStation“, „Revit“, „Navisworks“, „PDMS“, „BricssCAD“, „SOLIDWORKS“, „SMARTreview“, „Smart® 3D“, „PDS®“. Papildinio kaina kinta nuo 1000 Eur iki 5000 Eur, priklausomai nuo to, kokiai programai yra perkamas. 4 lentelėje pateiktas „Leica Geosystems AG“ ir „Artec3D“ 3D lazerinių skaitytuvų pagrindinių savybių ir kainų palyginimas.

4 lentelė. Lazerinių skaitytuvų savybių ir kainų palyginimas („Leica Geosystems AG“, 2020), („Artec3D“, 2020)

Eil. Nr.	**Lazerio savybė**	**BLK360**	**RTC360 3D**	**P30**	**P40**	**P50**	**„Artec Ray“**
1	Svoris	1 kg	5,35 kg	12,25 kg	12,25 kg	12,25 kg	5,74 kg
2	Lazerinio skenavimo kontrolinių taškų per sekundę	360 tūkst.	2 mln.	1 mln.	1 mln.	1 mln.	208 tūkst.
3	Veikimo kampas - horizontalus	360º	360º	360º	360º	360º	360º
4	Veikimo kampas - vertikalus	300º	360º	270º	270º	290º	270º
5	Minimalus veikimo atstumas	0,6 m	0,5 m	0,4 m	0,4 m	0,4 m	1 m
6	Maksimalus veikimo atstumas	60 m	130 m	180 m	270 m	1 km	110 m
7	Darbinė temperatūra	nuo +5ºC iki +40ºC	nuo -5ºC iki +40ºC	nuo -20ºC iki +50ºC	nuo -20ºC iki +50ºC	nuo -20ºC iki +50ºC	nuo +5ºC iki +40ºC
8	Kaina	~16 tūkst. Eur	~72 tūkst. Eur	~72,5 tūkst. Eur	~94 tūkst. Eur	~111 tūkst. Eur	~50 tūkst. Eur

Vertinant 3D skenavimo lazeriu privalumus, lazerių bei programinės įrangos, reikalingos parengti 2D ir 3D brėžinius iš skaitytuvų surinktos taškų debesų informacijos, matoma, kad būtina įvertinti skenavimo reikalingumą projektui. Jei projektas labai didelės apimties ir sudėtingas ar sunku įvertinti tiksliai fiziniais matavimais reikalingus atlikti darbus, tuomet 3D skenavimas lazeriu gali būti ypač naudingas.

3.4.2. Dronai statybose

Dronai statybose tai dar vienas inovatyvus sprendimas tam tikriems procesams pagreitinti ir palengvinti. Kelios pagrindinės dronų naudojimo sritys statybos pramonėje (Burger, 2019):

1. Žemės reljefo matavimas (topografijos nuotrauka), kiekių skaičiavimas:

Nepilotuojami orlaiviai (angl. *Unmanned Aerial Vehicles,* sutr. UAV) – dronai pakeičia tradicinius žemės matavimo metodus. Dronai sumažina laiką ir darbą, reikalingą tikslių skaičiavimų atlikimui bei pašalina dalį žmogiškųjų klaidų, susijusių su procesu atlikimu.

2. Infrastruktūros patobulinimai:

Dronai statybos aikštelėse suteikia ypatingą patvarumą ir intelektą. Jų gebėjimas rinkti ir perduoti duomenis leidžia greičiau atlikti darbą, taip sumažinant rankinio darbo poreikį. Tai padeda greičiau įgyvendinti sudėtingus ir didelius projektus.

3. Bendravimas ir valdymas:

Dronų technologija išvystyta taip, kad momentinis ryšys ir bendravimas darbo vietoje yra perteklinis. Dronai, kuriuose įmontuotos kameros, gali pateikti vaizdo medžiagą realiu laiku, palengvinančią objekto progreso stebėjimą. Tai laikoma neįkainojama priemone techniniams prižiūrėtojams ir investuotojams. Galimybė prižiūrėti darbo eigą 24 valandas per parą turi teigiamą įtaką visiems statybos procesams.

4. Objekto ir darbuotojų sauga:

Dronų naudojimas padidina saugumo efektyvumą. Jie gali būti naudojami darbuotojų saugumui palaikyti, ar objekto apsaugai nuo vagysčių, vandalizmo. Taip pat gali saugiai apžiūrėti pavojingas vietas, sumažindami nelaimingus atsitikimus statybose.

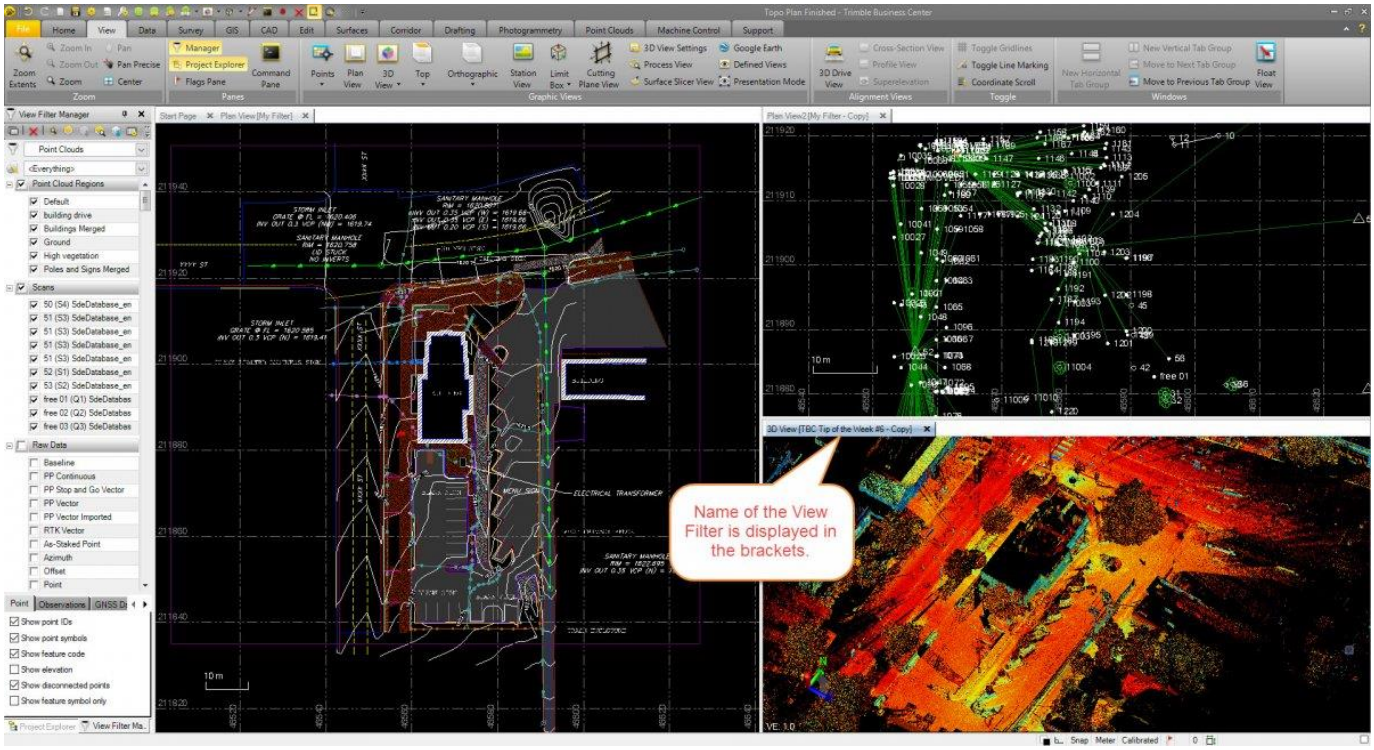
5. Transportas ir priežiūra:

Dronų naudojimas kroviniams gabenti oru leidžia įmonėms atlikti sudėtingus patikrinimus ir sekti viską, kas patenka į darbo vietą ir iš jos iškeliauja. Tai taupo pinigus ir laiką. Kadangi dronai paprastai yra maži ir pasižymi dideliu manevringumu, jie vis dažniau naudojami kaip alternatyva tradicinėms transporto priemonėms.

Norint atlikti geodezinius matavimus dronais, reikalinga tam skirta programinė įranga, kuria užfiksuota medžiaga gali būti įdedama į projektavimo programas ir lengviau kuriamas 2D arba 3D modelis. Lietuvoje siūloma programinė įranga duomenų surinkimui dronais ir vėlesniam jų apdorojimui („GeoNovus“, 2020a):

1. Fotogrametrijai:
    a. „eCognition Essentials“ – tai programinė įranga, kuri suteikia galimybę naudotojams paruošti aukštos kokybės rezultatus vektoriniu GIS (angl. *Geographic information systems,* liet. *Geografinės informacijos sistemos*, sutr. GIS) formatu iš aerofotografinių vaizdų;
    b. „UASMaster“ – sukuriami taškų debesys, paviršiaus ir reljefo modeliai, skaitmeninės ortografinės nuotraukos, automatinis kontūrų žymėjimas, galimas duomenų importavimas iš bet kokio tipo ir gamintojo bepiločio orlaivio, integruotas duomenų eksportas į „Trimble Business Center“ tolimesniam darbui su duomenimis;
    c. „Agisoft Metashape“ – įranga, skirta generuoti tankius taškų debesis, tekstūruotus modelius, ortografinius žemėlapius, DSM (angl. *Digital surface model*, liet. *Skaitmeninis paviršiaus modelis,* sutr. DSM) ir DTM (angl. *Digital terrain model,* liet. *Skaitmeninis reljefo modelis*, sutr. DTM) žemės paviršiaus modelius iš įvairių nuotraukų;

d. „Trimble Business Center“ - suteikia vartotojams galimybę redaguoti, apdoroti ir išlyginti geo-erdvinius duomenis ir patikimai paruošti galutinius planus, brėžinius, ataskaitas ar 3D modelius (žr. 70 pav.)



70 pav. „Trimble Business Center“ CAD darbo rezultatai kairėje, drono duomenys dešinėje („GeoNovus“, 2020a)

Lietuvoje statyboms siūlomų dronų su specialia įranga palyginimas pateiktas 5 lentelėje.

5 lentelė. Lietuvoje statyboms siūlomi dronai su programine įranga („GeoNovus“, 2020b)

Eil. Nr.	Drono pavadinimas	Maksimalus skrydžio laikas	Maksimalus vaizdo perdavimo atstumas	Atsparumas oro sąlygoms	Darbinė temperatūra	Kaina
1	„DJI Matrice 300 RTK“	55 min.	8 km	IP45; vėjui 15 m/s	nuo -20ºC iki +50ºC	~8000 Eur
2	„DJI Phantom 4 RTK“	30 min.	6 km	vėjui 10 m/s	nuo 0ºC iki +40ºC	-
3	„DJI Mavic 2 Enterprise“	31 min.	5 km	vėjui 8-10 m/s	nuo -10ºC iki +40ºC	~3000 Eur
4	„DJI Matrice 200/210“ serija	38 min.	3 km	IP43; vėjui 12 m/s	nuo -20ºC iki +45ºC	~6500 Eur
5	„DJI Phantom 4 Pro V2.0“	30 min.	6 km	vėjui 10 m/s	nuo 0ºC iki +40ºC	~1700 Eur
6	„DJI Matrice 600 Pro“ + „Lidar“ (3D lazeris)	38 min.	3,5 km	vėjui 8 m/s	nuo -10ºC iki +40ºC	~5700 Eur be „Lidar“ (+ ~50000 Eur)
7	„Delair UX11“	59 min.	3,2 km	nedideliam lietui; vėjui 12,5 m/s	nuo -20ºC iki +45ºC	~13000 Eur

Norint įdiegti statybos objekto bepiločio orlaivio – drono naudojimą, būtina atsižvelgti į norimas atlikti užduotis. Jei reikia stebėti statybvietę ir darbuotojų saugą, gali užtekti drono be papildomos įrangos duomenų apdorojimui, nes galima matyti vaizdą tiesiogiai ir užfiksuoti pažeidimus, objekto vykdymo progresą su integruota į droną kamera. Tačiau, jei reikia greitai ir tiksliai paruošti statybos aikštelės brėžinius, pamatuoti altitudes, reikiamų renovuoti stogų kiekį ir pan., tuomet būtina įsigyti tam skirtą programinę įrangą arba pirkti kitos įmonės, kuri specializuojasi dronų pilotavime ir duomenų apdorojime, paslaugas.

3.5. 3D spausdinimas statybose

3D spausdinimu arba adityvine gamyba (angl. *additive manufacturing*) yra vadinama beatliekinės gamybos technologija, kai produktas formuojamas sluoksnis po sluoksnio naudojant lazerį, elektronų pluošto lydimą, stereolitografiją ar kitą technologiją. Standarte ISO/ASTM 52900 (ISO/ASTM 52900, 2015) pateikiama 11 3D spausdinimo technologijų tipų („All3DP“, 2020a):

1. Lydžiosios masės modeliavimas (angl. *Fused Deposition Modeling*, sutr. FDM) - tai spausdinimo procesas, kai kietos termoplastinės medžiagos siūlas stumiamas per įkaitintą antgalį, jį lydant. Spausdintuvas medžiagas modeliuoja ant platformos iš anksto nustatytu keliu, kur jos atvėsta ir sukietėja, taip sudarydamos vientisą objektą. Trūkumai: trapus, nepatvarus mechaninėms dalis. Privalumai: geriausia paviršiaus apdaila, galimos įvairios ir spalvotos medžiagos;
2. Stereolitografija (angl. Stereolithography, sutr. SLA) – tai pirmoji pasaulyje sukurta (1986 m.) 3D spausdinimo technologija. SLA spausdintuve naudojami veidrodžiai, vadinami galvanometrais, kurių vienas yra X, o kitas Y ašyje. Šie galvanometrai nukreipia lazerio spindulį per dervos dubenį, selektyviai sukietindami objekto skerspjūvį ir modeliuodami jį sluoksnis po sluoksnio. Trūkumai: trapus, nepatvarus mechaninėms dalis. Privalumai: lygi paviršiaus apdaila, aukštas detalumas;
3. Skaitmeninis šviesos apdorojimas (angl. *Digital Ligth Processing*, sutr. DLP) – skirtumas nuo SLA, kad DLP naudoja skaitmeninį šviesos projektorių. Kiekvieno modeliuojamo sluoksnio atvaizdą sudaro kvadratiniai pikseliai (angl. *pixels*), iš kurių sudaromi stačiakampiai blokai, vadinami vokseliais (angl. *voxels*). Šviesa projektuojama ant dervos naudojant šviesos diodų (LED) ekranus arba UV šviesos šaltinį (lempą), kurie į modeliavimo platformos paviršių nukreipiami skaitmeniniu mikro veidrodžių įrenginiu (angl. *Digital Micromirror Device*, sutr. DMD). Mikro veidrodžių rinkinys sukuria šviesos modelį modeliavimo platformos paviršiuje. Trūkumai: trapus, nepatvarus mechaninėms dalis. Privalumai: lygi paviršiaus apdaila, aukštas detalumas, greitesnis spausdinimas lyginant su SLA;
4. Maskuota stereolitografija (angl. *Masked Stereolithography*, sutr. MSLA) – maskuotoje stereolitografijoje šviesos šaltiniu naudojamas LED rinkinys, šviečiantis ultravioletiniu

spinduliais per skystųjų kristalų ekraną, kuriame yra rodomas vieno sluoksnio pjūvis - kaukė. Kaip ir DLP, skystųjų kristalų ekrane šviesos modelis rodomas skaitmeniniu būdu ir susideda iš kvadratinių pikselių, kurių dydis nusako spausdinamo objekto detalumą. Trūkumai: trapus, nepatvarus mechaninėms dalis. Privalumai: lygi paviršiaus apdaila, aukštas detalumas;

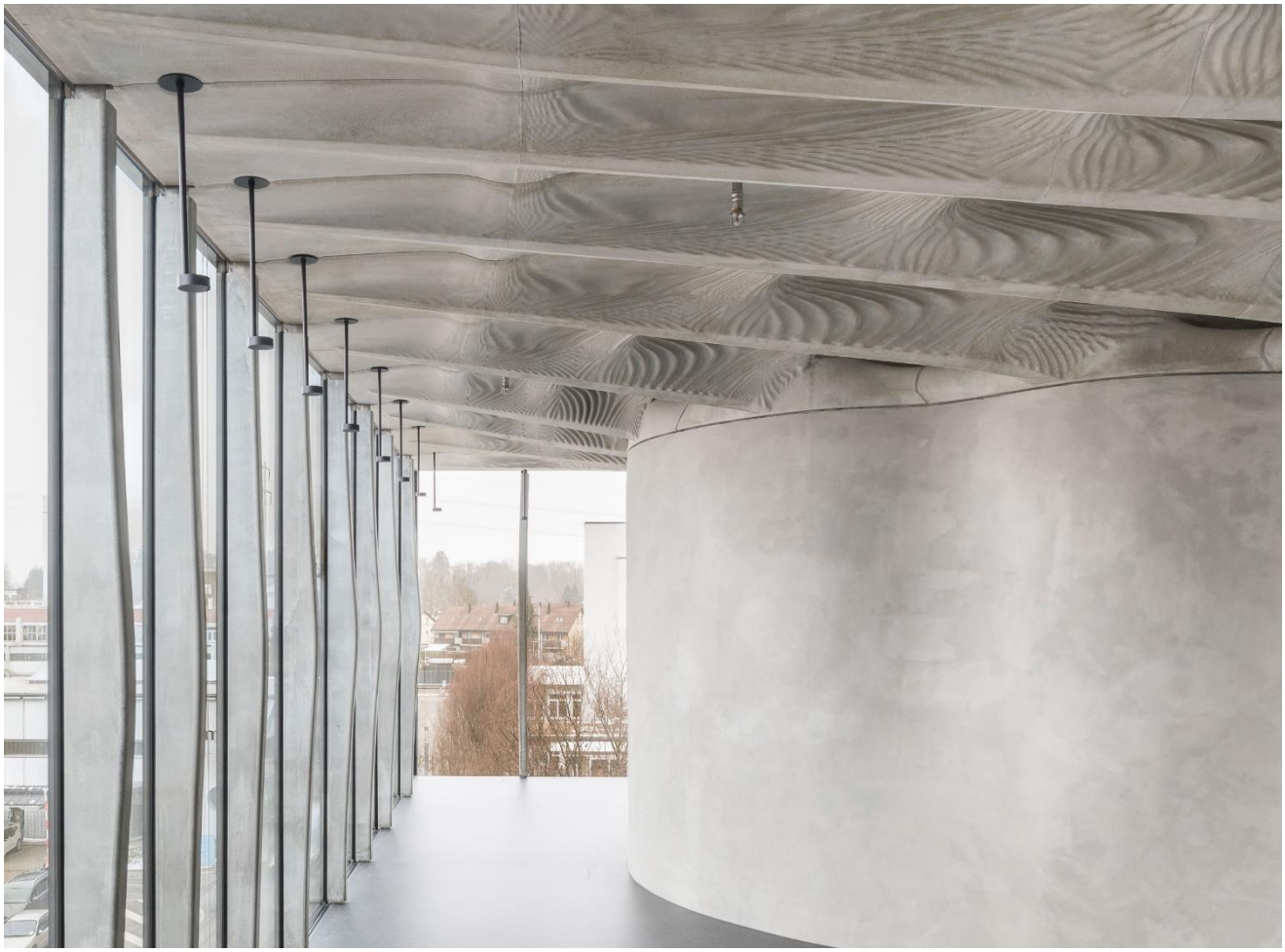
5. Atrankinis kietinimas lazeriu (angl. *Selective Laser Sintering,* sutr. SLS) - pirmiausia polimerų miltelių dėžutė pašildoma iki temperatūros, žemesnės už polimero lydymosi temperatūrą. Tada perdengimo peiliukas ar valytuvas ant modeliavimo platformos nusodina labai ploną miltelių medžiagos sluoksnį - paprastai 0,1 mm storio. Tada CO2 lazerio spindulys pradeda nuskaityti paviršių, selektyviai sukepina miltelius ir sukietina objekto skerspjūvį. Kai nuskaitomas visas vieno pjūvio skerspjūvis, statybinė platforma pajuda žemyn vieno sluoksnio storio aukščiu. Pakartotinai tie patys veiksmai kartojami tol, kol pagaminami visi objektai. Trūkumai: ilgesnis spausdinimo laikas, didesnės išlaidos nei FFF. Privalumai: gali būti kuriamos funkcinės dalys, puikių mechaninių savybių ir sudėtingos geometrijos;
6. Medžiagos lašelių srautas (angl. *Material Jetting,* sutr. MJ) - MJ veikia panašiai, kaip standartinis rašalinis spausdintuvas. Spausdinimo galvutė purškia šimtus mažų foto polimero lašelių ir kietina juos, naudodama ultravioletinę (UV) šviesą. Po to, kai vienas sluoksnis nusėda ir sukietėja, modeliavimo platforma nuleidžiama žemyn vieno sluoksnio storiu, ir procesas kartojamas vėl. MJ spausdintuvai gali gaminti kelis objektus vienoje eilutėje, be jokios įtakos greičiui. Kol modeliai yra tinkamai išdėstyti ir kiekvienoje tiesimo linijoje yra optimizuota erdvė, MJ gali gaminti detales greičiau nei kitų tipų 3D spausdintuvai. Trūkumai: trapus, nepatvarus mechaninėms dalims, didesnės išlaidos nei SLA, DLP. Privalumai: geriausia paviršiaus apdaila, galimos įvairios ir spalvotos medžiagos;
7. Lašinimas pagal poreikį (angl. *Drop On Demand,* sutr. DOD) - DOD yra 3D spausdinimo technologijos rūšis, kuriai naudojama rašalinių raketų pora. Viena jų kaupia statybines medžiagas, kurios paprastai yra panašios į vašką. Antra yra naudojama tirpiai pagalbinei medžiagai. Kaip ir tipinių 3D spausdinimo technologijų tipai, DOD spausdintuvai eina iš anksto nustatytu keliu, nukreipdami medžiagą į tašką, sukurdami objekto skerspjūvio plotą kiekvienam sluoksniui. Trūkumai: trapus, nepatvarus mechaninėms dalims, didesnės išlaidos nei SLA, DLP. Privalumai: geriausia paviršiaus apdaila, galimos įvairios ir spalvotos medžiagos;
8. Smėlio rišiklio purškimas (angl. *Sand Binder Jetting,* sutr. SBJ) - tai yra nebrangus 3D spausdinimo technologijos tipas, skirtas detalėms gaminti iš smėlio, pvz., smiltainio ar gipso. Spalvotų modelių objektai gaminami naudojant gipso arba PMMA (akrilo) miltelius kartu su skysčio rišikliu. Pirma spausdinimo galvutė purškia rišamąją medžiagą, o antra - spalvotą. Kai dalys visiškai sukietėja, jos pašalinamos iš birių miltelių ir nuvalomos. Norint pagerinti

mechanines savybes, dalys dažnai yra naudojamos įsiskverbiančios medžiagos. Taip pat gali būti dedami įvairūs paviršiaus padengimai. Trūkumai: mechaninės savybės nėra tokios geros, kaip metalo miltelių lydimo. Privalumai: žema kaina, didelių matmenų detalės;

9. Metalo rišiklio purškimas (angl. *Metal Binder Jetting,* MBJ) - metalo milteliai rišami naudojant polimerinę rišančiąją medžiagą – taip gaunamas pirminis gaminys tolimesniam apdirbimui. Antrinis infiltracijos procesas vyksta taip: iš pradžių metalo miltelių dalelės yra surišamos naudojant rišamąją medžiagą, kad būtų žaliava. Kai detalės visiškai sukietėja, jos pašalinamos iš miltelių ir dedamos į krosnį, kur rišiklis išdeginamas. Tai lemia objekto tankį maždaug 60%. Po to naudojama bronza filtracijai į tuštumas per kapiliarą, gaunant objektą, kurio tankis yra apie 90%. Metalo objektų gamyba naudojant MBJ leidžia gaminti sudėtingos geometrijos detales, gerokai viršijančias įprastų gamybos metodų galimybes. Trūkumai: mechaninės savybės nėra tokios geros, kaip metalo miltelių lydimo (SLM). Privalumai: žema kaina, didelių matmenų detalės;
10. Tiesioginis metalo sukepinimas lazeriu (angl. *Direct Metal Laser Sintering,* sutr. DMLS) / Atrankinis lydimas lazeriu (angl. *Selective Laser Melting,* sutr. SLM) - tiek DMLS, tiek SLM sukuria objektus panašiai kaip SLS. Pagrindinis skirtumas tas, kad šios 3D spausdinimo technologijos rūšys yra naudojamos gaminant metalines dalis. DMLS neišlydo miltelių, o pašildo juos iki tam tikro lygio, kad galėtų ištirpdyti molekuliniu lygmeniu. SLM naudoja lazerį, kad visiškai ištirpdytų metalo miltelius ir suformuotų vienalytę medžiagą. Tai yra pagrindinis skirtumas tarp DMLS ir SLM; pirmasis gamina detales iš metalo lydinių, o antrasis sudaro homogenines medžiagas, tokias kaip titanas. Skirtingai nuo SLS, DMLS ir SLM spausdinimo procesams reikalinga struktūrinė parama, siekiant apriboti bet kokio iškraipymo galimybę. DMLS / SLM dalys gali deformuotis dėl likusių įtempių, atsiradusių dėl aukštos spausdinimo temperatūros. Trūkumai: mažų matmenų objektai, aukščiausia kaina iš visų 3D technologijų. Privalumai: stipriausios funkcinės dalys, sudėtingos geometrijos;
11. Elektronų pluošto lydimas (angl. *Electron Beam Melting,* sutr. EBM) - EBM naudoja aukštos energijos pluoštą arba elektronus, kad paskatintų suliejimą tarp metalo miltelių dalelių. Sufokusuotas elektronų pluoštas nuskaito ploną miltelių sluoksnį, sukeldamas vietinį tirpimą ir sukietėjimą tam tikrame skerspjūvio plote. Lyginant su SLM ir DMLS 3D spausdinimo technologijos tipais, EBM pasižymi didesniu spausdinimo greičiu dėl didesnio energijos tankio. Tačiau tokie dalykai kaip minimalus spausdinamų objektų dydis, miltelių dalelių dydis, sluoksnio storis yra didesni. Taip pat svarbu atkreipti dėmesį, kad EBM gaminamos vakuume, o procesas gali būti naudojamas tik su karščiui/elektrai laidžiomis medžiagomis. Trūkumai: mažų matmenų objektai, aukščiausia kaina iš visų 3D technologijų. Privalumai: stipriausios funkcinės dalys, sudėtingos geometrijos.

Keli pasaulyje įgyvendinti objektai statybos pramonėje, naudojant 3D spausdinimą:

„DFAB House“ Šveicarijoje, Diubendorfo mieste. 3D spausdinimas naudotas sudėtingos geometrijos klojiniams luboms išlieti (žr. 71 pav.). Konkretus naudotas procesas buvo tiesioginis furano (tai organinis junginys, susidedantis iš penkių narių žiedo su keturiais anglies atomais ir vieno deguonies) įrišimas (angl. *Furan Direct Binding,* sutr. FDB). 3D spausdinimo technologija, kurioje silicio smėlio sluoksniai pasirinktinai surišami kartu su organiniu rišikliu (furano derva) per polimerizaciją („Voxeljet“, 2019);

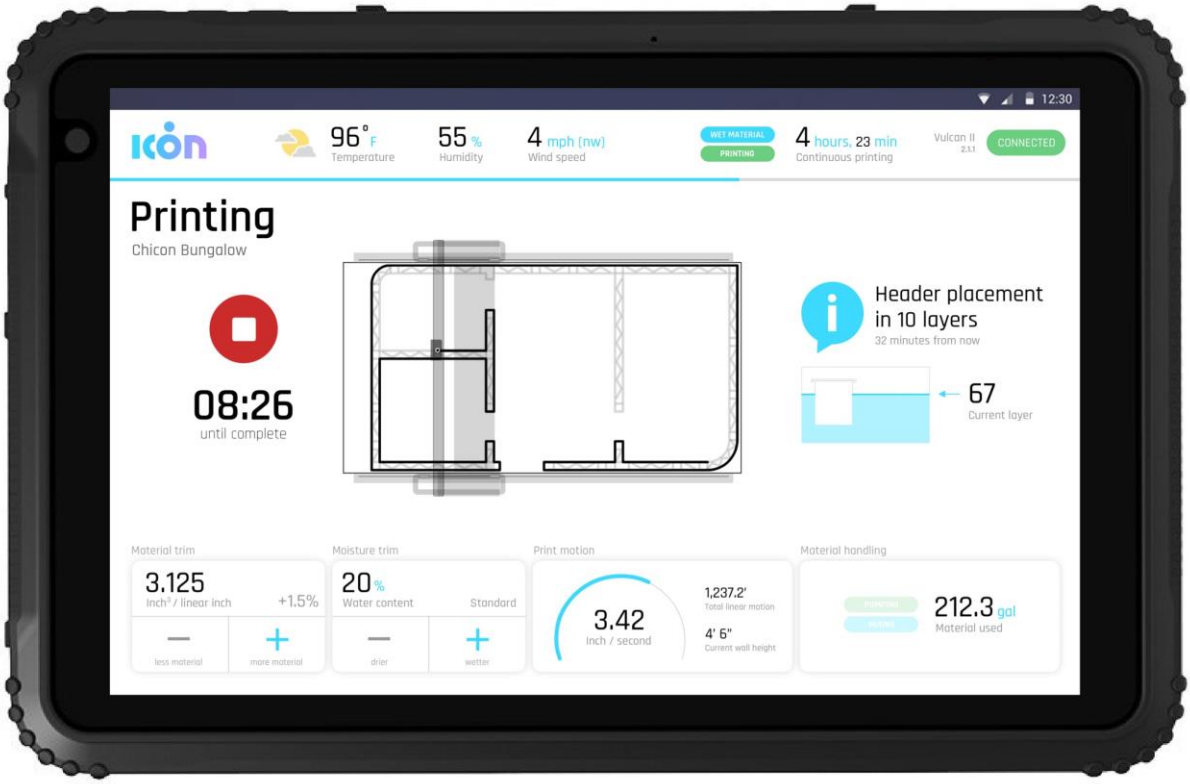


71 pav. „DFAB House“ 3D spausdintuose klojiniuose lietos betono lubos („DFAB House“, 2019)

„New story“ ir „ICON“ pirmasis 3D spausdintas namas JAV mieste Ostine, Teksaso valstijoje (žr. 72 pav.). Naudojamas 3D spausdintuvas „Vulcan“ yra sukurtas specialiai tam, kad greičiau, pigiau ir su projektavimo laisve būtų lengviau pagaminti vieno aukšto pastatus. Jis turi reguliuojamą plotį (kad būtų galima pritaikyti įvairius plokščių dydžius), intuityvius planšetinių kompiuterių valdiklius, nuotolinį stebėjimą ir valdymą, įmontuotą LED apšvietimą, skirtą spausdinti naktį ar esant silpnam apšvietimui, ir pasirinktinį programinės įrangos rinkinį, užtikrinantį sąranką, operacijas ir priežiūrą, kuo paprastesnius (žr. 73 pav.). Per 24 val., spausdintuvas gali pagaminti 55–75 kv.m. namo sienas. Spausdinimui naudojamas „ICON“ patentuotas portlandcemenčio mišinys „Lavacrete“, gaminamas automatine „ICON Magma“ sistema („ICON“, 2018).



72 pav. Pirmasis 3D spausdintas namas Ostine, Teksaso valstijoje („ICON“, 2018)



73 pav. „Vulcan“ 3D spausdintuvo priežiūra, naudojant planšetinį kompiuterį („ICON“, 2018)

Šanchajuje 2019 metais pastatytas 26,3 m ilgio, 3,6 m pločio 3D spausdintas tiltas (žr. 74 pav.). Tiltas sudarytas iš 44 tuščiavidurių spausdintų 3D betono elementų, o turėklai padalinti į 68 vienetus. Tilto dalys atspausdintos iš kompozicinių medžiagų, kurių sudėtyje yra polietileno pluošto betono, kad atitiktų

įprastų medžiagų konstrukcines savybes. Spausdinimas vyko 2 įrenginiais ir truko 450 valandų. Apskaičiuota, kad dėl supaprastinto proceso sutaupyta 33% laiko, lyginant su įprastu statybų procesu – daugiausia dėl armavimo. Tilte įrengta realiojo laiko stebėjimo sistema teikia duomenis apie esamus įtempius ir deformacijas, o rezultatai leis geriau suprasti naujų betoninių medžiagų praktines savybes ir 3D spausdintų komponentų konstrukcines savybes („archdaily“, 2019).



74 pav. 3D spausdintas 26,3 m ilgio ir 3,6 m pločio tiltas Šanchajuje („archdaily“, 2019)

Peržiūrėjus 3D spausdinimo technikas ir jų taikymą statybos pramonėje, matoma, kad šiuo metu spausdinami įvairūs elementai: demonstraciniai, mažesnio mastelio modeliai, laikinieji klojiniai perdangai, vieno aukšto namai, tiltai. Didelių matmenų statybinių objektų spausdinimas ir konstrukcijų patikimumas prieš spausdinant realius modelius bandomas atspausdinus mažesnę norimo gaminio versiją, taip pat deformacijoms matuoti įrengiami deformacijų jutikliai, taip vertinant ir matant konstrukcijos savybes realiu metu. Pagrindinis 3D spausdinimo privalumas – mažesnės laiko ir piniginės sąnaudos. Tačiau reikalingas specialaus mišinio rengimas, tinkamo parinkimas arba, kaip „ICON“ sukurtas ir patentuotas naujas portlandcemenčio mišinys „Lavacrete“. Todėl be bendradarbiavimo su įvairiomis mokslo įstaigomis ir centrais, 3D spausdinimas būtų sudėtingesnis arba neįmanomas.

4. BIM TECHNOLOGIJŲ APKLAUSA, ATLIKTA UŽSIENYJE

Arabų gamtos mokslų, technologijų ir jūrų transporto akademijos profesoriaus Elyamany (Elyamany, 2016) atliktame tyrime apie BIM taikymo praktiką Egipte, pateikiami atliktos internetinės apklausos rezultatai, skirti įvertinti esamą pastatų informacinio modeliavimo diegimo ir taikymo padėtį statybų pramonėje. Apklausa buvo išsiųsta 120 didelių ir vidutinių statybų bei 10 konsultavimo įmonių Egipte. Pagrindiniai apklausos tikslai: nustatyti BIM taikančių asmenų žinių ir patirties lygį, esamą praktiką statybos sektoriuje, BIM taikymo projektuose privalumus ir trūkumus. Apklausa sudaryta iš klausimų, pateiktų 6 lentelėje.

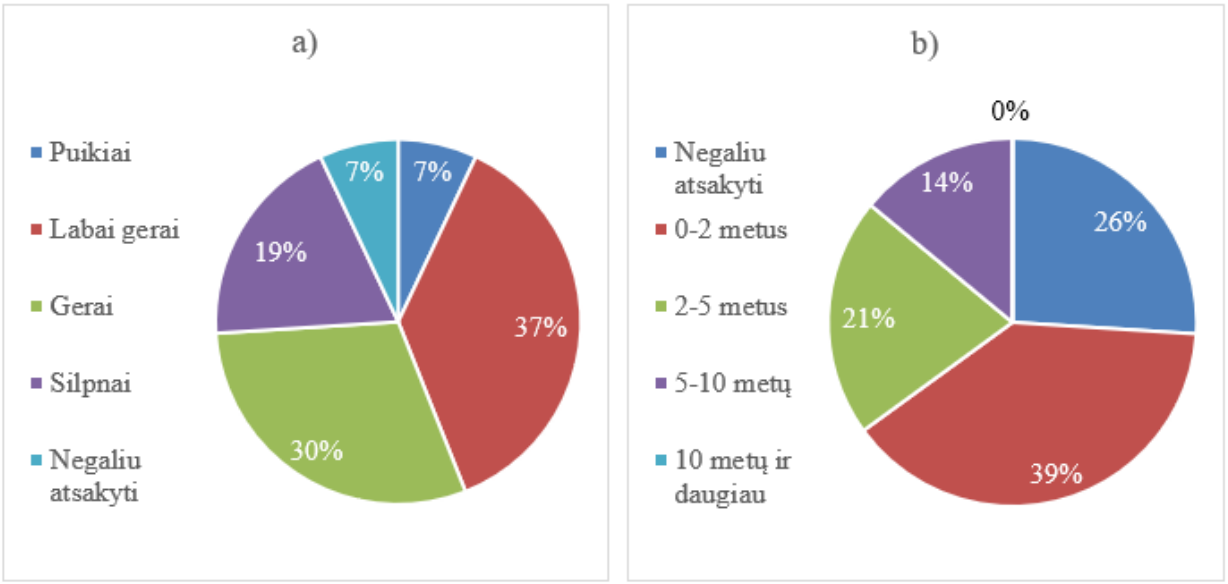
6 lentelė. Egipte atliktos apklausos klausimai (Elyamany, 2016)

Eil. Nr.	Klausimai	Atsakymai
1.	**Bendra asmeninė patirtis:** **1.1** Kokia Jūsų darbo specializacija?	 **1.1** *Įrašyti*
2.	**Asmeninė BIM patirtis:** **2.1** Kaip vertinate savo BIM žinias ir įgūdžius? **2.2** Kiek metų patirties turite BIM taikyme? **2.3** Pažymėkite, kiek labai sutinkate su pateiktais teiginiais: a) Apie BIM šiuo metu girdite vis daugiau; b) BIM yra projekto informacijos ateitis; c) Mums reikia, kad gamintojai pateiktų BIM objektų bibliotekas; d) Manau, kad vyriausybė supranta BIM reikšmę ir priima teisingus sprendimus; e) Mums reikia BIM, kad galėtumėme projektuoti tvarius pastatus; f) BIM modeliai veikia tik toje programinėje įrangoje, kurioje yra suprojektuoti; g) Vyriausybė naudoja BIM valstybiniuose projektuose. **2.4** Remiantis asmeninėmis BIM žiniomis, pažymėkite, kiek labai sutinkate su pateiktais teiginiais: a) Vis dar nėra pakankamai aišku, kas yra BIM statybos pramonėje; b) BIM – tai bendradarbiavimas realiu laiku; c) BIM – tai tik programinė įranga; d) BIM skirta tik naujai statybai, ne renovacijai; e) BIM nepalengvina projektavimo ar statybos metodų keitimo; f) BIM rezultatas – silpni pastatai; g) BIM – tai tik 3D projektavimo sinonimas.	 **2.1** *Puikiai; Labai gerai; Gerai; Silpnai; Negaliu atsakyti;* **2.2** *Negaliu atsakyti; 0–2 metus; 2–5 metus; 5–10 metų; 10 metų ir daugiau;* **2.3** *Visiškai sutinku; Sutinku; Nei sutinku, nei nesutinku; Nesutinku; Visiškai nesutinku;* **2.4** *Visiškai sutinku; Sutinku; Nei sutinku, nei nesutinku; Nesutinku; Visiškai nesutinku;*

6 lentelės tęsinys. Egipte atliktos apklausos klausimai (Elyamany, 2016)

3.	**Įmonės BIM patirtis:** **3.1** Koks įmonėje aukščiausias BIM lygis (dimensija) taikytas projektui?	**3.1** *2D; 3D; 4D; 5D; 6D;*
	3.2 Kokiais projektavimo įrankiais dažniausiai naudojatės rengiant brėžinius?	**3.2** *„Autodesk Revit“; „Autodesk AutoCAD“; „Graphisoft ArchiCAD“; „Bentley Microstation“; „Google Sketchup“; „Bentley Building Suite“; Kita (įrašyti);*
	3.3 Kokios yra BIM įdiegimo ir taikymo kliūtys įmonėje, kurioje dirbate? - Klientai / užsakovai neturi poreikio; - BIM ne visada tinkamas projektams, kuriuos vykdome; - BIM technologijų kaina; - Mūsų vykdomi projektai yra per maži; - Nepakankama įmonės patirtis taikant BIM; - Kita.	**3.3** *Pasirinkti;*
	3.4 BIM taikymo įmonėje privalumai: - BIM pagerina vizualizaciją; - BIM palengvina statybos dokumentų valdymą; - BIM pagerina produktyvumą, dėl lengvo informacijos perdavimo ir priėmimo; - BIM taikymas padeda sutaupyti projektuose; - BIM taikymas pagreitina projekto parengimą ir vykdymą; - BIM taikymas didina įmonės pelningumą.	**3.4** *Pasirinkti.*

Atliktos apklausos rezultatai parodė, kad dauguma apklaustųjų turi pakankamai žinių ir informacijos apie BIM, tačiau pusė jų su pastato informaciniu modeliavimu dirba mažiau nei 5 metus (žr. 75 pav.).



75 pav. Respondentų BIM įgūdžių ir žinių vertinimas (a) ir BIM taikymo patirtis (b) (Elyamany, 2016)

Apklausti specialistai sutinka su šiais teiginiais:

- Šiuo metu 91% apklaustųjų apie BIM technologiją girdi vis daugiau;
- 95% apklaustųjų mano, kad BIM yra projekto informacijos ateitis;
- 84% apklaustųjų reikia, kad gamintojai pateiktų jiems BIM objektų bibliotekas;
- 79% apklaustųjų mano, kad vyriausybė neskiria pakankamai dėmesio BIM ir neskatina jo naudojimo valstybiniuose projektuose (viešuosiuose pirkimuose), nors tai paskatintų tiekėjus ir rangovus diegti BIM technologijas įmonėse;
- 88% apklaustųjų reikia BIM projektuojant tvarius pastatus;
- 70% apklaustųjų nesutinka, kad informaciniai modeliai veikia tik toje programinėje įrangoje, kurioje buvo sukurti;
- 70% apklaustų specialistų mano, kad BIM taikymas statybos pramonėje nėra pakankamai aiškus. Tai parodo, kad statybos rangovams, tiekėjams ir savininkams būtina suteikti daugiau žinių ir informacijos apie BIM technologijos privalumus;
- 56% apklaustųjų mano, kad BIM yra susijęs su bendradarbiavimu realiuoju laiku;
- 30% apklaustų specialistų nesutinka, kad BIM yra tik programinė įranga. Tai reiškia, kad didesnė dalis apklaustųjų nepakankamai supranta BIM sąvoką statybų pramonėje;
- 65% apklaustų specialistų mano, kad BIM yra skirtas ir naujai statybai, ir renovacijai;
- 62% apklaustųjų mano, kad BIM palengvina projektavimo ir statybos metodų modifikavimą;
- 70% apklaustųjų mano, kad BIM rezultatas - tvirti pastatai;
- 72% apklaustųjų nesutinka, kad BIM yra tik 3D brėžinių kūrimo sinonimas;
- 48% apklaustų specialistų taikė 2D ir 3D BIM modeliavimą projektuose.

Trys pagrindinės nustatytos BIM taikymo kliūtys yra: klientų poreikio stoka, BIM technologijų kaina ir įmonės patirties trūkumas. Nustatyti BIM technologijų taikymo statyboje privalumai: vizualizacijos ir produktyvumo gerinimas, efektyvus statybos dokumentų valdymas, greitesnis projekto parengimas ir vykdymas, mažėjančios išlaidos ir didėjantis pelningumas.

5. BIM TECHNOLOGIJŲ APKLAUSA, AUTORIAUS ATLIKTA LIETUVOJE

Norint atlikti BIM taikymo esamos situacijos Lietuvoje palyginimą su kitos šalies duomenimis, pasirinkti profesoriaus Elyamany atlikto tyrimo Egipte klausimai (žr. 6 lentelę). Papildomi, autoriaus parengti klausimai apie daiktų interneto (IoT), papildytosios ir virtualiosios realybių, dronų, 3D skenavimą lazeriu, 3D spausdinimo naudojimą statybose pateikti 7 lentelėje.

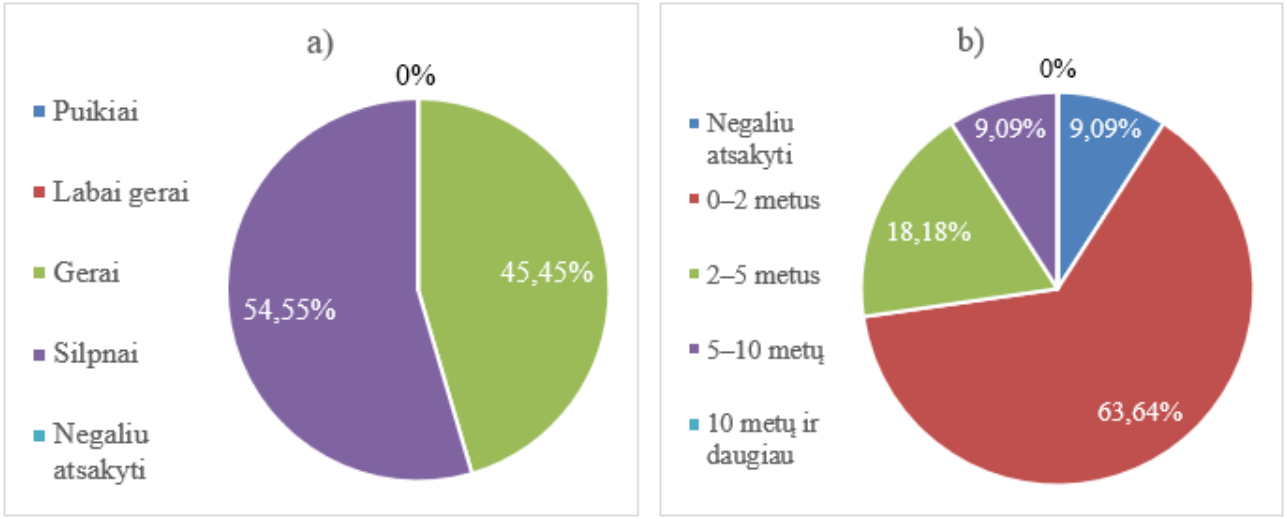
7 lentelė. Autoriaus klausimai, parengti apklausai Lietuvoje

Eil. Nr.	Klausimai	Atsakymai
4.	**Asmeninė BIM technologijų patirtis:** **4.1** Remiantis asmeninėmis žiniomis, pažymėkite, kiek labai sutinkate su pateiktais teiginiais: a) Žinote, kam daiktų internetas (angl. *Internet of Things*, sutr. IoT) gali būti naudojamas statybose / projektavime; b) Esate naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius (pvz., išmaniuosius akinius „Microsoft Hololens 2“) biure; c) Esate naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius (pvz., išmaniuosius akinius „Microsoft Hololens 2“) statybvietėje; d) Esate matę, kaip Užsakovo atstovai, subrangovai ar partneriai naudojo papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure arba statybvietėje; e) Naudojate mobiliąsias debesies programas (pvz., „Trimble Connect“ telefone arba planšetiniame kompiuteryje) BIM projektų valdymui, bendradarbiavimui; f) Statybvietėje, kurioje dirbate (ar dirbote) naudojami dronai statybos progresui ir darbų saugai stebėti; g) Statybvietėje, kurioje dirbate (ar dirbote) naudojamas 3D skenavimas lazeriu; h) Esate naudoję 3D spausdinimą bet kokiam statinio elementui / detalei spausdinti.	**4.1** *Visiškai sutinku; Sutinku; Nei sutinku, nei nesutinku; Nesutinku; Visiškai nesutinku;*
5.	**BIM technologijų tendencijos įmonėje:** **5.1** Pasirinkite 3 BIM technologijas, kurios, Jūsų manymu, turėtų daugiausia grįžtamosios grąžos Jūsų įmonėje? - Daiktų internetas (IoT); - Papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginiai; - Mobiliosios debesies programos BIM projektų valdymui, bendradarbiavimui; - Dronai (statybos progresui, darbų saugai stebėti, grunto, stogų kiekių skaičiavimui, topografinių nuotraukų sudarymui ar kt.); - 3D skenavimas lazeriu; - 3D spausdinimas.	**5.1** *Pasirinkti;*

Apklausą pildyti buvo pakviesti 7 įmonių darbuotojai, o atsakymai gauti iš 85% pakviestųjų – 1 nekilnojamojo turto vystymo ir 5 generalinės rangos įmonių.

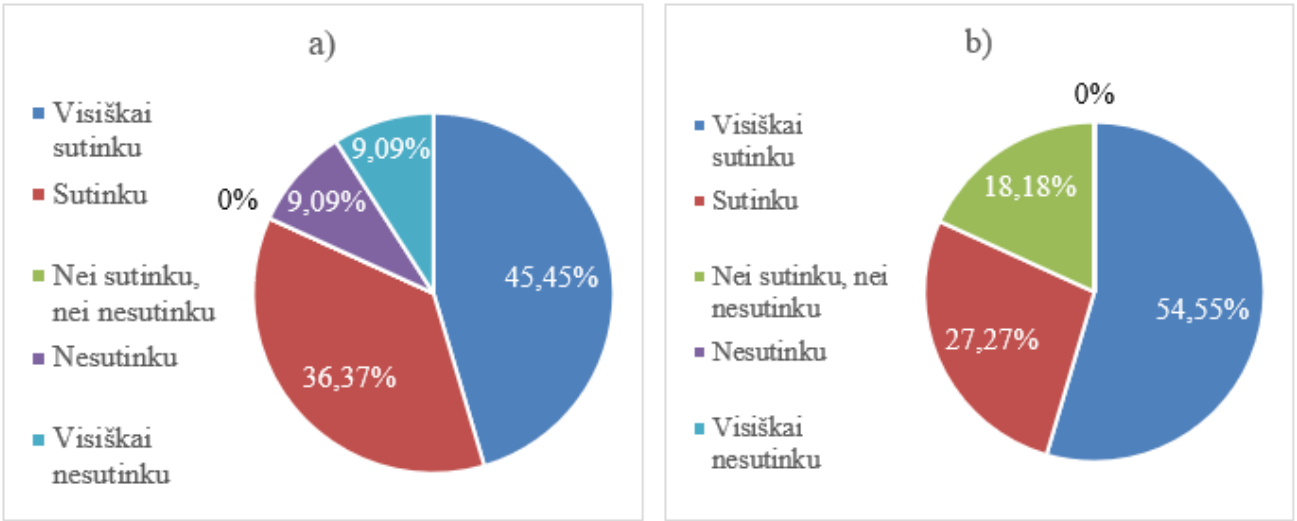
Į klausimą, kaip respondentai vertina savo BIM žinias ir įgūdžius, 54,55% apklaustųjų atsakė, kad silpnai ir 45,45% – gerai. Atitinkamai įvertinta BIM taikymo patirtis – 9,09% negalėjo nurodyti, 63,64%

BIM taiko 0–2 metus, 18,18% – 2–5 metus ir 9,09% – 5–10 metų. Iš rezultatų matoma, kad silpnai vertina savo žinias tie, kurie BIM taikymo patirties negali nurodyti arba taiko tik 0–2 metus. Svarbu paminėti, kad nėra nei vieno respondento, naudojančio BIM 10 ir daugiau metų bei vertinančio savo žinias labai gerai arba puikiai (žr. 76 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, savo žinias ir įgūdžius silpnai vertino 19%, gerai – 30%, labai gerai – 37% ir puikiai 7% apklaustųjų. Tačiau, kaip ir Lietuvoje, nei vienas respondentas nenurodė, kad BIM taiko 10 metų ir daugiau (Elyamany, 2016).



76 pav. Respondentų BIM įgūdžių ir žinių vertinimas (a) ir BIM taikymo patirtis (b)

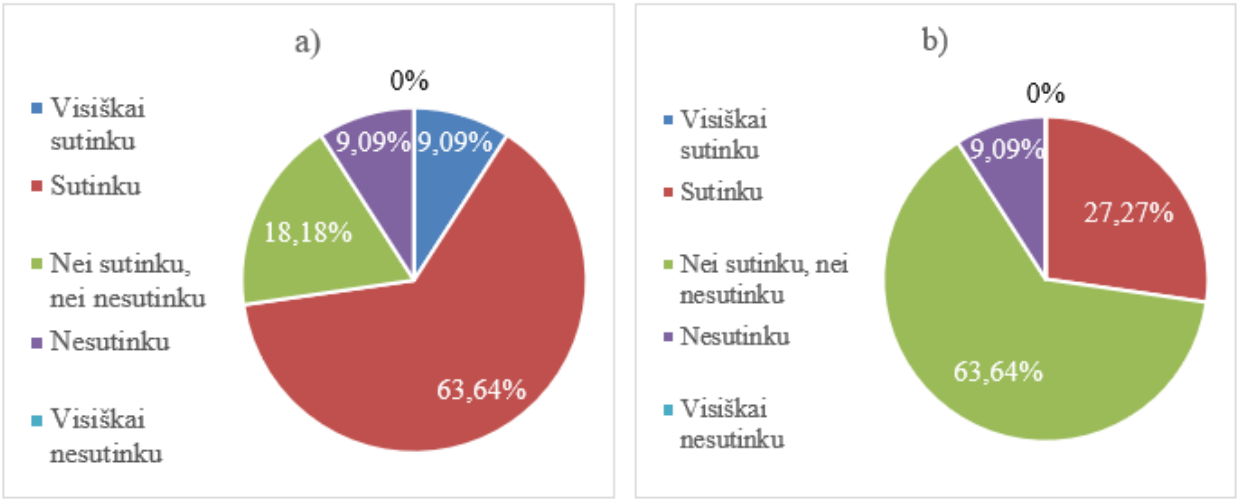
Remiantis respondentų asmenine patirtimi, 81,82% apklaustųjų apie BIM šiuo metu girdi vis daugiau ir mano, kad tai yra projekto informacijos ateitis (žr. 77 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, apie BIM girdi vis daugiau ir daugiau – 91%, o 9%, visiškai nesutinka su teiginiu. 95% apklaustųjų sutinka, kad BIM yra projekto informacijos ateitis, o 5% taip nemano (Elyamany, 2016).



77 pav. Respondentai apie BIM šiuo metu girdi vis daugiau (a) ir mano, kad BIM yra projekto informacijos ateitis (b)

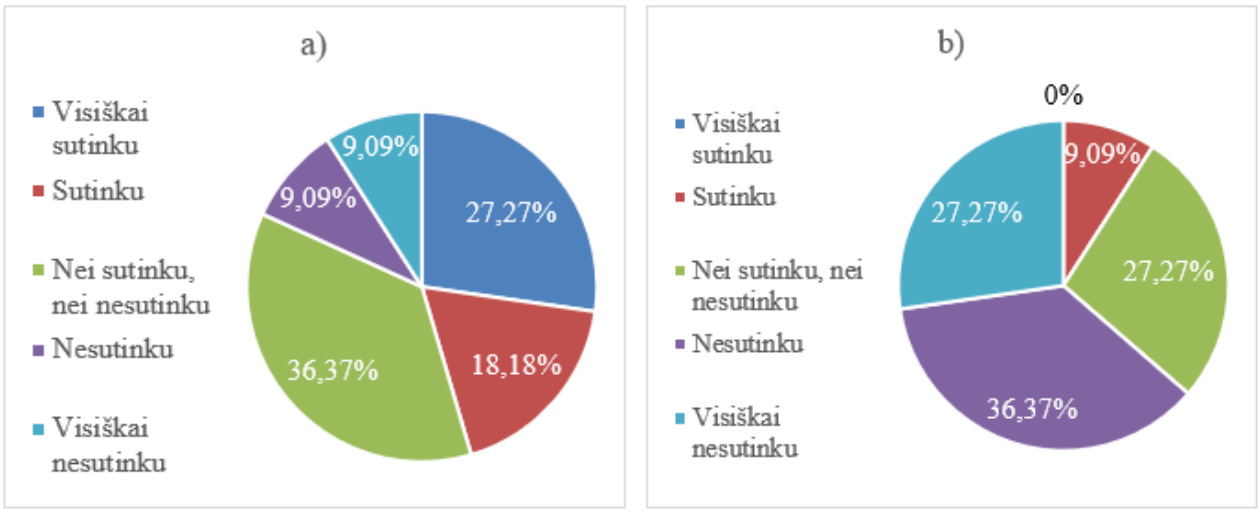
Remiantis respondentų asmenine patirtimi, 72,73% apklaustųjų reikia, kad gamintojai pateiktų BIM objektų bibliotekas projektavimui, o 9,09% – nereikia. Vertinant vyriausybės indėlį į BIM diegimą

Lietuvoje bei su tuo susijusius sprendimus, dauguma apklaustųjų apie tai neturi nuomonės, 9,09% mano, kad vyriausybė nepriima tinkamų sprendimų dėl BIM ir 27,27% mano, kad vyriausybė yra teisingame kelyje (žr. 78 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 84% apklaustųjų reikia, kad gamintojai pateiktų BIM objektų bibliotekas projektavimui, o 16% – nereikia. Dėl vyriausybės indėlio į BIM diegimą Egipte, 79% apklaustųjų sutinka, kad yra priimami teisingi sprendimai, o 21% taip nemano (Elyamany, 2016).



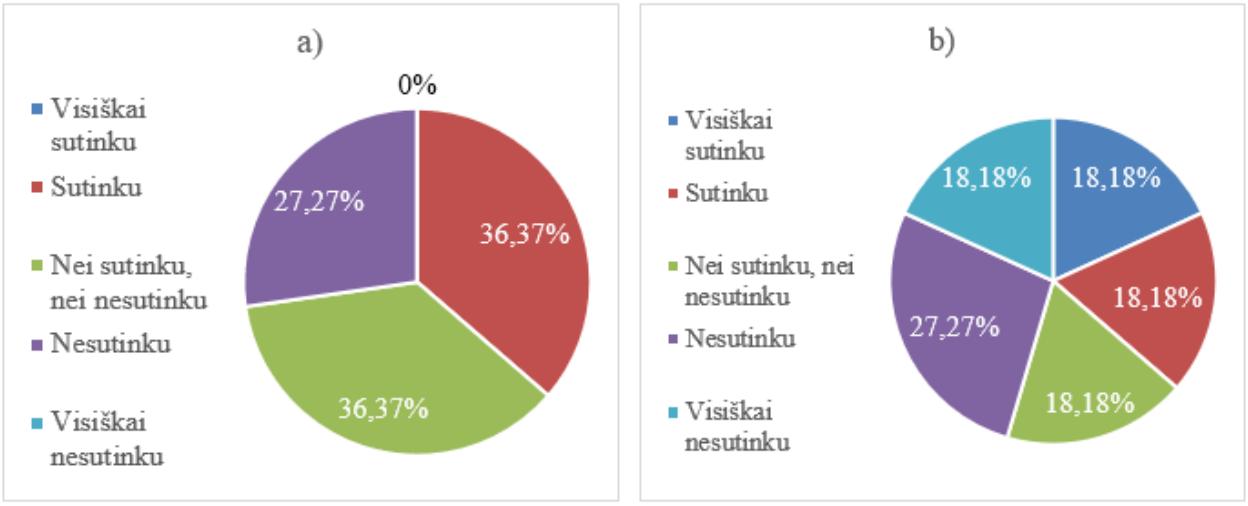
78 pav. Respondentams reikia iš gamintojų BIM objektų bibliotekų (a), vyriausybė supranta BIM reikšmę ir priima teisingus sprendimus (b)

Remiantis respondentų asmenine patirtimi, 45,45% apklaustųjų reikia BIM, kad galėtų projektuoti tvarius pastatus, likusi dalis arba neturi nuomonės, nes turi nepakankamai patirties, arba nesutinka su teiginiu, kad BIM lemia pastatų tvarumą. 63,64% apklaustųjų nesutinka, kad BIM veikia tik toje programoje, kurioje yra suprojektuoti, o 27,27% neturi apie tai nuomonės (žr. 79 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 88% apklaustųjų reikia BIM, kad galėtų projektuoti tvarius pastatus, o 12% – nereikia. 70% apklaustųjų nesutinka, kad BIM veikia tik toje programoje, kurioje yra suprojektuoti, o 30% sutinka (Elyamany, 2016).



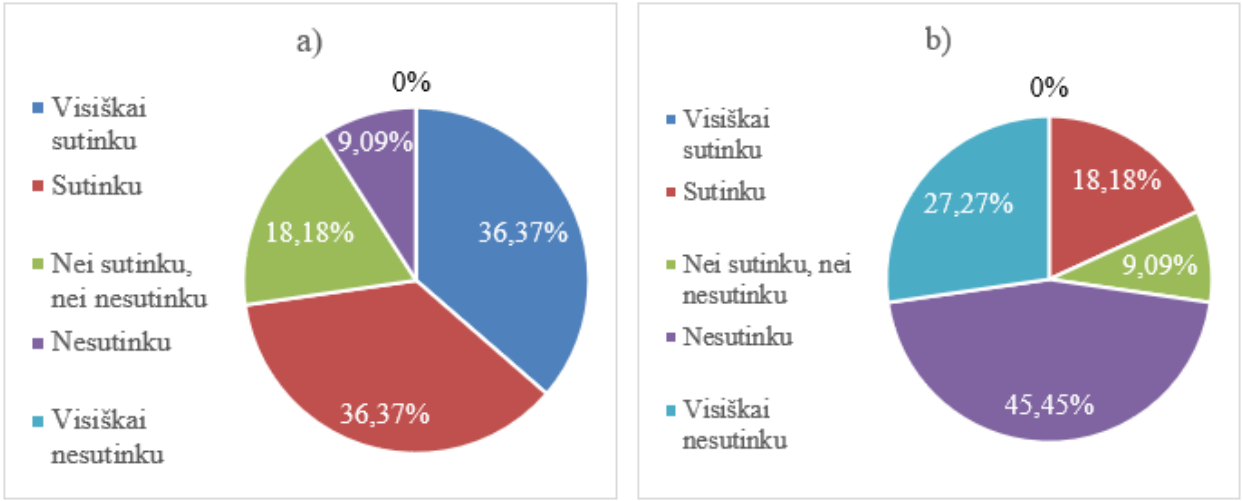
79 pav. Respondentams reikia BIM tvarių pastatų projektavimui (a), BIM modeliai veikia tik toje programoje, kurioje yra suprojektuoti (b)

Remiantis respondentų asmenine patirtimi, 36,37% apklaustųjų sutinka, kad BIM yra naudojamas valstybiniuose projektuose, 36,37% neturi nuomonės ir 27,27% nesutinka su pateiktu teiginiu. Mažesnei daliai respondentų yra pakankamai aišku, kas yra BIM statybos pramonėje, tačiau neaišku arba neturi nuomonės 54,54% apklaustųjų (žr. 80 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 21% apklaustųjų sutinka, kad BIM yra naudojamas valstybiniuose projektuose, o 79% nesutinka. 70% apklaustųjų nėra pakankamai aišku, kas yra BIM statybos pramonėje, 23% neturi nuomonės ir tik 7% tai yra aišku (Elyamany, 2016).



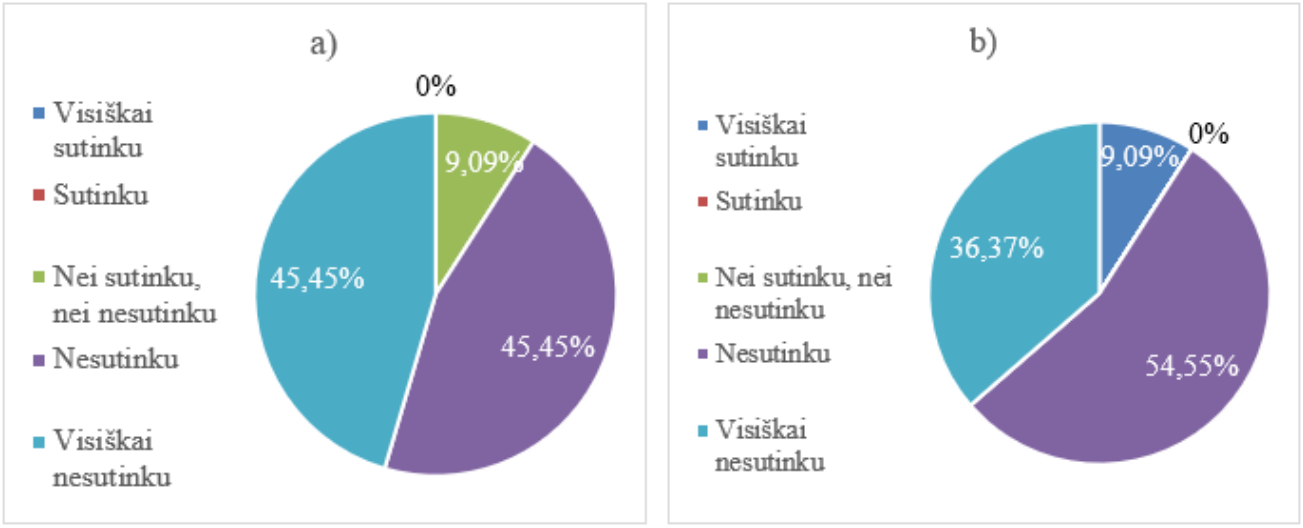
80 pav. Respondentai sutinka, kad BIM naudojamas valstybiniuose projektuose (a) ir mano, kad vis dar nėra pakankamai aišku, kas yra BIM statybos pramonėje (b)

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, 72,74% apklaustųjų sutinka, kad BIM – tai bendradarbiavimas realiu laiku ir 72,72% – nesutinka, kad BIM yra tik programinė įranga (žr. 81 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 56% apklaustųjų sutinka, kad BIM – tai bendradarbiavimas realiu laiku, 37% neturi nuomonės ir 7% su tuo nesutinka. 30% apklaustųjų nesutinka, kad BIM yra tik programinė įranga, 35% neturi nuomonės ir 35% sutinka su teiginiu (Elyamany, 2016).



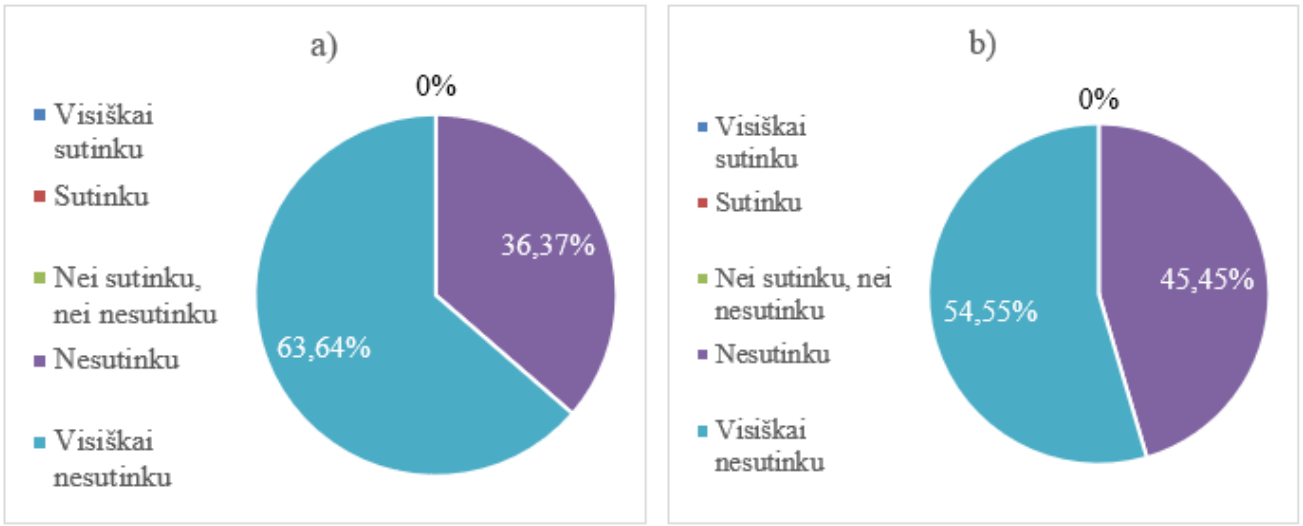
81 pav. Respondentai sutinka, kad BIM – tai bendradarbiavimas realiu laiku (a) ir nesutinka, kad BIM yra tik programinė įranga (b)

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, 90,90% apklaustųjų nesutinka, kad BIM skirtas tik naujai statybai, bet ne renovacijai, o 9,09% neturi nuomonės. 90,92% apklaustųjų taip pat nesutinka, kad BIM nepalengvina projektavimo ar statybos metodų keitimo (žr. 82 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 64% apklaustųjų nesutinka, kad BIM skirtas tik naujai statybai, bet ne renovacijai, o 21% neturi nuomonės. 62% apklaustųjų nesutinka, kad BIM nepalengvina projektavimo ar statybos metodų keitimo (Elyamany, 2016).



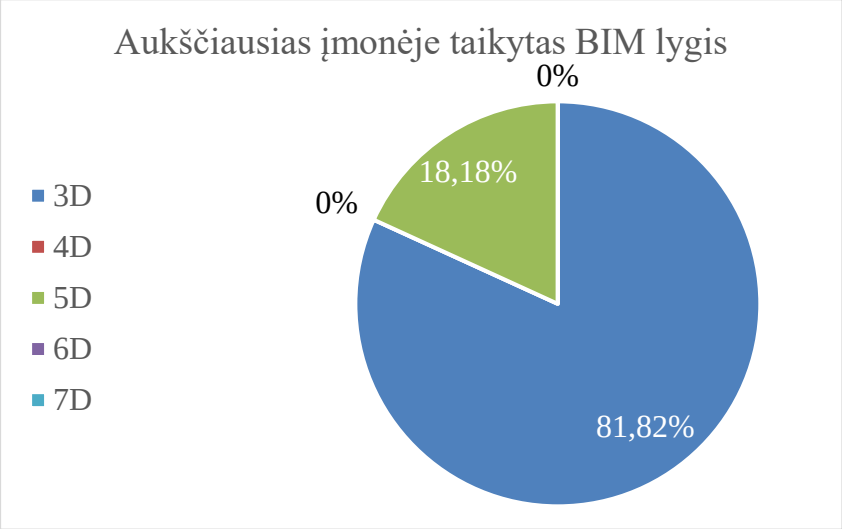
82 pav. Respondentai nesutinka, kad BIM skirta tik naujai statybai (a) ir nesutinka, kad BIM nepalengvina projektavimo ar statybos metodų keitimo (b)

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, visi apklaustieji nesutinka, kad BIM rezultatas – silpni pastatai. Taip pat, visi nesutinka, kad BIM yra tik 3D projektavimo sinonimas (žr. 83 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 70% apklaustųjų nesutinka, kad BIM rezultatas – silpni pastatai, 9% sutinka. 77% apklaustųjų nesutinka, kad BIM yra tik 3D projektavimo sinonimas, o 7% sutinka (Elyamany, 2016).



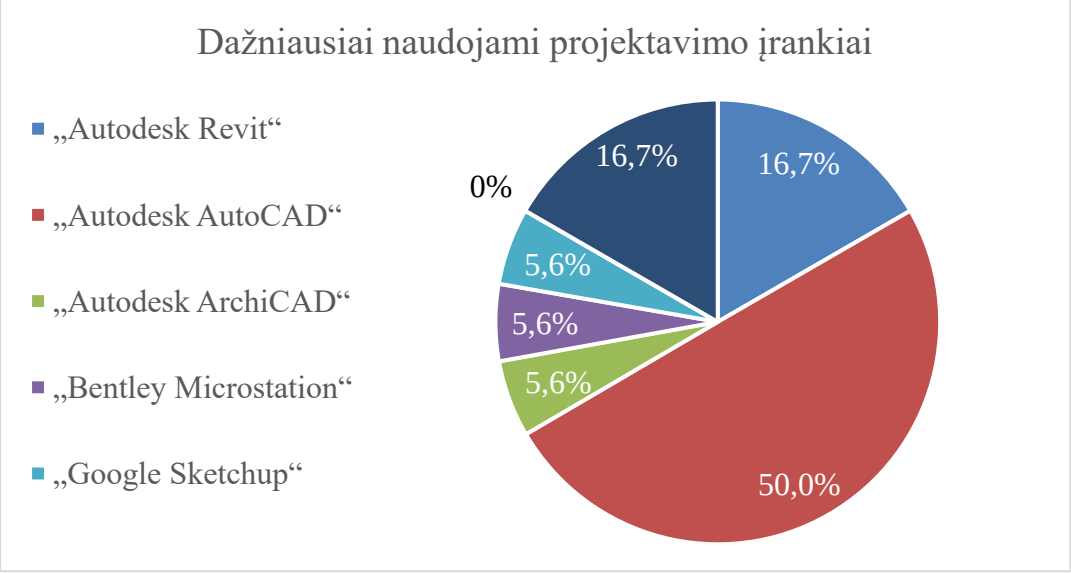
83 pav. Respondentai nesutinka, kad BIM rezultatas – silpni pastatai (a) ir nesutinka, kad BIM yra tik 3D projektavimo sinonimas (b)

Į klausimą, koks aukščiausias BIM lygis (dimensija) taikytas projektui, 81,82% nurodė, kad 3D ir 18,18% – 5D. Galima daryti prielaidą, kad vykdantys 5D projektus, vykdė ir 4D, tačiau nėra nei vieno respondento, nurodžiusio, kad taikė 6D ar 7D, kurie daugiausia priklauso nuo Užsakovo poreikio (žr. 84 pav.). Lyginant su Egipte atlikta apklausa, 32% apklaustųjų negalėjo atsakyti ir 20% buvo taikę tik 2D projektavimą, tačiau 5% apklaustųjų, įmonėje, kurioje dirba, jau buvo taikę 6D lygį (Elyamany, 2016).



84 pav. Aukščiausias įmonėje taikytas BIM lygis projektui

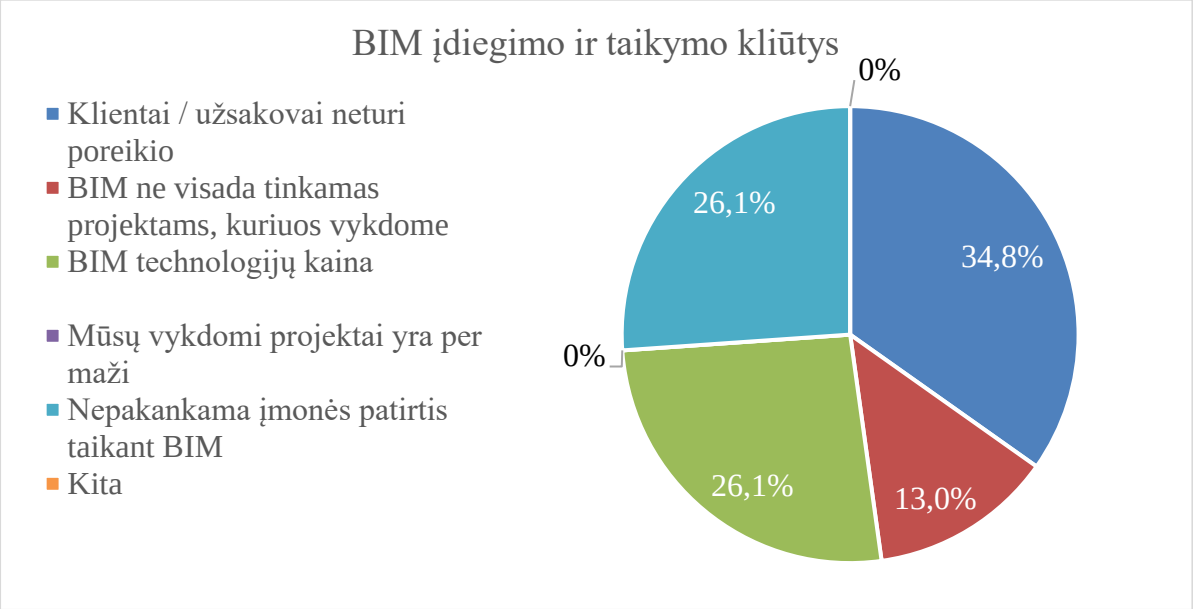
85 paveiksle pateikta projektuotojų dažniausiai naudojamų programų statistika. Populiariausia programa „Autodesk AutoCAD“, kuria naudojasi 50% apklaustųjų. 16,7% respondentų nurodė, kad naudojasi kita programine įranga – „Tekla BIMSight“, „Trimble Connect“, „Autodesk DWG Trueview“, skirta 2D ir 3D modelių peržiūrai.



85 pav. Dažniausiai naudojami projektavimo įrankiai

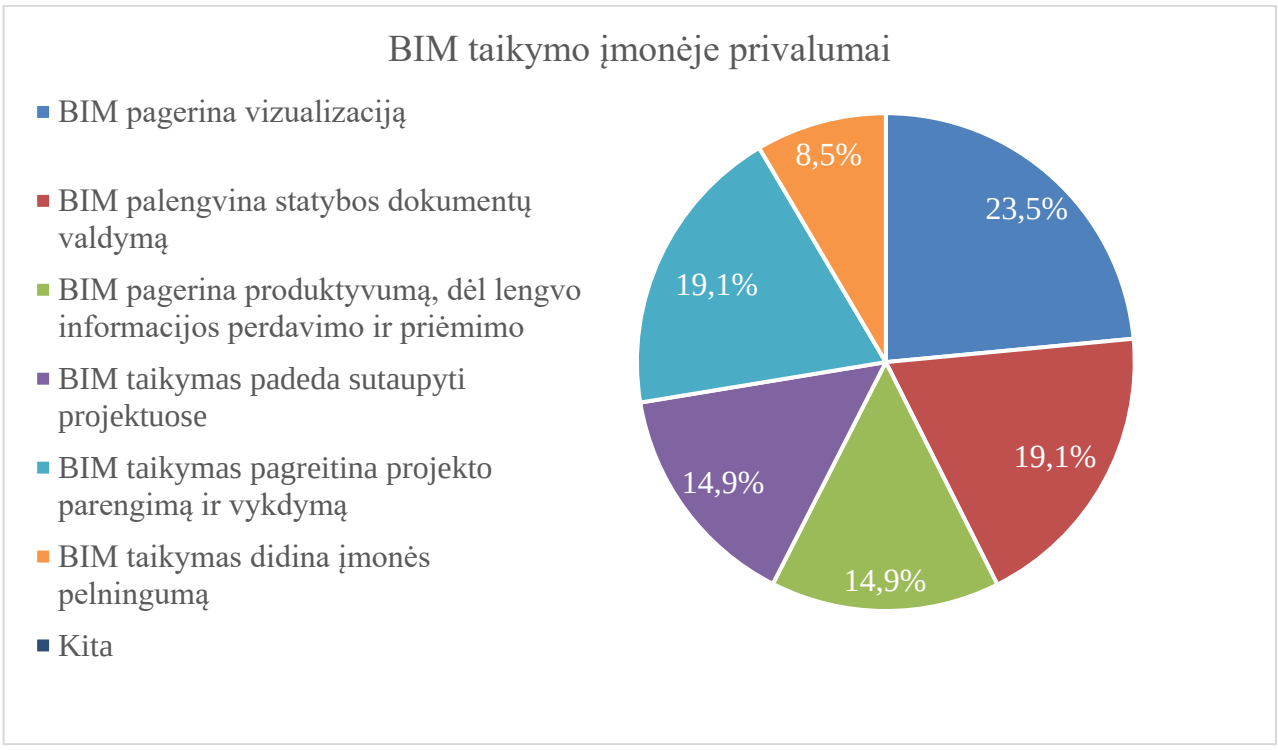
86 paveiksle pateikta respondentų nuomonė apie BIM įdiegimo ir taikymo kliūtis įmonėse, kuriose dirba. Apklaustieji mano, kad pagrindinės kliūtys – klientų / užsakovų poreikio stoka, BIM technologijų

kaina ir nepakankama įmonės patirtis. Lyginant su Egipte atlikta apklausa (Elyamany, 2016), pagrindinės trys BIM taikymo kliūtys tokios pat, kaip autoriaus atliktame tyrime Lietuvoje.



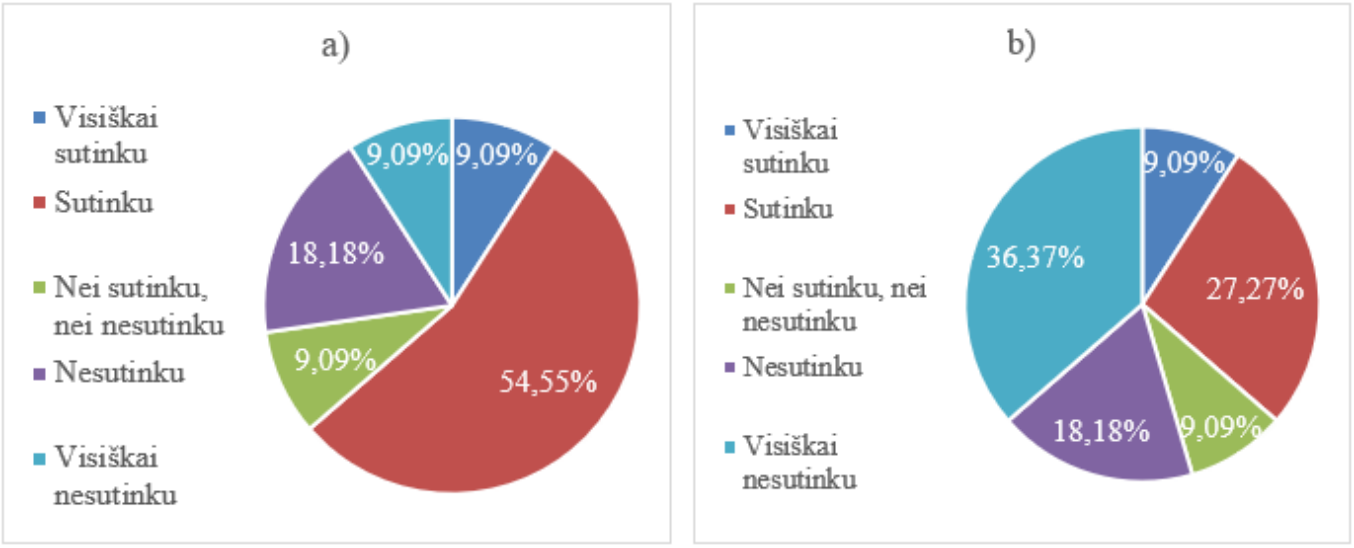
86 pav. BIM įdiegimo ir taikymo kliūtys

87 paveiksle pateikta respondentų nuomonė apie BIM taikymo privalumus. 23,5% apklaustųjų sutinka, kad BIM pagerina vizualizaciją, 19,1% mano, kad BIM palengvina statybos dokumentų valdymą ir tiek pat, kad BIM taikymas pagreitina projekto parengimą ir vykdymą. Lyginant gautus duomenis su Egipte atlikta apklausa, profesoriaus Elyamany nustatyti pagrindiniai trys BIM taikymo privalumai – pagerinama vizualizacija, lengvesnis statybos dokumentų valdymas, padidintas produktyvumas, dėl lengvo informacijos perdavimo ir priėmimo (Elyamany, 2016).



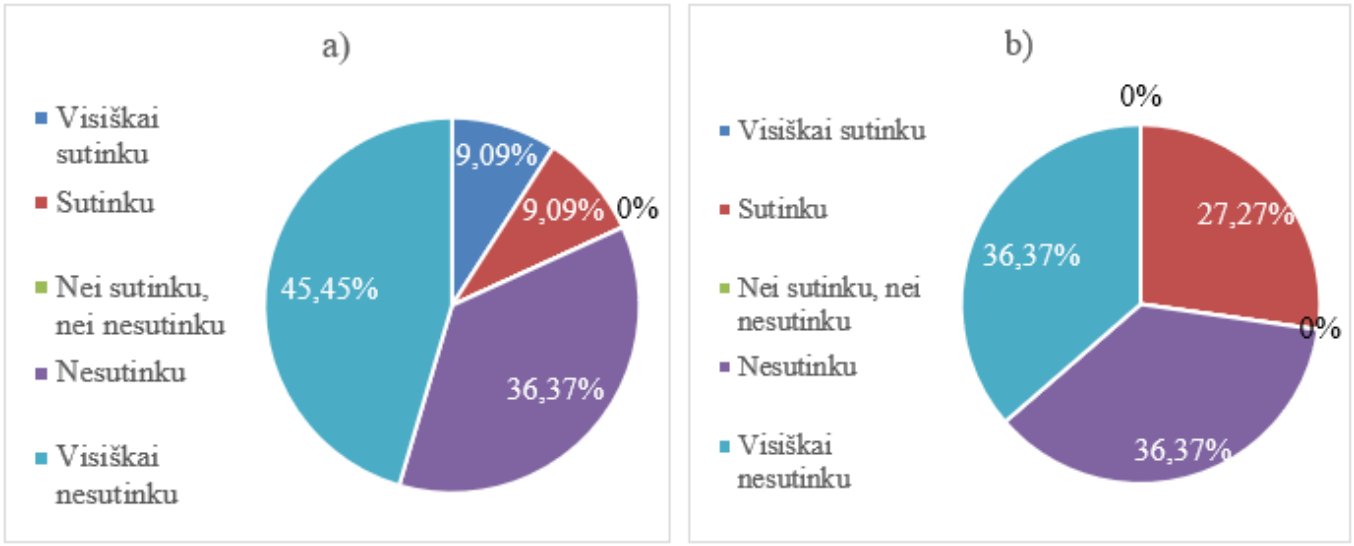
87 pav. BIM taikymo įmonėje privalumai

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, 63,64% apklaustųjų žino, kam daiktų internetas (angl. *Internet of Things*, sutr. IoT) gali būti naudojamas statybose / projektavime, o likusieji 36,36% neturi nuomonės arba pakankamai žinių apie tai. 36,36% respondentų yra naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure, 9,09% nėra tikri ar naudojo ir 54,55% nėra naudoję (žr. 88 pav.).



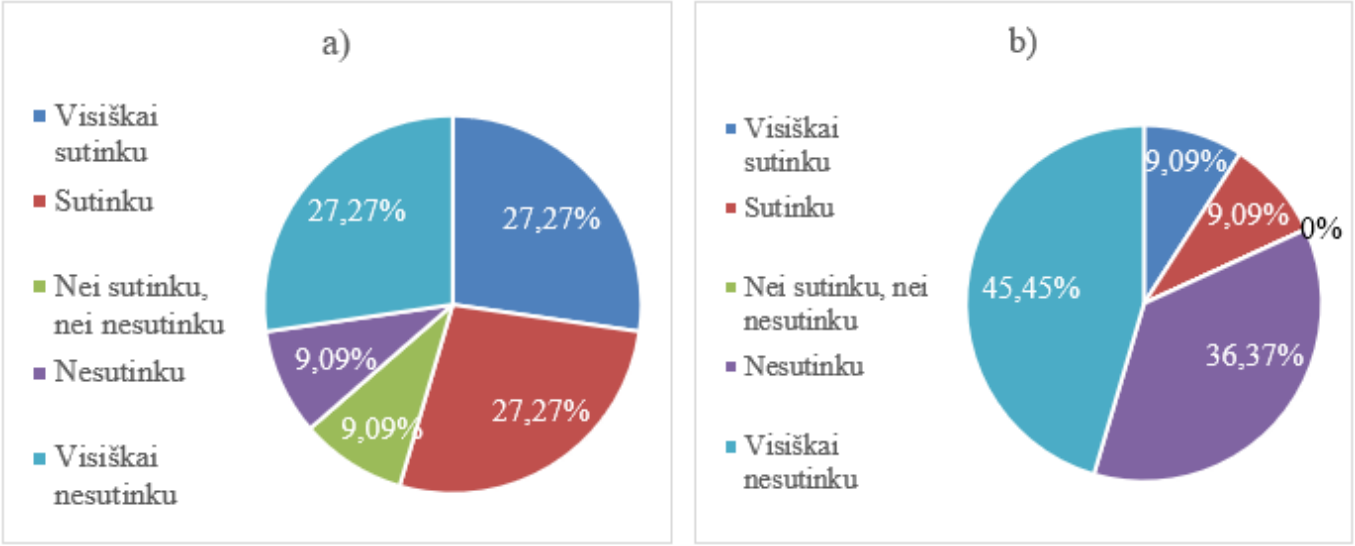
88 pav. Respondentai žino, kam daiktų internetas gali būti naudojamas statybose / projektavime (a), ir yra naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure (b)

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, 18,18% apklaustųjų yra naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius statybvietėje, 81,82% nėra naudoję. 27,27% apklaustųjų yra matę, kaip Užsakovo atstovai, subrangovai ar partneriai naudojo papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius statybvietėje / biure, 72,74% nėra matę (žr. 89 pav.).



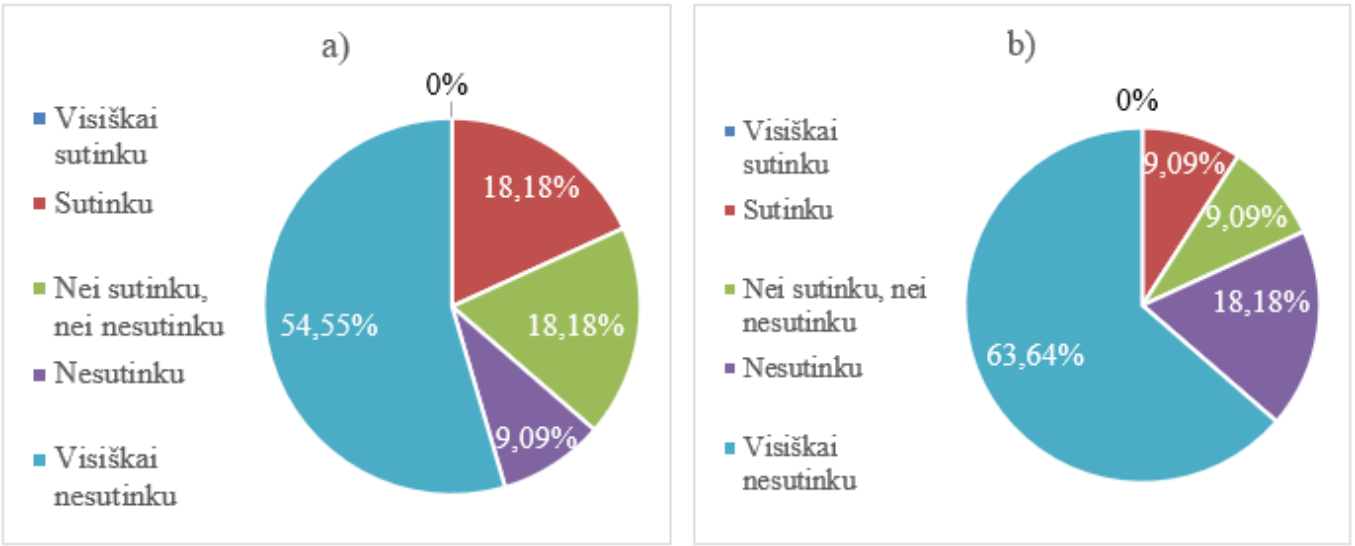
89 pav. Respondentai yra naudoję papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius statybvietėje (a), ir yra matę, kaip Užsakovas, subrangovai ar partneriai naudojo papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure / statybvietėje (b)

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, 54,54% apklaustųjų yra naudoję mobiliąsias debesies programas BIM projektų valdymui, bendradarbiavimui, 9,09% nėra tikri ar naudojo ir 36,36% nėra naudoję. 18,18% apklaustųjų naudoja dronus statybvietėje darbų progresui ir saugai stebėti, tačiau 81,82% dronų nenaudoja (žr. 90 pav.).



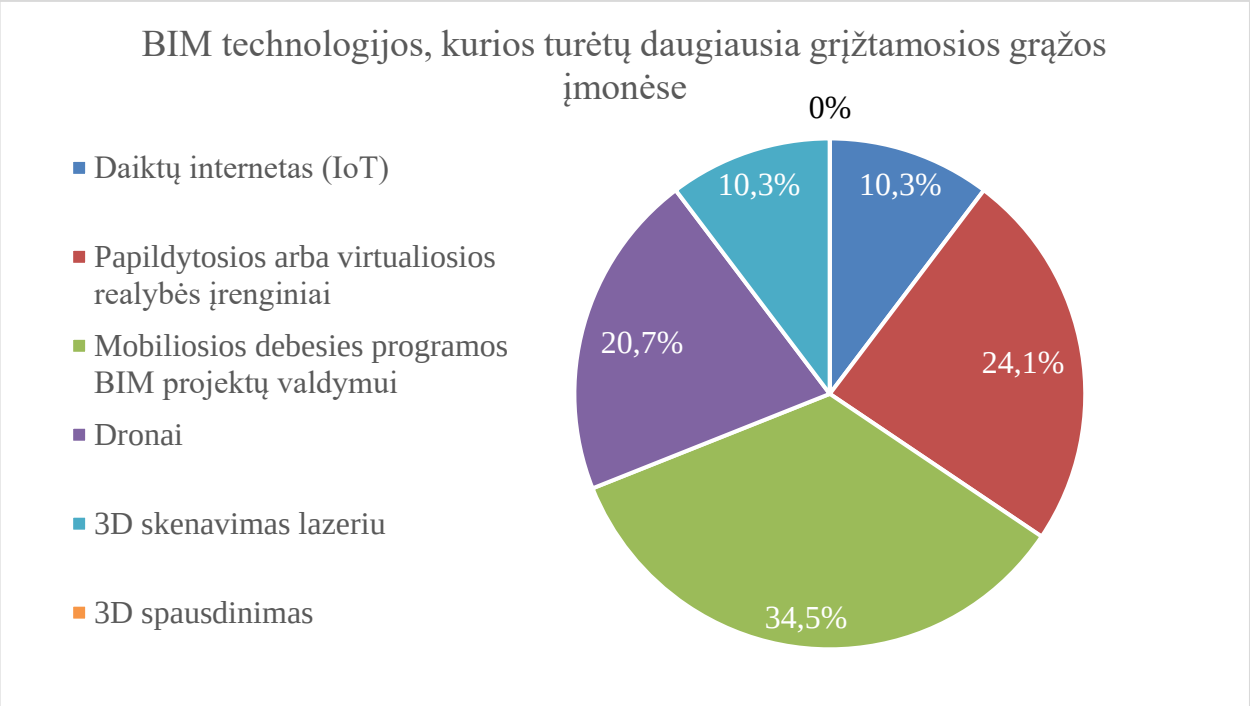
90 pav. Respondentai yra naudoję mobiliąsias debesies programas BIM projektų valdymui (a) ir dronus – statybos progresui ir darbų saugai stebėti (b)

Remiantis respondentų asmeninėmis žiniomis, 18,18% apklaustųjų yra naudoję 3D skenavimą lazeriu statybvietėje, 18,18% nėra tikri ar naudojo ir 63,64% nėra naudoję. 9,09% apklaustųjų yra naudoję 3D spausdinimą bet kokiam statinio elementui / detalei spausdinti, 9,09% nėra tikri ar naudojo ir 81,82% nėra naudoję (žr. 91 pav.).



91 pav. Respondentai yra naudoję 3D skenavimą lazeriu statybvietėje (a) ir 3D spausdinimą bet kokiam statinio elementui / detalei spausdinti (b)

92 paveiksle pateikta respondentų nuomonė apie BIM technologijas, kurios, jų manymu, turėtų daugiausia grįžtamosios grąžos. Nustatytos 3 pagrindinės BIM technologijos: mobiliosios debesies programos, papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginiai ir dronai.



92 pav. BIM technologijos, kurios turėtų daugiausia grįžtamosios grąžos įmonėse

Atlikus tyrimą apie BIM technologijų taikymo praktiką Lietuvoje, nustatyta, kad tarp apklaustųjų nebuvo nei vieno taikančio BIM 10 metų ir daugiau, dauguma yra tik pradinėje BIM diegimo ir naudojimo stadijoje (0–2 metai) ir atitinkamai 54,55% apklaustųjų savo asmenines žinias ir įgūdžius vertina silpnai. Daugiau nei pusei apklaustųjų nėra pakankamai aišku kas yra BIM statybos pramonėje, o tai įrodo, kad statybos inžinieriams trūksta ne tik praktinių, bet ir teorinių žinių apie informacinį pastato modeliavimą. 81,82% apklaustųjų nurodė, kad aukščiausias BIM lygis, taikytas įmonėje, kurioje jie dirba, yra 3D, tačiau nebuvo nei vieno nurodžiusio 2D projektavimo, kai profesoriaus Elyamany (Elyamany, 2016) atliktoje apklausoje buvo net 20% respondentų, kurie dar nebuvo susidūrę su 3D modeliais.

Respondentai nurodė tokias 3 pagrindines BIM įdiegimo ir taikymo kliūtis įmonėse, kuriose dirba: klientų / užsakovų poreikio stoka, BIM technologijų kaina ir nepakankama įmonės patirtis. Pagrindiniai 3 privalumai, kuriuos rinkosi respondentai: BIM pagerina vizualizaciją, palengvina statybos dokumentų valdymą, pagreitina projekto parengimą ir vykdymą.

Papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure yra naudoję 36,36% apklaustųjų, o statybvietėje – 18,18%. Mobiliąsias debesies programas naudoja daugiau nei 50% apklaustųjų ir tai reiškia, kad statybos įmonėse bendradarbiavimas debesyse yra pakankamai populiarus ir respondentų įvardijamas, kaip viena naudingiausių BIM technologijų įmonėje.

IŠVADOS

Atlikus BIM taikymo privalumų ir trūkumų analizę, nustatyta pagrindinė nauda – dalijimasis informacija su visais projekto dalyviais bendroje platformoje, klaidų skaičiaus sumažinimas, lengvesnis projekto valdymas sujungiant darbų vykdymo grafiką su 3D modeliu, statybos kainos ir trukmės sumažinimas. Tačiau, norint, kad BIM taikymas projekte atsipirktų, reikia efektyviai planuoti specialistų darbą, rengti atitinkamus mokymus, įvertinti reikalingą BIM detalumo lygį kiekvienam statomam objektui ar diegiant naujas technologijas įmonėje.

Peržiūrėjus Lietuvos organizacijas ir dokumentus, reglamentuojančius BIM taikymą šalyje, matoma, kad standartų vis dar yra nepakankamai, nėra aiškiai apibrėžta kiekviena statinio gyvavimo ciklo stadija (nuo idėjos iki pastato nugriovimo) ir neapibrėžtos atsakomybės ribos skirtingoms suinteresuotosioms šalims. Tačiau, kai „Skaitmeninė statyba“ buvo priimta į aljansą „buildingSMART“, BIM dokumentų Lietuvoje diegimas pagreitėjo – šiuo metu yra priimti 5 standartai. Lyginant su Jungtine Karalyste, kuri turi vieną didžiausių BIM normatyvų bazę, joje taikomi 9 pagrindiniai standartai ir gairės, parengti kiekvienai statinio gyvavimo ciklo stadijai.

Atlikus pirmųjų keturių Lietuvoje vykdytų projektų BIM aplinkoje – Vilniaus savivaldybės pastato, verslo centro „Victoria“, PET plastiko žaliavos gamyklos Klaipėdoje ir biurų pastato Gedimino prospekte 35, Vilniuje analizę, nustatyti šie privalumai: produktyvumo ir pelningumo padidėjimas, laiko sutaupymas, didelių klaidų išvengimas. Tai, kad prieš daugiau nei 15 metų, Lietuvoje dar nesant BIM standartų, apibrėžtų reikalavimų, pavyko sėkmingai vykdyti BIM projektus, įrodo, kad statybos pramonės specialistai yra pakankamai pasirengę ir imlūs inovacijoms.

Pagrindinės BIM technologijų tendencijos pasaulyje šiuo metu: daiktų internetas, papildytoji ir virtualioji realybės, mobiliosios debesies programos, 3D skenavimas lazeriu, dronai, 3D spausdinimas. Remiantis atliktu Kinijoje bandymu su surenkamųjų konstrukcijų sekimu realiu metu, naudojantis RFID žymekliais bei sukurtais elektrotechnikos, vėdinimo ir kondicionavimo, vandentiekio ir nuotekų gamintojų produktų kainų papildiniais „Revit“ programai, matoma IoT susiejimo su statybomis bei projektavimu pažanga. Gamintojai, integruojantys savo produktų bazes į projektavimo stadiją, ne tik palengvina darbą projektuotojams, bet kuria pavyzdį kitiems produktų tiekėjams. Tai gali paskatinti kitų įmonių įsitraukimą į bendrų informacinių sistemų kūrimą, kurias galima įdiegti į BIM modelį.

Peržiūrėjus papildytosios ir virtualiosios realybės tendencijas statybose, matomi tokie privalumai: sutaupomas laikas ir pinigai – visoms suinteresuotosioms projekto šalims bendradarbiaujant VR ir AR realybėje, ankstyvoje stadijoje lengviau pamatomos projekto klaidos ir paprasčiau pasirenkamas norimas dizainas, todėl sumažinamas pakeitimų skaičius statybų metu; pagerinama mokymosi dirbti sunkiaisiais mechanizmais statybose patirtis ir sauga – AR ar VR realybėje mokantis valdyti kraną, keltuvą ar kitą priemonę, išvengiama žmogaus sužalojimo ar įrangos sugadinimo; pagerintas bendradarbiavimas

virtualiais susitikimais, nuotoline objekto apžiūra; pagerinama projekto kokybė – greičiau priimami sprendimai, matant aiškų 3D vaizdą mažiau klaidingų projekto interpretacijų ir darbų perdarymo.

Debesies platformos mobiliuosiuose įrenginiuose naudojimas statybose turi nemažai privalumų, atsižvelgiant į naudojamos programinės įrangos funkcijas. Visa informacija keliama į bendrą, centralizuotą sistemą ir pasiekiama bet kurioje vietoja išmaniaisiais telefonais ar planšetiniais kompiuteriais realiu laiku. Be to, nereikia skirtingų programų 3D modeliams peržiūrėti, jie atidaromi integruotomis į debesį programomis ir informacija lieka saugi įrenginio sugadinimo ar praradimo atveju. Dėl susidūrimo taškų funkcijos ir visos komandos bendradarbiavimo, turint naujausią informaciją didžioji projekto klaidų dalis ištaisoma dar ankstyvoje projektavimo stadijoje, dėl to statybos metu sutaupomas laikas ir pinigai.

Vertinant 3D skenavimo lazeriu privalumus, lazerių bei programinės įrangos, reikalingos parengti 2D ir 3D brėžinius iš skaitytuvų surinktos taškų debesų informacijos, matoma, kad būtina įvertinti skenavimo reikalingumą projektui. Jei projektas labai didelės apimties ir sudėtingas ar sunku įvertinti tiksliai fiziniais matavimais reikalingus atlikti darbus, tuomet 3D skenavimas lazeriu gali būti ypač naudingas.

Norint įdiegti statybos objekto bepiločio orlaivio – drono naudojimą, būtina atsižvelgti į norimas atlikti užduotis. Jei reikia stebėti statybvietę ir darbuotojų saugą, gali užtekti drono be papildomos įrangos duomenų apdorojimui, nes galima matyti vaizdą tiesiogiai ir užfiksuoti pažeidimus, objekto vykdymo progresą su integruota į droną kamera. Tačiau, jei reikia greitai ir tiksliai paruošti statybos aikštelės brėžinius, pamatuoti altitudes, reikiamų renovuoti stogų kiekį, tuomet būtina įsigyti tam skirtą programinę įrangą arba pirkti kitos įmonės, kuri specializuojasi dronų pilotavime ir duomenų apdorojime, paslaugas.

Peržiūrėjus 3D spausdinimo technikas ir jų taikymą statybos pramonėje, matoma, kad šiuo metu spausdinami įvairūs elementai: demonstraciniai, mažesnio mastelio modeliai, laikinieji klojiniai perdangai, vieno aukšto namai, tiltai. Didelių matmenų statybinių objektų spausdinimas ir konstrukcijų patikimumas prieš spausdinant realius modelius bandomas atspausdinus mažesnę norimo gaminio versiją, taip pat deformacijoms matuoti įrengiami deformacijų jutikliai, taip vertinant ir matant konstrukcijos savybes realiu metu. Pagrindinis 3D spausdinimo privalumas – mažesnės laiko sąnaudos. Tačiau reikalingas specialaus mišinio rengimas, tinkamo parinkimas arba, kaip „ICON“ sukurtas ir patentuotas naujas portlandcemenčio mišinys „Lavacrete“. Todėl be bendradarbiavimo su įvairiomis mokslo įstaigomis ir centrais, 3D spausdinimas būtų sudėtingesnis arba neįmanomas.

Egipte, profesoriaus Elyamany atliktos statybos įmonių apklausos, nustatytos trys pagrindinės BIM taikymo kliūtys: klientų poreikio stoka, BIM technologijų kaina ir įmonės patirties trūkumas. Nustatyti BIM technologijų taikymo statyboje privalumai: vizualizacijos ir produktyvumo gerinimas, efektyvus statybos dokumentų valdymas, greitesnis projekto parengimas ir vykdymas, mažėjančios išlaidos ir didėjantis pelningumas.

Autoriaus atliktame tyrime apie BIM technologijų taikymo praktiką Lietuvoje, nustatyta, kad tarp apklaustųjų nebuvo nei vieno taikančio BIM 10 metų ir daugiau, dauguma yra tik pradinėje BIM diegimo ir naudojimo stadijoje (0–2 metai), todėl atitinkamai – 54,55% apklaustųjų savo asmenines žinias ir įgūdžius vertina silpnai. Daugiau nei pusei apklaustųjų nėra pakankamai aišku kas yra BIM statybos pramonėje, o tai įrodo, kad statybos inžinieriams trūksta ne tik praktinių, bet ir teorinių žinių apie informacinį pastato modeliavimą. 81,82% apklaustųjų nurodė, kad aukščiausias BIM lygis, taikytas įmonėje, kurioje jie dirba – 3D, tačiau nebuvo nei vieno nurodžiusio 2D projektavimo, kai profesoriaus Elyamany atliktoje apklausoje buvo net 20% respondentų, kurie dar nebuvo susidūrę su 3D modeliais.

Respondentai nurodė tokias 3 pagrindines BIM įdiegimo ir taikymo kliūtis: klientų / užsakovų poreikio stoka, BIM technologijų kaina ir nepakankama įmonės patirtis. Pagrindiniai 3 privalumai, kuriuos rinkosi respondentai: BIM pagerina vizualizaciją, palengvina statybos dokumentų valdymą, pagreitina projekto parengimą ir vykdymą.

Papildytosios arba virtualiosios realybės įrenginius biure yra naudoję 36,36% apklaustųjų, o statybvietėje – 18,18%. Mobiliąsias debesies programas naudoja daugiau nei 50% apklaustųjų ir tai reiškia, kad statybos įmonėse bendradarbiavimas debesyse yra pakankamai populiarus ir respondentų įvardijamas, kaip viena naudingiausių BIM technologijų įmonėje kartu su papildytosios ir virtualiosios realybės įrenginiais bei dronais.

LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

„All3DP“. (2020a). *All 11 types of 3D printing technology that 3D printers use today simply explained. Learn more about FDM, SLA, MSLA, DLP, SLS, DMLS, SLM, EBM, Material Jetting, DOD, and Binder Jetting.* [žiūrėta 2020-05-09]. Prieiga per internetą: https://all3dp.com/1/types-of-3d-printers-3d-printing-technology/;

Amanda. (2018). *Virtual Retinal Display (VRD) Market trends to look out in 2019*. [žiūrėta 2020-04-04]. Prieiga per internetą: https://probusinessbulletin.com/2018/12/22/%EF%BB%BFvirtual-retinal-display-vrd-market-trends-to-look-out-in-2019/;

Anderson, A. (2018). *Top 10 Best Head Up Displays for Cars.* [žiūrėta 2020-04-04]. Prieiga per internetą: https://www.autoguide.com/top-10-best-head-up-displays-for-cars;

Angus, W; Stocking, L. S. (2017). *VR Transforms Doctors, Nurses, and Staff Into Virtual Construction Allies.* [žiūrėta 2020-04-30]. Prieiga per internetą: https://www.autodesk.com/redshift/vr-construction/;

„Apple App Store“. (2020). *Morpholio Trace - Sketch CAD.* [žiūrėta 2020-04-11]. Prieiga per internetą: https://apps.apple.com/us/app/morpholio-trace/id547274918#?platform=iphone;

„archdaily“. (2019). *World's Largest 3D-Printed Concrete Pedestrian Bridge Completed in China*. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: https://www.archdaily.com/909534/worlds-largest-3d-printed-concrete-pedestrian-bridge-completed-in-china;

„Artec3D“. (2020). *Artec 3D scanners*. [žiūrėta 2020-05-02]. Prieiga per internetą: https://www.artec3d.com/prices#artec-software;

„Autodesk BIM 360“. (2020). *Explore BIM 360*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://www.autodesk.com/bim-360/explore/;

BIMForum. (2017). *Level of development specification guide*. [žiūrėta 2019-11-08]. Prieiga per internetą: https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2017_reprint.pdf;

BIMForum. (2019). *Level of development specification guide.* [žiūrėta 2019-11-08]. Prieiga per internetą: https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf;

British Standards Institution. (2020). [žiūrėta 2020-02-08]. Prieiga per internetą: https://shop.bsigroup.com/Browse-by-Sector/Building--Construction/BIM-/;

Burger, R. (2019). *6 Ways Drones Are Affecting the Construction Industry.* [žiūrėta 2020-05-03]. Prieiga per internetą: https://www.thebalancesmb.com/drones-affecting-construction-industry-845293;

Chi, H. L., Wang, X., & Jiao, Y. (2015). BIM-enabled structural design: impacts and future developments in structural modelling, analysis and optimisation processes. *Archives of computational methods in engineering*, 22(1), 135-151.;

Chien, K. F., Wu, Z. H., & Huang, S. C. (2014). Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: *Empirical study. Automation in Construction*, 45, 1-15.;

Chinn, S. (2019). „*7 Uses in 2020 for Augmented Reality in Construction*“. [žiūrėta 2020-04-25]. Prieiga per internetą: https://esub.com/7-uses-in-2020-for-augmented-reality-in-construction/;

CRC Construction Innovation. (2007). Adopting BIM for Facilities Management: *Solutions for Managing the Sydney Opera House, Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia.* [žiūrėta 2018-11-07]. Prieiga per internetą: http://www.construction-innovation.info/images/CRC_Dig_Model_Book_20070402_v2.pdf;

„DFAB House“. (2019). *DFAB House.* [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: https://dfabhouse.ch/dfab-house/;

Elyamany, A. H. (2016). Current practices of building information modelling in Egypt. *International Journal of Engineering Management and Economics*, 6(1), 59-71.;

„GeoNovus“. (2020a). *Fotogrametrija*. [žiūrėta 2020-05-03]. Prieiga per internetą: https://www.geonovus.lt/programine-iranga/fotogrametrija;

„GeoNovus“. (2020b). *Bepiločiai orlaiviai*. [žiūrėta 2020-05-03]. Prieiga per internetą: https://www.geonovus.lt/technine-iranga/bepilociai-orlaiviai;

Gillis, A., Rosencrance, L., Shea, S. & Wigmore, I. (2017). internet of things (IoT). *TechTarget*. [žiūrėta 2020-03-07]. Prieiga per internetą: https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT;

„ICON“. (2018). *New Story and ICON Unveil the First Permitted 3D-Printed Home*. [žiūrėta 2020-05-10]. Prieiga per internetą: https://www.iconbuild.com/updates/this-house-can-be-3d-printed-for-cheap;

Yoon, J. (2016). *Samsung Gets Patent for AR Contact Lenses*. [žiūrėta 2020-04-04]. Prieiga per internetą: http://seoulspace.com/2016/04/07/samsung-gets-patent-for-ar-contact-lenses/;

„IrisVR“. (2020a). *Unlock the full potential of Revit with true-to-scale BIM design review*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://irisvr.com/integrations/revit;

„IrisVR“. (2020b). *True-to-scale coordination meetings with anyone in the world*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://irisvr.com/integrations/navisworks;

„IrisVR“. (2020c). *Communicate complexity with a single click*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://irisvr.com/integrations/rhino;

„IrisVR“. (2020d). *Communicate design intent with speed and accuracy*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://irisvr.com/integrations/sketchup;

„IrisVR“. (2020e). *VR Meetings In One Click For 3D CAD & BIM Files*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://irisvr.com/;

ISO/ASTM 52900. (2015). *Additive manufacturing – General principles – Terminology*. [žiūrėta 2020-05-09]. Prieiga per internetą: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-1:v1:en;

Kamardeen, I. (2010, September). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In 26th annual ARCOM conference (Vol. 1, pp. 281-289). Leeds: *Association of Researchers in Construction Management*.;

Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*, 81, 286-299.;

Kovics, N. (2017). What is Augmented Reality (AR) and How does it work. [žiūrėta 2020-04-04]. Prieiga per internetą: https://thinkmobiles.com/blog/what-is-augmented-reality/;

„Leica Geosystems AG“. (2020). *Leica CloudWorx Digital Reality Plugins for CAD*. [žiūrėta 2020-05-02]. Prieiga per internetą: https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/software/leica-cloudworx;

Lietuvos standartas LST EN ISO 19650-1:2019. (2019). „Informacijos apie pastatus ir inžinerinius statinius rengimas ir skaitmeninimas, įskaitant statinio informacinį modeliavimą (BIM). Informacijos valdymas taikant statinio informacinį modeliavimą. 1 dalis. Sąvokos ir principai“. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos Departamentas;

Lietuvos standartas LST EN ISO 19650-2:2019. (2019). „Informacijos apie pastatus ir inžinerinius statinius rengimas ir skaitmeninimas, įskaitant statinio informacinį modeliavimą (BIM). Informacijos valdymas taikant statinio informacinį modeliavimą. 2 dalis. Turto sukūrimo etapas“. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos Departamentas;

Lietuvos standartas LST EN ISO 29481-1:2017. (2017). „Statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas. 1 dalis. Metodika ir formatas“. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos Departamentas;

Lietuvos standartas LST EN ISO 29481-2:2017. (2017). „Statinio informaciniai modeliai. Informacijos pateikimo vadovas. 2 dalis. Sąveikos struktūra“. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos Departamentas;

Lietuvos standartas LST ISO/TS 12911:2015. (2015). „Statinio informacinio modeliavimo nurodymų struktūra“. Vilnius: Lietuvos Standartizacijos Departamentas;

Lietuvos standartizacijos departamentas. (2020). [žiūrėta 2020-01-25]. Prieiga per internetą: https://eshop.lsd.lt/public#/product/list/quick?filter=%7B%22page%22:1,%22pageSize%22:50,%22searchText%22:%22statinio%20informacin%22,%22statusEnum%22:%22VALID%22,%22typeEnum%22:%22STANDARD%22,%22exactRef%22:%22statinio%20informacin%22,%22defaultAndOperator%22:false,%22orderBy%22:%22score%22,%22sortingOrder%22:%22desc%22,%22resourceStatusEnum%22:%22ACTIVE%22,%22privilegedAccess%22:false%7D;

„McGraw Hill Construction“. (2014). The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Conctractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information

Modeling. [žiūrėta 2018-11-17]. Prieiga per internetą: https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim_construction.pdf;

„MEPcontent“. (2020a). *ABB Switch Range Configurator*. [žiūrėta 2020-04-04]. Prieiga per internetą: https://store.mepcontent.com/en/product/details/5;

„MEPcontent“. (2020b). *Rexel Wholesaler Connector*. [žiūrėta 2020-04-04]. Prieiga per internetą: https://store.mepcontent.com/en/product/details/23;

Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., & Zikic, N. (2019). BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.2. *Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, August.* Prieiga per internetą: https://www.bim.psu.edu/;

„Microsoft“. (2020a). *HoloLens 2*. [žiūrėta 2020-04-25]. Prieiga per internetą: https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware;

„Microsoft“. (2020b). *Trimble Connect.* [žiūrėta 2020-04-26]. Prieiga per internetą: https://www.microsoft.com/en-us/p/trimble-connect/9nh8t4jnx7cp?=&activetab=pivot:overviewtab;

„Microsoft“. (2020c). *vGIS Utilities*. [žiūrėta 2020-04-27]. Prieiga per internetą: https://www.microsoft.com/en-us/p/vgis-utilities/9mzm81qnj523?&activetab=pivot:overviewtab#;

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

Monk, A. (2019). *4 Use Cases for 3D Laser Scanning in Construction*. [žiūrėta 2020-05-02]. Prieiga per internetą: https://www.e-arc.com/blog/4-use-cases-for-3d-laser-scanning-in-construction/;

Palladino, T. (2017). *New Training Simulation Concept Enables Safe Crane Operation Through HoloLens*. [žiūrėta 2020-04-27]. Prieiga per internetą: https://hololens.reality.news/news/new-training-simulation-concept-enables-safe-crane-operation-through-hololens-0176700/;

PAS 1192-2. (2013). Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. *The British Standards Institution: BSI Standards Limited*. 34-40.;

„Raymond Corporation“. (2020). *Raymond Virtual Reality Simulator*. [žiūrėta 2020-04-30]. Prieiga per internetą: https://www.raymondcorp.com/service/training/virtual-reality-simulator;

Shimonti, P. (2018). *10 upcoming trends in BIM – What more to except in 2018*. *Geospatial World.* [žiūrėta 2020-03-07]. Prieiga per internetą: https://www.geospatialworld.net/blogs/10-upcoming-trends-in-bim-what-more-to-expect-in-2018/;

Statybos techninis reglamentas STR 1.04.04:2017. (2017). „Statinio projektavimas, projekto ekspertizė“. *Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2016 m. lapkričio 7 d. įsakymu Nr. D1-738*. Vilnius: Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija;

Strohanova, C. (2019). *4 Ways to Use Virtual Reality in Construction Industry*. [žiūrėta 2020-04-30]. Prieiga per internetą: https://jasoren.com/virtual-reality-in-construction/;

„Trimble Connect“. (2020). *Capabilities*. [žiūrėta 2020-05-01]. Prieiga per internetą: https://connect.trimble.com/capabilities;

„Trimble“. (2020). *Mixed Reality*. [žiūrėta 2020-04-26]. Prieiga per internetą: https://mixedreality.trimble.com/;

UAB „TAEM Architektai“. (2013). *Statinio erdvinis modeliavimas (BIM)*. [žiūrėta 2018-11-05]. Prieiga per internetą: http://www.taemgroup.lt/naujiena/darnaus-judumo-valdymo-europos-miestuose-patirtis/;

„United BIM“. (2020). *What are BIM Dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D, and 7D BIM Explained*. [žiūrėta 2020-01-04]. Prieiga per internetą: https://www.united-bim.com/what-are-bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained-definition-benefits/;

„Vectorworks“. (2020). *5 points about point clouds*. [žiūrėta 2020-05-02]. Prieiga per internetą: https://student.myvectorworks.net/public_newsletters/2016/07/6/StudenPortal-eNL_Detail_content2.html?utm_campaign=newsletteredu&utm_source=image&utm_medium=portal&utm_content=2;

„Voxeljet“. (2019). *The advantages of 3D printing of formwork are proven once again*. [žiūrėta 2020-05-09]. Prieiga per internetą: https://www.voxeljet.com/branchen/case-study/smart-slab-schalungsbau-intelligente-betondecke-im-dfab-house/;

VšĮ „Skaitmeninė statyba“. (2017a). *BIM terminų žodyno santrauka. BIM dokumentai*. [žiūrėta 2018-11-05]. Prieiga per internetą: https://skaitmeninestatyba.lt/dokumentai/;

VšĮ „Skaitmeninė statyba“. (2017b). *Skaitmeninė statyba ir BIM*. [žiūrėta 2018-11-05]. Prieiga per internetą: https://skaitmeninestatyba.lt/bim/;

VšĮ „Skaitmeninė statyba“. (2020). *Skaitmeninė statyba ir BIM*. [žiūrėta 2020-01-18]. Prieiga per internetą: https://skaitmeninestatyba.lt/parduotuve/;

Wetzel, E. M., & Thabet, W. Y. (2015). The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes. *Automation in Construction*, 60, 12-24.;

Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Development of Intelligent Prefabs Using IoT Technology to Improve the Performance of Prefabricated Construction Projects. *Sensors*, 19(19), 4131.