



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GEOTECHNIKOS KATEDRA

Milda Juškaitytė

**PASTATO ENERGIJOS ANALIZĖS MODELIO KŪRIMO PROCESO
EKSPLOTAVIMO STADIJOJE ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE BUILDING ENERGY ANALYSIS MODEL
DEVELOPMENT PROCESS IN THE OPERATIONAL STAGE**

Baigiamasis magistro darbas

Statinio informacinio modeliavimo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX045

Statinio informacinio modeliavimo specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GEOTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Milda Juškaitytė

**PASTATO ENERGIJOS ANALIZĖS MODELIO KŪRIMO PROCESO
EKSPLOATAVIMO STADIJOJE ANALIZĖ**

**ANALYSIS OF THE BUILDING ENERGY ANALYSIS MODEL
DEVELOPMENT PROCESS IN THE OPERATIONAL STAGE**

Baigiamasis magistro darbas

Statinio informacinio modeliavimo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX045

Statinio informacinio modeliavimo specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. Rasa Džiugaitė – Tumėnienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

Lina Rutkienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GEOTECHNIKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(parašas)

(vardas, pavardė)

Statybos inžinerija

studijų kryptis

Statinio informacinis modeliavimas studijų programa,

2022 m.

mėn.

d.

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei)*Mildai Juškaitytei*.....
(vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *Pastato energijos analizės modelio kūrimo proceso eksploatavimo stadijoje analizė*

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2022 m. birželio mėn. 1 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Aprašyti tyrimų srities problematiką, aktualumą, tyrimo objektą, suformuluoti tikslą ir spręstinus uždavinius. Atlikti literatūros apžvalgą pagal pasirinktą darbo tematiką. Sukurti tiriamojo pastato energijos analizės modelį eksploatacijos stadijoje, taikant pasirinktą kompiuterizuotos turto valdymo ir priežiūros programinę įrangą. Gautus rezultatus ir teiginius pateikti iliustruota grafine medžiaga. Parengti darbo išvadas ir rekomendacijas.

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

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

Vadovas

.....*R.D. Tum*.....
(Parašas)

.....*dr. Rasa Džiugaitė-Tumėnienė*.....
(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....*Juškaitytė*.....
(Parašas)

.....*Milda Juškaitytė*.....
(Vardas, pavardė)

.....
(Data)

VilniusTech
Statybos fakultetas
Gelžbetoninių konstrukcijų ir geotechnikos katedra

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

Statybos inžinerija studijų programos baigiamasis magistro darbas

Pavadinimas **Pastato energijos analizės modelio kūrimo proceso eksploatavimo stadijoje analizė**

Autorius **Milda Juškaitytė**

Vadovas doc. dr. **Rasa Džiugaitė-Tumėnienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamas skaitmeninio dvynio aktualumas, panaudojimo galimybės, energinės analizės modelio kūrimas pastato eksploatavimo stadijoje. Atlikta literatūros šaltinių apžvalga apie skaitmeninio dvynio panaudojimo galimybes ir energinio efektyvumo vertinimą eksploatacijos laikotarpiu.

Baigiamajame darbe sukurtas pastato energijos analizės skaitmeninis dvynys pastato eksploatacijos stadijoje. Aprašomos naudotos programos ir problemos, su kuriomis buvo susidurta kuriant skaitmeninį dvynį. Aprašyta *Granlund Manager* programa, kaip joje kuriamas skaitmeninis dvynys, atliekama energijos analizė, pateikiami programos privalumai ir trūkumai bei autorės rekomendacijos.

Darbą sudaro 6 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, darbo metodika, tiriamoji dalis, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 59 p. teksto be priedų, 31 iliustr., 30 bibliografinių šaltinių.

Prasminiai žodžiai: AIM, BIM, energijos analizės modelis, *Granlund Manager* programa, skaitmeninis dvynys.

VilniusTech
Faculty of Civil Engineering
Department of Reinforced Concrete Structures and Geotechnics

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

Master Degree Studies **Building Information Modelling** study programme Master Graduation Thesis

Title **Analysis of the Building Energy Analysis Model Development Process in the Operational Stage**

Author **Milda Juškaitytė**

Academic supervisor **doc. dr. Rasa Džiugaitė-Tumėnienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In this work digital twin is analysed by relevant, possibility of use, development of an energy analysis model during the operational phase of a building. A review of the literature on the possibilities of using a digital twin and evaluating energy efficiency during operation has been carried out.

In this final work, a digital twin of energy analysis of a building during the operation stage of a building is created. Describes the programs used and the problems encountered in creating the digital twin. The *Granlund Manager* program is described how to create a digital twin, performs energy analysis, presents the advantages and disadvantages of the program, and provides author recommendations.

This work is composed of six parts: introduction, three chapters, conclusions and recommendations, list of literature.

Scope of work – 59 pages of text, 31 figure, 30 literature sources.

Keywords: AIM, BIM, Energy Analysis Model, Granlund Manager, Digital Twin.

Turinys

Įvadas	11
1. Literatūros šaltinių analizė.....	12
1.1. Skaitmeninio dvynio paradigma.....	12
1.1.1. Duomenų perdavimo galimybės	13
1.1.2. Duomenų mainai.....	15
1.1.3. Analizės modelis.....	16
1.1.4. Pilkosios dėžės veikimas	18
1.2. Energinis modelis	20
1.2.1. Energinio modelio kūrimas.....	20
1.2.2. Energijos taupymas pastatuose	22
1.3. Skaitmeninio dvynio ir energijos analizės modelio kūrimo praktika	23
1.4. Pirmo skyriaus išvados	24
2. Tiriamojo darbo metodika	25
2.1. Tiriamojo darbo uždaviniai	25
2.2. Tiriamojo darbo uždavinių įgyvendinimo žingsniai.....	25
2.3. Pirmasis etapas. Kompiuterizuotos turto valdymo ir priežiūros programinės įrangos pasirinkimas, įvesties duomenų aprašymas	25
2.4. Antrasis etapas. Pastato duomenų bazės sukūrimas	28
2.5. Trečiasis etapas. Turto informacijos modelio parengimas	28
2.6. Ketvirtasis etapas. Turto techninė priežiūra ir valdymas <i>Granlund Manager</i> platformoje	28
2.7. Tiriamojo darbo uždavinių rezultatas	29
2.8. Tiriamojo darbo palyginimas	29
3. Tyrimo objektas ir tiriamojo darbo rezultatai	31
3.1. Tiriamasis objektas.....	31
3.2. Tiriamajame darbe naudotos programos	32
3.3. <i>Granlund Manager</i> programinė įranga	33
3.4. <i>SimpleBim9</i> programinė įranga	34
3.5. <i>Autodesk Revit</i> programinė įranga.....	34
3.6. Modelio paruošimas įkėlimui į programą.....	35
3.7. Iškilusios problemos keliant modelį į <i>Granlund Manager</i>	39
3.8. Turto informacijos modelio sukūrimas <i>Granlund Manager</i> aplinkoje	41
3.9. <i>Granlund Manager</i> incidentų (avarijų, gedimų) valdymo modulio funkcionalumo įvertinimas.....	43
3.10. <i>Granlund Manager</i> nuolatinės pastato priežiūros modulio funkcionalumo įvertinimas.....	44

3.11. <i>Granlund Manager</i> energijos vartojimo stebėsenos modulio duomenų sąsaja su pastato dinaminio energinio modelio rezultatais	51
3.12. <i>Granlund Manager</i> funkcionalumo įvertinimas.....	53
Išvados	54
Literatūros ir kitų informacijos šaltinių sąrašas	57

Paveikslų sąrašas

1 pav. Fizika pagrįstų virtualių prototipų, skirtų modeliavimui realiuoju laiku, apžvalga (Pareira ir Ellman 2020)	14
2 pav. SCADA valdymo sistemos principinė schema (Tabatabaei et al., 2017).....	16
3 pav. „Grey-box“ modelio kūrimas (Mohammad et al., 2021).....	19
4 pav. Informacijos srautas (Mohammad et al., 2021)	20
5 pav. Energinis modelis (Abdelali et al., 2021).	21
6 pav. Esamas modelis (Abdelali et al., 2021).	21
7 pav. Eksperimentas su dviem identiškais namais keičiant jų izoliazijas (Hawas, Al-Habaibeh ir Medjdoub 2016)	22
8 pav. Pastato energinio modelio sudarymo eksplotacijos stadijoje schema	26
9 pav. Tiriamojo darbo palyginimo proceso schema.....	30
10 pav. Tiriamasis objektas	31
11 pav. Vaizdas modelyje.....	32
12 pav. Modelio vaizdas su sumodeliuotomis sienomis ir patalpomis.....	35
13 pav. Pastato pjūvis	36
14 pav. Atskirų aukštų saugojimas	37
15 pav. Patalpų konvertavimas į tūrius su <i>SpaceProxy.exe</i>	38
16 pav. -1 aukšto vaizdas <i>Granlund Manager</i> su paryškintomis techninėmis patalpomis	38
17 pav. Patikrinimo procesas.....	39
18 pav. Fasado elemento vaizdas iš viršaus	39
19 pav. Elemento vaizdas iš šono.....	40
20 pav. <i>SimpleBim9</i> programos vaizdas su besikartojančiomis erdvėmis.....	41
21 pav. Incidentų valdymui kuriamos užklausos.....	44
22 pav. Pastato priežiūros modulio funkcionalumo įverinimo lentelės.....	45
23 pav. Užduočių sąrašo vaizdas <i>Granlund Manager</i> programoje.	46
24 pav. Pasirinkta elektros energijos ataskaita	47
25 pav. Pastato valdymo sistemos automatinės apskaitos duomenų išvesties MS Excel lentelėje	48
26 pav. Priskirti skaitikliai prie tinkamų aukštų <i>Granlund Manager</i> programoje.	48
27 pav. Konkretaus objekto elektros energijos ataskaita.....	49
28 pav. Elektros ennergijos suvartojimo ataskaita	50
29 pav. Elektros energijos suvartojimo ataskaita	50

30 pav. Tiriomojo pastato: a) dinaminis energinis modelis DesignBuilder aplinkoje; b) skaitmeninis dvynys Granlund Manager aplinkoje	51
31 pav. 2020 metų laikotarpio tiriomojo pastato faktinių, istorinių ir tikslinių energijos sąnaudų palyginamosios analizės ataskaita Granlund Manager aplinkoje	52

Santrumpų sąrašas

AIM (angl. Asset Information Model) – turto informacijos modelis;

ANOVA (angl. Analysis of Variance) – dispersinė analizė;

ARRL (angl. American Radio Relay League) – Amerikos radijo estafečių lyga;

BEPS - pastatų energinio naudingumo modeliavimas;

BIM (angl. Building Information Model) – statinio informacinis modelis;

BMS (angl. Building Management Systems) – pastato valdymo sistema;

CAD (angl. computer-aided design) – kompiuterinis projektavimas;

Industry 4.0 (angl. Fourth Industrial Revolution) – Ketvirtoji pramonės revoliucija;

IoT (angl. Internet of Things) – daiktų internetas;

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos;

PI – programinė įranga;

PIM (angl. Project Information Model) – projekto informacijos modelis;

RVT – *Autodesk Revit* failų formatas;

SCADA (angl. Supervisory control and data acquisition) – priežiūros kontrolė ir duomenų rinkimas;

ŠVOK – šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas.

QR – greitojo atsakymo kodas

IVADAS

Šiomis dienomis yra labai aktualu darbų tęstinumas, pradedant galimybių studija, baigiant statinio priežiūra. Dažniausiai pasitaikanti problema – ar norimas modelio detalumo lygis yra tikrai reikalingas toks, koks yra reikalaujamas užsakovų. Ar pastato projekto informacijos modelyje suvesti išsamūs duomenys bus panaudoti statinio eksploatavimo stadijoje, ar statybos metu nebus nuokrypių bei ar modelis bus atnaujinamas, jei tam tikri elementai bus keičiami statybos proceso metu. Statinio gyvavimo ciklo sąvoka šiandien yra vis aktualesnė, nes statiniai yra nebe tik pastatomi ir eksploatuojami, bei ir prižiūrimi, skaičiuojamas pastatų energinis efektyvumas: elektros energijos sąnaudos, šilumos ir vandens poreikis.

Skaitmeninio dvynio aktualumą rodo ir tai, kad 2022 metų balandžio mėnesį vykusiame renginyje „Skaitmeninė statyba 2022“ buvo net keli pranešimai apie skaitmeninio dvynio kūrimą ir panaudojimą. Kol kas skaitmeninio dvynio tema dažniausiai susijusi su architektūros ir konstrukcijų dalimis, tačiau ateityje bus paliesta ir statinio inžinerinės sistemos, nes skaitmeninio dvynio panaudojimas dar nėra iki galo išplėstas.

Šio magistro baigiamojo darbo tikslas yra išanalizuoti skaitmeninio dvynio kūrimą energinei analizei turto valdymo stadijoje *Granlund Manager* programoje. Baigiamajame darbe, atliekamas tyrimas, remiantis nagrinėjamais šaltiniais, iškeliamos problemos, susijusios su skaitmeninio dvynio kūrimu, aprašomi galimi jų sprendiniai.

Tam, kad darbas būtų nuoseklus, išsikeliama uždaviniai.

- Atliekama literatūros apie skaitmeninio dvynio kūrimą analizė.
- Sukuriamas skaitmeninis dvynys statinio eksploatacijos stadijoje.
- Sukuriama galimybė atlikti energinę analizę ir optimizavimą skaitmeniniame dvynyje.
- Aprašomas vykusių duomenų mainų srautas tarp programų.
- Pateikiamos programos naudojimo rekomendacijos.

Darbo rezultatas – sukurtas energijos analizės skaitmeninis dvynys turto valdymo stadijoje ir reikalingos informacijos pateiktis.

Energijos analizės modelis, skaitmeninis dvynys, turto valdymo stadijoje yra reikalingas ir naudingas norint pasiekti efektyvias naudojimo sąnaudas. Svarbu tai, kad veikiantis skaitmeninis dvynys padeda optimizuoti pastato valdymo procesus, numato problemas ir greičiausią jų sprendimą. Korektiškai sukurtas skaitmeninis dvynys yra lengviau integruojamas į valdymo procesus. Apžvelgti šaltiniai parodė, kad skaitmeninius dvynius galima kurti įvairiais būdais, naudojant vis kitokias technologijas, programas, ir kad skaitmeninio dvynio naudojimas gali turėti skirtingus tikslus. Pavyzdžiui, vienoje programoje sukurtas skaitmeninis dvynys yra sunkiai panaudojamas kitoje. Ruošiant modelius skaitmeninio dvynio kūrimui, svarbu atsižvelgti į kriterijus, kurie yra svarbūs kaip bus naudojamas skaitmeninis dvynys.

Šiam tiriamajam darbui pasirinktas 10 metų senumo pastatas, kuriam reikia sukurti skaitmeninį dvynį, turto valdymo stadijoje. Turima medžiaga 2D brėžiniai, aiškinamasis raštas, statinio konstrukcijų IFC failas. Esamas pastatas yra administracinės paskirties, 5 aukštų, 9208,02 m² ploto. Jis yra Gedimino pr. 35 / J. Tumo Vaižganto g. 1, Vilniuje. Pastate yra įdiegta pastato valdymo sistema, kuri valdo apšvietimą, elektrinius langus bei mikroklimatą. Mikroklimato duomenys yra naudojami energinei analizei taikant skaitmeninį dvynį.

Atlikus literatūros šaltinių analizę, išanalizavus mokslinėje ir praktinėje veikloje taikomus ir naudojamus skaitmeninius dvynius padaryta apžvalga apie jų naudą ir patirtį statybos sektoriuje. Taip gaunama šio darbo praktinė nauda, nes, remiantis šaltiniuose aprašyta praktika, yra sukuriamas skaitmeninis dvynys (skaitmeninio dvynio sąvoka naudojama aprašyti jau esamą modelį, įkeliamą į programą, kur jis bus panaudotas vienai ar kitai analizei atlikti), kuris galimas naudoti esamo pastato energinei analizei atlikti.

1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ ANALIZĖ

Šiame darbo skyriuje apžvelgiami literatūros šaltiniai apie skaitmeninio dvynio sampratą, kūrimą ir naudojimą.

1.1. Skaitmeninio dvynio paradigma

Skaitmeninis dvynys yra vis dar gana nauja sąvoka, kuri atsirado tam, kad būtų pasiekti efektyvesni rezultatai statybos sektoriuje. Skaitmeninis dvynys galimas kurti techninio projekto metu, darbo projekto metu ar statinio eksploatavimo stadijos metu, kai norima pastatą padaryti skaitmeninį. Visa tai daroma tam, kad būtų galima apskaičiuoti piniginius kaštus, pavyzdžiui, eksploatavimo stadijos metu sukurtas skaitmeninis dvynys, kuris renka ir kaupia duomenis apie esamą situaciją pastate, padeda atlikti pastato energinę analizę. Labai svarbu, prieš kuriant skaitmeninį dvynį, numatyti jo paskirtį.

„Pramonės energijos taupymo duomenimis pagrįsti modeliai labai priklauso nuo jutiklių duomenų, eksperimentinių duomenų ir žiniomis pagrįstų duomenų.“ (Teng et al., 2021). Tokia mintis parašyta Tengo darbe apie *Industry 4.0*, kai esame ant perversmo ribos ir skaitmeninių dvynių platesnio naudojimo slenksčio. Skaitmeninių dvynių panaudojimas taps vis dažnesnis, teigia Tengo ir kt., nes modeliavimo technikos nebebus tiek plečiamos, o pagrindinis dėmesys bus skiriamas spręsti komunikacijos ir duomenų infrastruktūros problemas (Teng et al., 2021).

Iki *Industry 4.0* pasiekimo, skaitmeninio dvynio panaudojimas tam tikru metu buvo kitoks nei yra dabar. Kaip rašo Wang su kolegomis, 2002 metais panašią koncepciją į skaitmeninio dvynio pasiūlė Grievesas. 2010 metais skaitmeninio dvynio naudojimas buvo pritaikytas Nacionalinėje aeronautikos ir kosminės erdvės tyrimo agentūroje. 2011 metais buvo pritaikytas ARRL. 2012 metais skaitmeninį dvynį

pradėjo plačiau naudoti Nacionalinė aeronautikos ir kosminės erdvės tyrimo agentūra ir JAV oro pajėgos. 2014 metais buvo paskelbtas dokumentas apie skaitmeninį dvynį ir buvo pristatytas 3D modelis Grieveso. 2016 metais skaitmeninis dvynys buvo įtrauktas į *Industry 4.0*. 2018 metais buvo pasiūlytas 5D skaitmeninio dvynio modelis BeiHang universitete. 2021 metais tarptautinė standartų organizacija aprašė skaitmenį dvynį standarte ISO23247 (Wang, Zhang, Lin, Feng ir Zhang, 2022)

Skaitmeninio dvynio paskirtis – įvertinti pastato nusidėvėjimą, pastato inžinerinių sistemų darbą ir nusidėvėjimą, techninės priežiūros poreikį, optimizuoti darbuotojų laiką, prižiūrint įrenginius, surinkti detalią informaciją apie įrenginius, ją skaitmenizuoti, bei atlikti įrenginių griežtą inventorizaciją, taip pat atsiranda galimybė pastato sistemų darbą stebėti nuotoliniu būdu.

Išskiriamos skaitmeninio dvynio naudos prietaisams, prietaisai stebimi realiu laiku, matoma jų darbo efektyvumas, galima valdyti per nuotolį atskiras prietaisų sistemas, jų komponentus, įvertinant situaciją esamu laiku, duomenis galima stebėti ir kaupti, sudaryti scenarijus, planuoti darbus personalui ir techninei priežiūrai.

Reikia paminėti ir naudas teikiamas skaitmeninio dvynio gamybos procesams: nuolat yra stebimos žaliavos ir energinis efektyvumas, kaip kinta esant atitinkamiems procesams, taip pat galima įvertinti nuostolius ir juos mažinti, pagal esamą poreikį, skaičiuojamas ir darbuotojų poreikis; turint duomenis apie įrenginius galima detaliai aprašyti procesus ir atlikti jų inventorizavimą, pereinant nuo mechaninio tikrinimo prie skaitmeninio, skaičiuojama jog procesų našumo didinimas gali pasiekti iki 40% didesnį įrenginio efektyvumą (energyadvice.lt).

Norint pasiekti minėtas naudas, reikia sukurti skaitmenį dvynį ir padaryti jį veikiantį. Kad skaitmeninis dvynys funkcionuotų reikalinga sąsaja su SCADA sistema. Tai yra reikalinga, kad būtų galima atlikti automatinę duomenų analizę, be žmogaus įsikišimo, realiu laiku. Kad nebūtų kas nors praleista kuriant skaitmeninį dvynį rekomenduojama naudotis standartais. Vienas iš galimų standartų yra LEAN.

Norint sukurti gerai veikiantį skaitmeninį dvynį reikia nepamiršti kas yra BIM ir kaip gali būti naudojama informacija. Kaip teigia Vaičiulytė, *BIM gali būti suvokiamas kaip metodika ir kaip technologija*. Viskas priklauso nuo norimo pasiekti tikslo. BIM sudaro vizualiai patogūs vaizdai, kuriuos galime pasukti, pamatuoti, padidinti, taip pat sudaro parametriniai duomenys bei gausa objekto duomenų (Vaičiulytė, 2020)

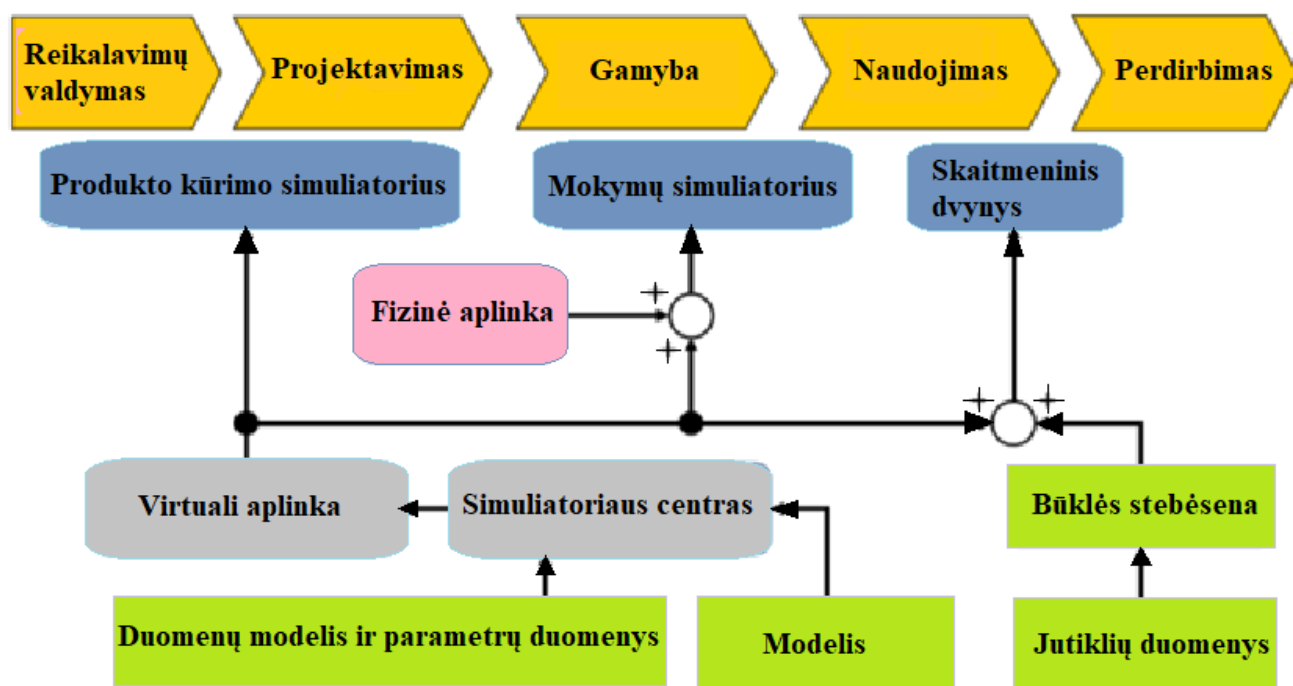
1.1.1. Duomenų perdavimo galimybės

Vykstant *Industry 4.0* revoliucijai, formuojasi skaitmeninė ekosistema, kur vykstant informacijos ir komunikacijos plėtrai technologijose žmogus pradeda simuliuoti skaitmeninėje erdvėje gyvenimą, savo straipsnyje teigia Bakhtadze su kolegomis. Autoriai aprašo skaitmeninę ekosistemą, kurioje turime paskirstytą socialinę ir techninę sistemą su pritaikymo, savarankiškumo bei tvarumo funkcijomis, kurios

veikia konkurencingoje aplinkoje, bendradarbiaudamos ir darydamos žinių mainus, evoliucinės sistemos raidoje (Bakhtadze, Pavlov, Pyatetsky ir Suleykin, 2019)

Toliau vykstant *Industry 4.0* revoliucijai yra svarbus ir pastatų prižiūrėjimas, pastatų ūkio valdymas. Tam nuolat programos tobulėja, skiriama vis daugiau dėmesio nustatyti reikalingą informaciją, kuri bus matoma BIM modelyje galutinėje stadijoje, pastato valdymo etape, – teigia Matarnehas ir kt. Autoriai išskiria, kad daugiausia dėmesio reikės informacijai perduoti arba suteikti modeliui ŠVOK dalies, elektros ir santechnikos informaciją (Matarneh et al., 2019).

Norint sukurti skaitmeninį dvynį, reikia ne tik turėti aiškų išsikeltą tikslą, tačiau ir suprasti procesus, reikalingų duomenų perdavimo srautus, sąsajas tarp programų. Pareira ir Ellmana straipsnyje pateikia skaitmeninio dvynio kūrimo schema (žr. 1 pav.). Viskas prasideda nuo inžinerinio modelio CAD aplinkoje, toliau į modelį yra įvedami duomenys ir tokį modelį galima pamatyti virtualioje realybėje, kur modelį galima įvertinti vizualiai ir funkcionaliai. Kaip autorės nurodo savo schemeje, po šio etapo seka produktų kūrimo simulatorius, čia vis dar projektavimo stadijoje, mokymų simulatorius, kuris yra jau gamybos stadijoje. Mokymų simulatoriuje turi būti įvertinta ir reali aplinka, kur bus projektuojamas elementas. Galutinis etapas yra skaitmeninis dvynys, jis yra pasiekiamas po pirmų dviejų simuliacijų ir importavus esamos būklės jutiklių duomenis.



1 pav. Fizika pagrįstų virtualių prototipų, skirtų modeliavimui realiuoju laiku, apžvalga

(Pareira ir Ellman 2020)

Anot autorių CAD modelio sukūrimas ir panaudojimas prototipe, fiziniame modelyje, galimas. Atliktas tyrimas parodė, jog galima sukurti sistemą, naudojamą fizikos pagrindu. Tam sukurti reikalingi

skirtingi gaminio gyvavimo ciklo etapai, norint sukurti virtualius prototipus. Tai leidžia panaudoti produktą kūrimo simulatoriuje ir toliau naudoti kaip skaitmeninį dvynį. Šie rezultatai lemia pagrindinį vaidmenį gyvavimo cikle ir produkto efektyvumo analizėje ir suteikia grįžtamąjį ryšį tolesniam produktų kūrimui (Pareira ir Ellman, 2020).

1.1.2. Duomenų mainai

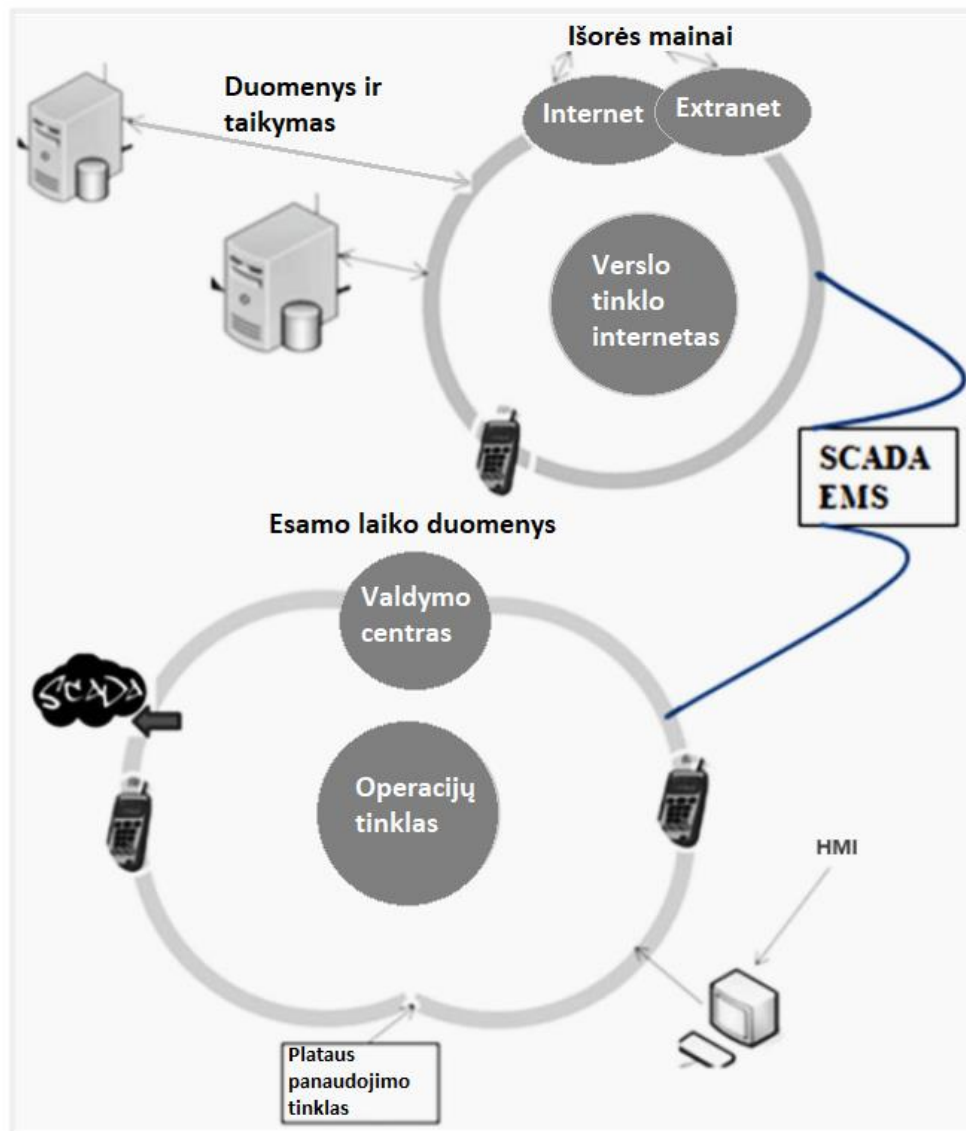
Duomenų nuskaitymas ir kaupimas yra labai svarbus etapas norint atlikti teisingą esamos situacijos analizę. Kaip teigia Tabatabaei su kolegomis SCADA programos turi du lygius: pirmasis yra kliento lygis, kuriame dalyvauja žmogus ir mašina, antrasis – duomenų serverio lygis, kuris yra atsakingas už visą procesą. Kad veiktų sistema, reikia gauti tam tikrus signalus iš atitinkamų jutiklių ir keitiklių, kurie būtų iš skirtingų įrenginių, prieš tai kol SCADA sistema juos išanalizuos ir apdoro. Tokie duomenys gali būti naudojami priežiūrai nuotolinių procesų (Tabatabaei et al., 2017).

SCADA sistemos gali būti ir labai paprastos, ir labai sudėtingos. Tai priklauso nuo statinio sistemų, sistemų sudėtingumo bei apdorojamo duomenų kiekio. Kaip teigia Longas su kolegomis duomenų mainų formatų yra daug ir įvairių, vieni formatai yra orientuoti į konkrečią PĮ kur mainai vyksta tarp sistemų, sistemos ir vartotojų arba tarp vartotojų. Tokie duomenys kaupiami sekti kaip įgyvendinama energijos taupymas, ruošiamasi pastato auditui, lyginamajai analizei ar pastato energinei analizei (Long, Fleming, CaraDonna ir Mosiman, 2021)

Principinė SCADA valdymo sistema pavaizduota 2 paveiksle. Turimas įrenginys siunčia signalą į tinklą, kur yra apsieikiama informacija į veikimo tinklą, kur informacija yra apdorojama ir priimamas sprendimas, kuris vėliau grįžta į įrenginį (Tabatabaei et al., 2017).

Sistemos diegimui supaprastinti ir saugumui palaikyti yra sukurtas protokolas, kuris atlieka šias funkcijas: yra atviras su esamais duomenimis, užtenka kelių dienų, kad būtų įgyvendintas, lengvai veikia su bitais ir baitais, todėl neturi griežtų reikalavimų įdiegimui. Šis protokolas siūlomas siekiant sumažinti kibernetinių išpuolių riziką, padidinant interneto ryšio saugumą.

SCADA sistemos naudojamos nuskaityti nuotoliniu būdu duomenis ir matyti juos esamuoju laiku. Serveriai dažnai būna dvigubi, jei sugestų, kad galėtų užtikrinti stebėjimą ir kontrolę.



2 pav. SCADA valdymo sistemos principinė schema (Tabatabaei et al., 2017)

1.1.3. Analizės modelis

Analizės modelis yra naudojamas norint pasiekti geresnius rezultatus jau esamo pastato sistemoms. Norint pasiekti ekonomiškus ir efektyvius valdymo tikslus reikia įdėti nemažai darbo į skaitmeninį analizės modelį. Viskas priklauso nuo esamos situacijos, turimų duomenų, sistemų paprastumo ar sudėtingumo ir duomenų kaupimo laiko.

Mohammadas su bendraautoriais teigia, kad pastatuose dažnai naudojamos sudėtingos sujungtos sistemos, kurios priklauso nuo kelių dinaminių veiksnių, pavyzdžiui, oro sąlygų ir kaip ilgai sistemos dirba. Norint optimizuoti pastatų sistemą, gali reikėti suderinti prieštaringus tikslus, pagrįstus energijos vartojimo efektyvumu ir bendru efektyvumu. Čia Mohammadas ir kt. kalba apie poreikį nusistatyti tikslus prieš kuriant skaitmeninį analizės modelį. Toliau autorius tęsia: pastatų energinio naudingumo modeliavimo (toliau BEPS) įrankiai yra tinkama platforma atlikti našumų pagrįstą analizę ir optimizavimą, atsižvelgiant

į sudėtingą modelio tarpusavio priklausomybę, vidinius ir išorinius įnašus bei susijusius veiklos tikslus. BEPS įrankiai buvo plačiai naudojami įvairiais pastato gyvavimo ciklo etapais, pradedant projektavimu ir baigiant eksploatacijos etapais (Mohammad et al., 2021).

Dažniausiai, jei dirbama vieno žmogaus, kuris turi aiškų tikslą, viename etape yra naudojama viena programinė įranga. Tačiau projektavimo patirtis rodo, kad skirtingų disciplinų atstovai dirba skirtingais įrankiais: architektai dažniausiai naudoja *Graphisoft Archicad* PĮ, inžinerinių sistemų projektuotojai – *Autodesk Revit* PĮ, o konstruktoriai – *Bentley OpenBuilding Designer* PĮ, energetinis pastato naudingumas skaičiuojamas *NRGpro* programa. Visus projekto dalyvius sieja bendras tikslas – įgyvendintas, teisingas projektas, tačiau ne ką mažesnis tikslas – duomenų mainai tarp disciplinų. Patikimiausias būdas keisti informaciją tarp skirtingos PĮ yra IFC failai, kuriuose galima pasirinkti kokią informaciją norima perduoti, kas tuo metu yra aktualiausia, todėl ir po pastatyto statinio geriausia imti arba pirminį šaltinį ir naudoti toje pačioje PĮ, arba IFC failą, kurį galima integruoti į kitas programas, kitose statinio gyvavimo ciklo etapuose.

Mohammadas su bendraautoriais teigia: nors šiose priemonėse atsižvelgiama į daugybę sudėtingų tarpusavio priklausomybių, sugeneruoti modeliai dažnai nėra keičiamo dydžio ir neapibendrinami. Be to, modelių kūrimas naudojant BEPS įrankius reikalauja daug išteklių; modeliams reikalingi geometriniai ir ne geometriniai pastato duomenys. Tai būtų nepraktiška, kai kalbama apie atskirus pastatus dideliu mastu. Be to, sukurti modeliai būtų brangūs skaičiavimams, nes kiekvienas atskiras pastatas skiriasi pagal struktūrinius parametrus ir eksploatacijos pobūdį (Mohammad et al., 2021).

Praplečiant autorių mintį, svarbu nusistatyti, dėl ko bus kuriamas modelis ir atlikti analizę, dar prieš modelio kūrimą, kokie duomenys bus svarbūs. Taip bus pasirenkama konkrečiai kas yra reikalinga siekiant sutaupyti laiko ir lėšų. Svarbu tai, kad darbo projekto IFC modelis atitiktų esamą situaciją, ne tik elementų vietomis ir geometrijos matmenimis, bet ir medžiagiškumu bei galingumais ir našumais.

Atlikus analizę ir nusistačius tikslus pradedamas modelio kūrimas pasirinkus tam tikras metodikas. Metodikos pasirinkimas priklauso nuo norimo rezultato ir naudojamos PĮ. Kaip Mohammadas ir kt. dėsto savo straipsnyje, nepaprastai svarbu nusistatyti ir plėtoti modeliavimo metodus, kurie yra pakeičiami ir lankstūs modeliui. Toks požiūris palengvintų energijos vartojimo efektyvumo individualiems ar miesto pastatams. Be to, modeliavimo metodas turėtų suteikti galimybių įvertinti energijos optimizavimo scenarijus naudojant valdymo ar išmaniojo tinklo programas. Modeliavimas yra toks, kuris atspindi tikrąją sistemos pranašumų elgesį ir suteikia duomenims pagrįstą modeliavimą. Modelio modeliavimo metodų ir skaičiavimo aprašymo duomenimis pagrįsto modeliavimo metodų efektyvumas. Nors toks pastatų energijos modelis buvo plačiai taikomas, jų pritaikomumas dažnai būdavo specifinis konkrečioms programoms ir suinteresuotoms šalims. Be to, mastelis iš šių modelių riboja tinklo tvarką, apibrėžiantį sudėtingumą, įtrauktą į sugalvotą modelį (Mohammad et al., 2021).

Kuriant skaitmeninį analizės modelį reikia nepamiršti ir aplinkos, kur yra kokios komunikacijos, kur stovi kokie pastatai, ar jie gyvenamieji, ar sandėlių paskirties, jei sandėliai, kas juose saugoma. Gamtos

veiksny daro bene didžiausią įtaką, pradedant nuo galimų pamatų pasirinkimo iki saulės šviesos ar vėjo stiprumo. Gamta daro įtaką pastato energiniam efektyvumui bei naudingumui, todėl darant šį modelį svarbu atkreipti dėmesį ir įsivertinti nematomus dalykus.

Mohammadas su bendraautoriais teigia, jog reikšmingas modelio bruožas yra lankstumas, susijęs su modeliavimo metodo pasirinkimu, kuris yra susijęs su modelio gebėjimu keisti dizainą dedant kuo mažiau pastangų, pvz., integruojant pilkųjų dėžių tinklus į centralizuotą šildymą. Ši funkcija leidžia pristatyti energijos modeliui pirminio modelio sutrikimus, tam kad būtų galima nustatyti, kaip energijai ir sąnaudų efektyvumui turės įtakos įvairios energijos vartojimo priemonės. Atliktuose ankstesniuose tyrimuose buvo sukurti keli įrankių rinkiniai, skirti atlikti optimizavimą, sityvumo analizę ir neapibrėžtumo analizę siekiant įvertinti optimalų energijos vartojimo efektyvumo sprendimais. Šiems įrankių rinkiniams dažnai reikia daugybės modeliavimų ir didžiulių skaičiavimo išteklių. Komandai atliekant šiuos tyrimus paprastai tenka dirbti ilgiau nei trunka darbo diena, kai yra siekiama apibrėžti, potencialų bendrą modelį, kuris yra vis dar lankstus dizaino variantams (Mohammad et al., 2021).

Atliekant analizę yra analizuojamos kelios galimos alternatyvos, siekiant pasirinkti geriausią variantą ir jį suprojektuoti, sumodeliuoti.

Pavyzdžiui, sumažinto užsakymo energijos modeliai suteikia daugiau lankstumo (modeliuoti) optimizuojant pastato eksploataciją, kai įgyvendinama skirtingi projektavimo scenarijai – rašo Bourdeau ir kt., kurie įvertino duomenimis pagrįstų metodų lankstumą modeliuojant ir prognozuojant pastato energijos suvartojimą (Bourdeau et al., 2019).

Remiantis Mohammado ir jo kolegų aprašyta praktika reikia paminėti, kad atliekant analizę esamuose pastatuose, nesvarbu, kokio dydžio jie būtų reikia stebėti ir vartotojus, jų elgseną esant vienokioms ar kitokioms sąlygoms (Mohammad et al., 2021).

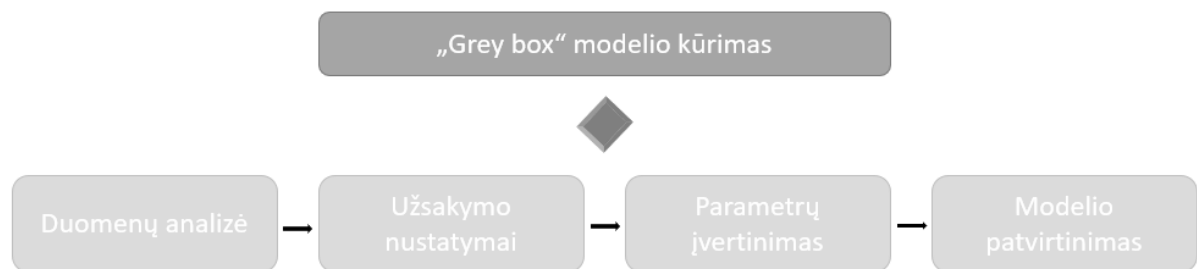
1.1.4. Pilkosios dėžės veikimas

Toliau remiantis Mohammado ir jo kolegų (Mohammad et al., 2021) – aprašyta praktika, pilkosios dėžės (angl. Grey-box) veikimas skirstomas į keturias dalis, pavaizduotas 3 paveiksle. Duomenų analizė apima pirminius statistinius duomenis iš modelio apie pastato šilumos poreikį. Šiame žingsnyje yra sugeneruojamas šilumos poreikis. Kitas žingsnis užsakymo nustatymai, kai žinios yra praturtinamos papildomais duomenimis apie esančias sistemas iš sukaupytų duomenų. Čia galima teigti pasiūlymus. Tęsiant autoriaus mintį apie užsakymo identifikavimą, yra svarbu paminėti, kad čia atliekama pagrindinė pilkųjų dėžių funkcija. Naudojamosi anksčiau sugalvota autorių metodika apie šiluminių erdvių pasiskirstymą pastato viduje. Čia kiekviena terminė zona pasižymi panašiomis savybėmis ir gali būti pavaizduota tinkle. Užsakymo identifikavimo procedūroje naudojama duomenų analizės procedūros ANOVA analizės rezultatai naudojant laikantis taisyklių rinkinio. Pirmiausia yra surenkama analizės

procedūros ANOVA rezultatai, patikrinama ar gerai yra pristatoma pastato dinamika. Antras žingsnis: normalizuojamas šilumos poreikis atsižvelgiant į grindų plotą, išorės sienas bei vidinį interjerą. Trečias žingsnis: nustatomas pasikartojantis šilumos poreikis tam tikromis valandomis, priskiriama atskiroms terminėms zonoms.

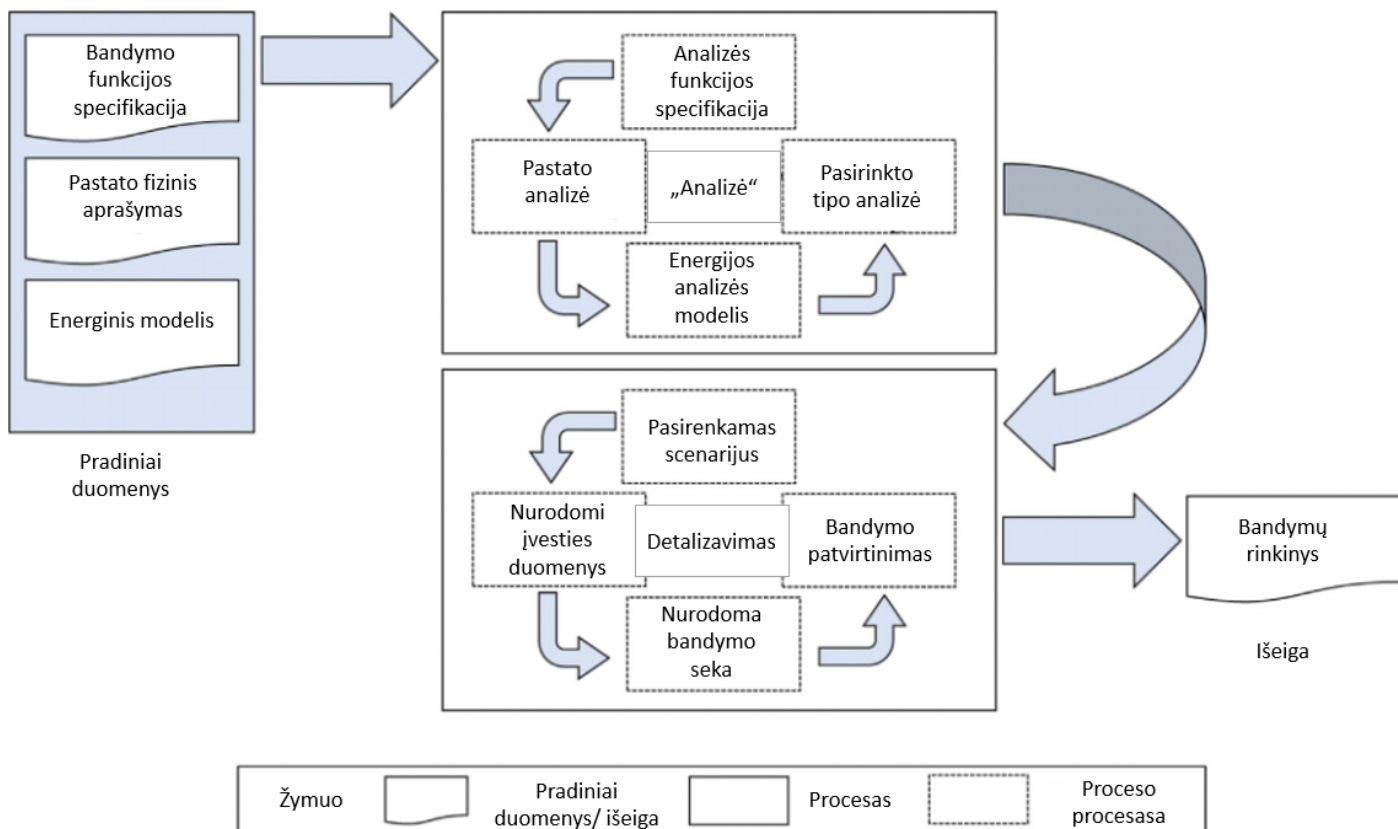
Aprašant parametrų įvertinimą kitaip dar modelio kalibravimą atliekama procedūra apimanti tinklo parametrų, būtent šiluminės varžos ir talpos bei su ja susijusia laiko konstanta. Naudojant nepertraukiamą laiko dinamikos formulavimą, diskretiškus laiko matavimus, įrankis įveikia tarpą tarp jų fizinio ir statistinio būvio. Taip galima sugeneruoti du būsenos ir modeliavimo modelius bei jų pakopų prognozavimus, atsižvelgiant į įvertintas pastato būsenas.

Autoriai paskutiniu etapu įvardina modelio patvirtinimą. Šiam etapui svarbu tinkama programa modeliui. Čia yra papildomai tikrinama ar modelis atitinka išsikeltą prielaidą, pateikiama pagrįsti įvertinimai fiziniu požiūriu (Mohammad et al., 2021).



3 pav. „Grey-box“ modelio kūrimas (Mohammad et al., 2021)

Patvirtinus modelį, kitas žingsnis yra modelio funkcijų testavimas. Modelio funkcijų tikrinimo procedūra nustato būtina kiekvieno modelio ypatybes (mastelio, lankstumo suderinamumus), remiantis dviem svarbiausiais procesais – analizuoti ir nurodyti (4 pav.). Šie procesai yra nustatomi pagal funkcijų testavimo metodikas, kurios vėliau derinamos su visuotina metodologija, kad būtų galima nustatyti požymių vertinimo sistemą. Pirmiausiai aprašoma bendra funkcijų testavimo įgyvendinimo procedūra, kuri vėliau modifikuojama ir struktūrizuojama funkcija kiekvienam asmeniui. Analizuojami ir nurodomi procesai vykdomi pagal bendrą rinkinį bandomųjų atvejų, kurie yra kaip veiklos generavimo gairės. Gairės naudojamos atsižvelgti į galimus pastato modeliavimus (Mohammad et al., 2021).



4 pav. Informacijos srautas (Mohammad et al., 2021)

1.2. Energinis modelis

Siaurinant temą iki energinio modelio kūrimo ir naudos, baigiamajame darbe atliekama literatūros šaltinių analizė apie energinių kaštų suvartojimą ir efektyvinimą, aprašomi duomenų srautai tarp pastato jutiklių ir priežiūros sistemų.

1.2.1. Energinio modelio kūrimas

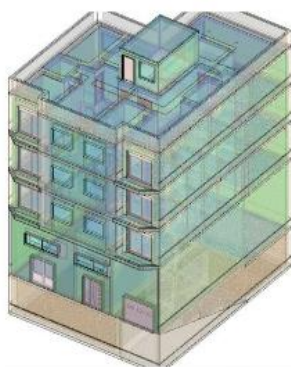
Kuriant skaitmeninį dvynį būtina išsikelti aiškius tikslus ir nustatyti priežastis, dėl ko jis yra kuriamas. Pasirinkti programas, kuriomis galima iškeltus tikslus pasiekti. Svarbu atlikti analizę turimų duomenų ir kaip tai sąveikaus tarp pasirinktų programų. XXI amžiuje esant dideliame pasirinkimui programų iškyla dilema, kokią ją pasirinkti. Taikant pažangias technologijas, šiandien, galima naudojantis tam tikra PI, susieti duomenų algoritmus ir gauti norimą rezultatą.

Remiantis Abdelalio ir kolegų įžvalgomis galima teigti, kad, kuriant skaitmeninį dvynį, perduodant jam algoritmiškai duomenis apie energijos sąnaudas, sukuriama skaitmeninis dvynys, kuris padeda įvertinti skirtingas energines pastato alternatyvas efektyviai naudoti išteklius (Abdelali et al., 2021).

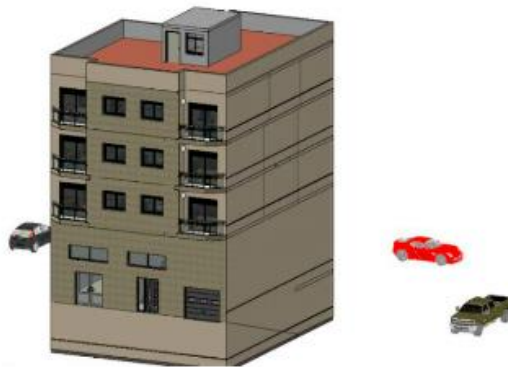
Straipsnyje aptariamos skaitmeninio dvynio ir energinio efektyvumo skaičiavimui naudojamos charakteristikos, kurios ir taip yra svarbios atliekant pirminius skaičiavimus, parenkant naudojamą įrangą pastate:

- šilumos perdavimo koeficientas;
- šiluminė varža;
- šilumos masė;
- sienų ir grindų plotas.

Taip pat papildant autorių įžvalgas svarbu paminėti, kad skaičiavimams daro įtaką naudojamos medžiagos tokios kaip plytelės, armatūra, betonas, šilumos ir garso izoliacijos storis. Susiduriama su problema, kad naudotojai/vartotojai, siekdami padidinti sau komfortą, žymiai padidina elektros suvartojimą pastate, dažniausiai tai daroma naudojant papildomus prietaisus, tokius kaip elektriniai radiatoriai, pastatomi oro kondicionieriai.



5 pav. Energinis modelis (Abdelali et al., 2021)



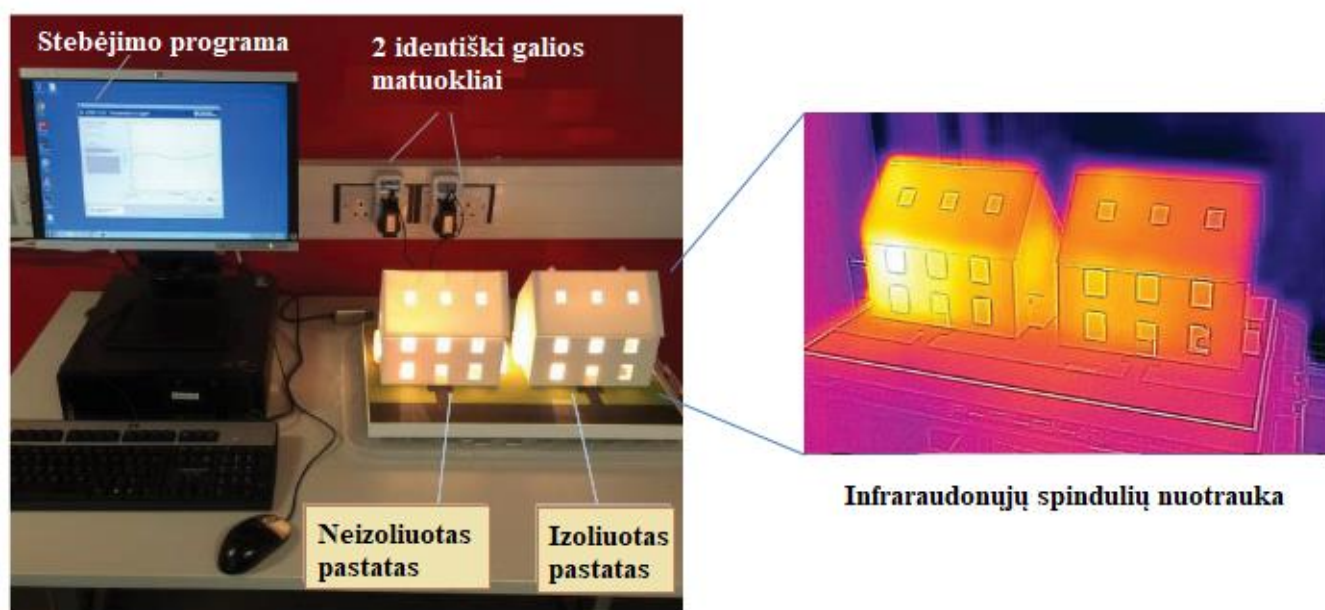
6 pav. Esamas modelis (Abdelali et al., 2021)

Autoriai vertina, kad šiluminė vertė labai priklauso nuo tokių elementarių veiksmų kaip durų pasirinkimas – medinės ar metalinės, langų pasirinkimas – plastikiniai ar mediniai, dideli ar mažesni, visa tai daro įtaką šilumos kiekiui pastate. Kuriant skaitmeninį dvynį padedantį analizuoti modelį, nurodoma sienos, durys, langai, grindys. Kai nurodomi šie elementai, modelis tampa tūrinis. Į tokį modelį galima suvesti duomenis, nurodyti patalpas, tas patalpas suskirstyti į zonas kur veikia šildymo, vėdinimo ir oro kondicionavimo (ŠVOK) sistemos (žr. 5 pav.) (Abdelali et al., 2021). Vizualiai galima palyginti kaip skiriasi esamas modelis (žr. 6 pav.) ir energinis, vadinamas tūrinis, modelis (žr. 4 pav.).

Minėtas straipsnis rėmėsi Maroko patirtimi, tačiau įvardinti skaičiavimams kriterijai yra aktualūs ir Lietuvai.

1.2.2. Energijos taupymas pastatuose

Šiuolaikinė visuomenė nori dirbti patogiai ir nuolat jausti komfortą. todėl stengiamasi naujus pastatus statyti atsižvelgiant į šį poreikį, o senus pastatus renovuoti ir restauruoti taip pat atsižvelgiant į šių dienų tendencijas. Tačiau norint įgyvendinti šį tikslą reikia nepamiršti taikyti tokias naujas technologijas, kurios neleistų pastatui atiduoti savo išteklių, tokių kaip žiemą – šiluma, o vasarą – atvėsintas oras. Šiai problemai Hawas su kolegomis siūlo mokomąją priemonę, kuri sujungia sluoksnius, keičiant izoliaciją, ją derinant su šildymu arba vėsinimu pastato viduje ir išorėje, taip randant optimaliausią variantą, pateikiamą 7 paveiksle (Hawas, Al-Habaibeh ir Medjdoub, 2016).



7 pav. Eksperimentas su dviem identiškais namais keičiant jų izoliazijas (Hawas, Al-Habaibeh ir Medjdoub, 2016)

Dėl greito miestų augimo ir didėjančio darbuotojų skaičiaus nauji pastatai turi būti jau pritaikyti didesniai žmonių skaičiui, o seni pertvarkomi taip, kad tame pačiame plote tilptų daugiau darbuotojų. Tam reikalingas energijos taupymas. Dėl to pradėta kurti IoT programa, kuri padeda kurti didesnę aplinkos komfortą mažesnėmis energijos sąnaudomis, – teigia Irmanas ir kt. (Irman, Iqbal ir Kim, 2022)

Kaip teigia Guillenas ir jo kolegos, kad eksploataavimo ir priežiūros etapas gali sudaryti iki 60 proc. visų išlaidų patirtų per pastato gyvavimo ciklą (Guillen et al., 2016). Tam reikalinga pastato priežiūra ir energinė analizė.

Neefektyvus energijos vartojimas nulemia papildomą gamtinių išteklių, naudingųjų iškasenų naudojimą. Optimizavus energijos sąnaudas, būtų galima to išvengti. Teisės aktai reglamentuoja kaip ir kokios medžiagos turi būti naudojamos. Pavyzdžiui STR1.04.04:2017 „Statinio projektavimas, projekto

ekspertizė” nurodo kokia tvarka, ir kokiais dokumentais reikia remtis, statybose. Apie vieną tokį dokumentą rašo Malinauskaitė su kolegomis. Šių autorių straipsnyje aprašoma Europos Sąjungos direktyva, kuri skiria didelį dėmesį mažinant išmetamųjų teršalų kieki, gerinant energetinį saugumą, didinant konkurencingumą ir kad energijos suvartojimas visiems taptų pigesnis. Autoriai taip pat aprašo svarbą energijos vartojimo efektyvumą pramonėje, remiantis nacionalinės energetikos ir klimato politika bei numatant nacionalines priemones (Malinauskaitė, et al., 2020).

Norint naudoti efektyviai išteklius modeliuojant pastatą, reikia atsižvelgti ne tik į pastato architektūrą, bet ir į darbo vietas, kaip jos bus išdėstytos. Nuo to priklauso darbo vietos apšvietimas, o nuo šviesos priklausys kiek bus reikalinga deginti lempą dienos metu, kai būtų galima to išvengti naudojant dienos šviesą sklindančią per langą. Kaip Sonta su kolegomis teigia, svarbu ne tik modeliuoti pastatą bet ir esamuose pastatuose, kuriuose jau yra įsikūrę darbuotojai, stebėti jų elgseną ir prie jų elgesio pritaikyti baldų išdėstymą bei pastato sistemas. (Sonta, Dougherty ir Jain 2021)

1.3. Skaitmeninio dvynio ir energijos analizės modelio kūrimo praktika

Kuriant skaitmeninį dvynį energijos analizės tikslu, verta panagrinėti esamus gerosios praktikos pavyzdžius. Vieną tokį aprašo Wei su kolegomis, kurie savo darbe teigia, kad daugeliu atžvilgių, skaitmeninio dvynio technologija gali padėti įgyvendinti ir sintezuoti žiedinės ekonomikos ir žiedinės integracijos koncepcijas, pramonės simbiozę ir pramonės ekologiją, pasiekti visišką teritorijos integraciją (Yu, Petros, Young, Klinac ir Walmsley, 2022). Tai labai svarbus aspektas, nes pastatai mieste yra sujungti inžineriškai miesto tinklai, tokie kaip vandentiekis, nuotekos, elektros tinklai ar šilumos ir kt. Skaičiuojant energinę analizę skaitmeniniame dvinyje atsižvelgiama į aplinką, į esančią aplink pramonę. Skaitmeniniame dvinyje yra skaičiuojama ne tik esama situacija ir kaip ją šiandien galima pakeisti, bet ir siūloma, ką galima keisti, kad per ateinančius metus būtų ištekliai naudojami efektyviai.

Nagrinėjant kitas praktikas galima teigti, kad skaitmeninis dvynys galimas plačiai panaudoti ne tik pastatuose, bet ir, pavyzdžiui, vėjo jėgainės. Solman ir jos kolegos teigia, kad remiantis jų gautais rezultatais skaitmeniniai dvyniai yra ribiniai objektai, kuriuos susieja virtualios ir fizinės būsenos dinaminėje greičio aplinkoje. Autoriai taip pat teigia, kad kiekvienas skaitmeninis dvynys yra individualus ir jis retai yra perkeliamas į kitą aplinką ar projektą. Savo tyrime jie nustatė, kad projektuojant galima naudoti skaitmeninius dvynius virtualiai reprezentuojant vėjo turbinų prototipus ir imituotų vėjo turbinų veikimą. Tokie skaitmeniniai dvyniai yra laikomi ne tikrovės dvyniais, o objektyviais prototipo dvyniais (Solman, Kirkegaard, Smits, Van Vliet ir Bush, 2022). Ši praktika parodo koks platus gali būti skaitmeninio dvynio panaudojimas, sudarant simuliaciją nesamo objekto, o dar tik numatomo pastatyti. Taip įvertinamos kelios galimos statinio alternatyvos.

Chiachio su kolegomis aprašo sistemą, kuri yra parodyta koncepcijos įrodyme, kai bandymui naudojama tik laboratorija, joje stebima kaip naudojant IoT pagrįstus jutiklius ir pavaras veikia jų sukurta struktūra. Autorių darbo rezultatai rodo, kad skaitmeninis dvynys gali reaguoti realiu laiku, prisitaikyti prie fizinio statinio. Taip pat testai rodo, kad skaitmeninis dvynys gali užtikrinti automatizuotą sprendinių priėmimą (Chiachio M., Megia, Chiachio J., Fernandez, Jalon 2022).

Nors skaitmeninio dvynio panaudojimo galimybės atrodo beribės, praktikoje esama situacija yra kiek kitokia. Dažniausiai susiduriama su duomenų srauto problemomis, programos neintegruoja kitų programų savųjų formatų, kai kurių programų duomenys yra tiesiog per seni, kad juos būtų galima nuskaityti ir integruoti. Anot Ahmado ir jo kolegų, sudėtingoms ateities elektrinėms bus reikalinga skaitmeninė dvynių architektūra, joje turės būti pasiektas didelis tikslumas, prieinamumas ir priežiūra kuo mažesnėmis sąnaudomis. Jų turimais duomenimis, skaitmeninių dvynių tyrimai yra riboti ir trūksta informacijos apie jų išsamumą ir tvirtumą (Sleiti, Kapat ir Vesely, 2022). Tokiems dideliems ir pavojingiems statiniams reikalingas tikslumas, konkretumas ir detalumas. Anot autorių didžiausias iššūkis, su kuriuo susiduria energetikos pramonė yra poreikis tobulinti lankstumą. Lankstumas atsispindi elektrinės eksploatacijoje bei skaitmeniniame dvinyje keičiant elektros sistemas ir sumažinant elektrinių ciklų poveikį. Autoriai taip pat siūlo, norint pagerinti skaitmeninio dvynio darbą, įtraukti integruotą dinamikos simuliaciją ir virtualią realybę (Sleiti, Kapat ir Vesely 2022, p. 3709).

Yra ne viena programa skirta kurti skaitmeninį dvynį, tačiau viena atitinka vienus išsikeltus tikslus, kita – kitus. Svarbiausia pasirinkti tą programą, su kuria bus patogiau dirbti, ar bus įmanoma sujungti kelias programas ir gauti iš jų duomenis. Kad viskas vyktų sklandžiai You su kolegomis siūlo daryti planavimą bent vienai dienai į priekį, tačiau planuoti ne akiai, bet remtis istorinėmis prognozavimo klaidomis ir kitos dienos prognozėmis. Norint tai pasiekti, skaitmeninis dvynys turi turėti sąveiką tarp virtualaus modelio ir fizinio pastato sistemų (You, Wang, Sun, Castro ir Jiang 2022).

1.4. Pirmo skyriaus išvados

Pirmoje skyriaus dalyje aprašytas modelio kūrimo procesas, svarbiausi etapai, kurie turi būti užfiksuoti ir įgyvendinti. Pradedant nuo to, dėl ko reikia naudoti skaitmenines technologijas iki jų naudojimo paaiškinimo. Naudojant skaitmenines technologijas yra sutaupoma žmoniškųjų išteklių jėga, taip pat, jei modelis kuriamas, vadovaujantis metodika, jame lieka mažiausia klaidų ir netikslumų, kas vėliau bus įvertinta statybos metu.

Antroje skyriaus dalyje aprašoma nauda ir skaitmeninio dvynio panaudojimas energinės analizės metu. Įvertinama, kas yra gerai, kas naujo ir kaip galima jį panaudoti.

Trečia dalis apima skaitmeninio dvynio panaudojimo praktiką energinės analizės modeliavime ir planavime.

2. TIRIAMOJO DARBO METODIKA

Šiame skyriuje pateikiami tiriamojo darbo uždaviniai ir tikslai bei modelio įkėlimo į *Granlund Manager* programą procesas.

2.1. Tiriamojo darbo uždaviniai

Remiantis anksčiau išanalizuotais šaltiniais, šiame skyriuje iškeliami tokie uždaviniai:

- Paruošti modelį įkėlimui.
- Įkelti į *Granlund Manager* programinę įrangą paruoštą modelį.
- Suvesti reikiamus duomenis į programą.
- Atlikti energinio efektyvumo analizę statinio eksploatavimo stadijoje *Granlund Manager* programa.

Įgyvendinus šiuos tikslus, padaryti apibendrinimą.

2.2. Tiriamojo darbo uždavinių įgyvendinimo žingsniai

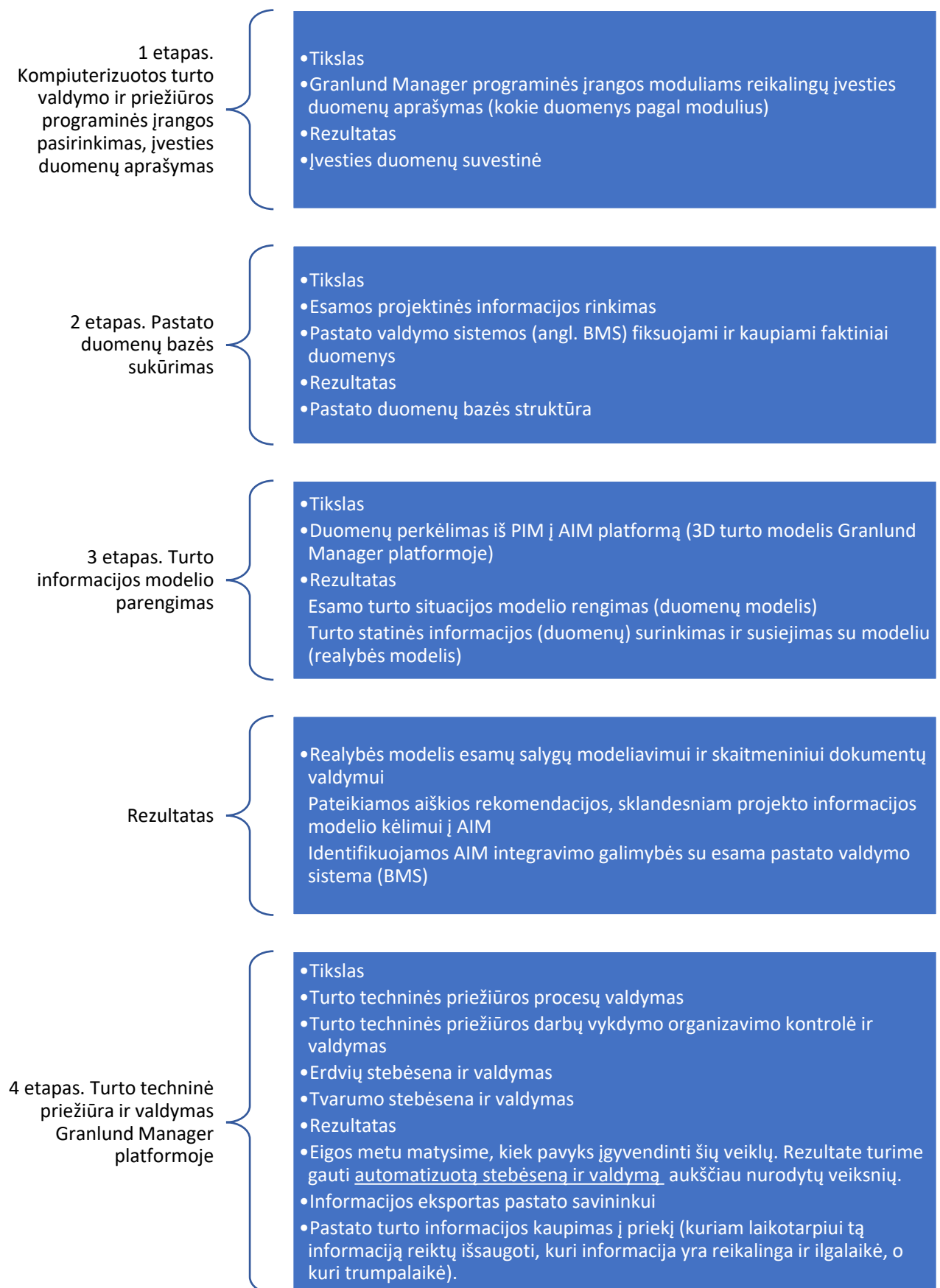
Tiriamasis darbas yra padalintas į keturis žingsnius (žr. 8 pav.), kurie išskaido darbą etapais ir padeda paruošti tiriamojo pastato energinį modelį eksploatacijos stadijoje.

2.3. Pirmasis etapas. Kompiuterizuotos turto valdymo ir priežiūros programinės įrangos pasirinkimas, įvesties duomenų aprašymas

Granlund Manager programinės įrangos moduliams reikalingų įvesties duomenų aprašymas. Programoje naudojamos serviso užklausos – incidentų valdymas. Kad būtų patogų, naudojami aptarnavimo planai ir užrašai, perduodami duomenys, taip vykdoma nuolatinė pastato priežiūra esamu laiku. Stebimas energijos suvartojimas ir panaudojimas, vykdoma energijos vartojimo stebėseną. Programoje stebimas esamas turtas yra dokumentuojamas, kaupiami dokumentai ir kita informacija. Vykdomi procesai ir informacija yra pažymimi dokumentuose. Pirmame etape pasirinkta įranga ne tik kaupia informaciją kaip dokumentus, bet ir palaiko BIM modelį, atlieka sistemų monitoringą, našumo optimizavimą. PĮ kaip papildomą paslaugos prieinamumą turi mobiliąją programą.

Granlund Manager programos apimami tokie moduliai:

- Serviso užklausos – incidentų valdymas.
- Aptarnavimo planai – nuolatinė pastato priežiūra.



8 pav. Pastato energinio modelio sudarymo eksploatacijos stadijoje schema

- Aptarnavimo užrašai – nuolatinė pastato priežiūra.
- Energija – energijos vartojimo stebėjimas.
- Turto informacija – dokumentai ir informacija.
- Dokumentai – dokumentai ir informacija.
- BIM modulis – dokumentai ir informacija.
- Našumo optimizavimas – sistemų monitoringas.
- *Granlund Manager APP* – mobili programa.

Serviso užklauskos

Programos modulis, suteikiantis vartotojams galimybę kurti serviso užklauskas, sekti užklauskų statusą, patvirtinti jas bei matyti su užklausomis susijusią papildomą informaciją.

Aptarnavimo planai ir aptarnavimo užrašai

Aptarnavimo planų sudarymo, resursų planavimo programos moduliai. Moduliai apima atsakomybių priskyrimą, instrukcijų pateikimą, laiko nustatymą ir valdymą.

Energija

Energijos skaitiklių duomenų apdorojimas ir ataskaitų generavimas, suteikiantis galimybę stebėti energijos sąnaudų pokyčius ir laiku priimti atitinkamus sprendimus.

Turto informacija ir dokumentai

Programos moduliai, leidžiantys įkelti norimą informaciją apie objektą į programą - tai gali būti dokumentai, nuotraukos, brėžiniai ir kt.

Našumo optimizavimas

Inžinerinių sistemų veikimo monitoringo modulis. Šio modulio veikimui privaloma atlikti integraciją su pastato BMS sistema. Jei integracija negalima, modulis nenaudojamas.

BIM modulis

BIM modelio duomenų bei IFC dokumentų įkėlimas į *Granlund Manager* programą, jei tokia dokumentacija yra.

Našumo optimizavimo modulis bei automatinio skaitiklio duomenų nuskaitymo iš BMS į *Granlund Manager* sistemą.

Reikalingas tikslus skaitiklių kiekis bei teikiamų duomenų pobūdis iš BMS. Automatinis inžinerinės įrangos duomenų nuskaitymas iš BMS, reikalingi detalūs duomenys apie BMS sistemą bei jos teikiamus duomenis.

Ruošiant modelį įkėlimui į programą, reikia atitikti kelis PĮ reikalavimus, kad būtų patogų juo naudotis turto valdymo ir priežiūros etape. Modelio paruošimas įkėlimui reikalauja „kambarių“ (angl.

Room) funkcijos panaudojimo tam, kad vėliau būtų galima šiems kambariams priskirti norimą informaciją. Modelis keliamas IFC formatu prieš tai panaudojus programą *Space2Proxy.exe*, kuri konvertuoja erdves, kad *Granlud Manager* programa leistų nuskaityti pastatą. Į programą modelis galimas kelti visas arba išskaidytas aukštais, mūsų atveju modelis yra išskaidomas aukštais.

2.4. Antrasis etapas. Pastato duomenų bazės sukūrimas

Šiame etape vyksta esamos projektinės informacijos surinkimas, projekto informaciniai modeliai: architektūriniai, konstrukcijų, inžinerinės įrangos (priklausomai nuo priežasties, kodėl yra kuriamas turto valdymo modelis), pridedama projektinė darbo projekto informacija. Ne mažiau nei darbo projekto dokumentacija reikalinga išpildomoji dokumentacija, kitaip dar „taip pastatyta“ dokumentacija.

Po statinio statybos užbaigimo dokumentų pasirašymo ir pradėjimo pastatą eksploatuoti, pradedama kaupti jutiklių duomenys, skaitiklių duomenys ir kitų pastato valdymo sistemų (toliau. BMS) faktiniai duomenys.

2.5. Trečiasis etapas. Turto informacijos modelio parengimas

Duomenys perkeliama iš PIM į turto valdymo modelį (angl. AIM), taip sukuriama 3D turto modelis *Granlund Manager* platformoje. Šio proceso metu yra sprendžiama:

- ar reikalingas pastato elementų klasifikavimas;
- ar reikia esamiems elementams suteikti papildomą informaciją kėlimui;
- papildomų duomenų įvestis: pirkimų dokumentai, sutartys, protokolai ir kita galima informacija;
- esamo turto situacijos modelio rengimas – duomenų modelis;
- turto statinės informacijos (duomenų) surinkimas ir susiejimas su modeliu – realybės modelis.

2.6. Ketvirtasis etapas. Turto techninė priežiūra ir valdymas *Granlund Manager* platformoje

Granlund Manager platformoje galimas turto techninės priežiūros procesų valdymas – aliarmai, bei jų stebėsena, turto techninės priežiūros darbų vykdymo organizavimo kontrolė ir valdymas, pvz., planiniai remontai, gedimų šalinimo kontrolė, erdvių stebėsena ir valdymas – erdvių dinaminis modeliavimas, pritaikymas prie besikeičiančių poreikių, tvarumo stebėsena ir valdymas – energijos išteklių stebėsena ir valdymas, energijos, mikroklimato ir oro kokybės stebėsena ir valdymas, inžinerinių sistemų energinio efektyvumo stebėsena ir valdymas.

2.7. Tiriamojo darbo uždavinių rezultatas

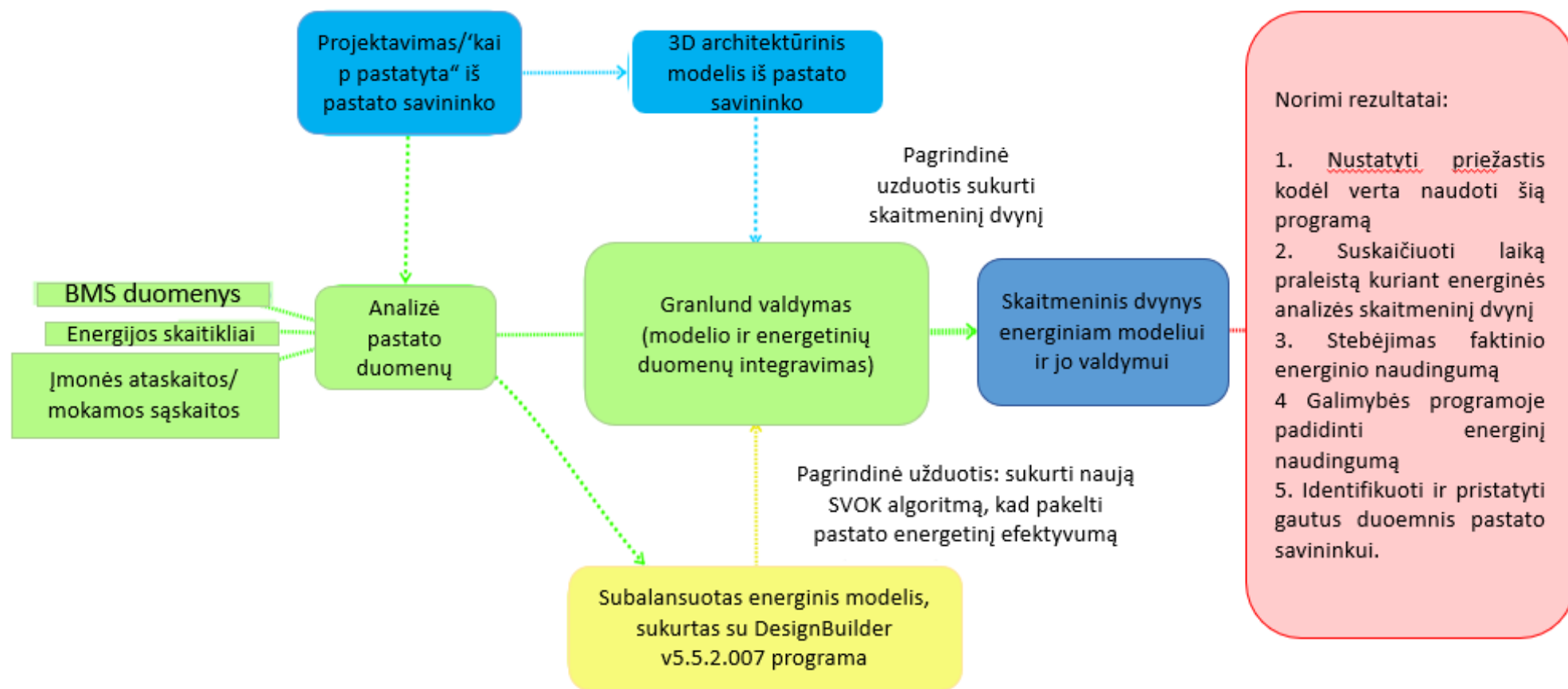
Aprašius darbo metodiką ir eigą, keliame tokie siejami darbo tikslų rezultatai:

- Yra išgryninta įvesties duomenų suvestinė, tai yra kokia yra reikalinga informacija keliant modelį į *Granlund Manager* programinę įrangą.
- Sukurta duomenų bazės struktūra.
- Realybės modelis esamų sąlygų modeliavimui ir skaitmeninių dokumentų valdymui.
- Pateikiamos aiškios rekomendacijos, sklandesniam projekto informacinio modelio kėlimui į *Granlund Manager* programą.
- Identifikuojamos AIM integravimo galimybės su esama pastato valdymo sistema (BMS).
- Paruoštas skaitmeninis dvynys.
- Naudojamas skaitmeninis dvynys energinio efektyvumo analizei gauti.

Tiriamojo darbo rezultatai apibendrinti ir pateikti lentelėje.

2.8. Tiriamojo darbo palyginimas

Lygiagrečiai šio darbo tyrimo yra daromas kitas darbas *DesignBuilder v5.5.2.007* programa, kad būtų galima palyginti sukurtus modelius ir gautus kolegos rezultatus integruoti į skaitmeninį dvynį ir palyginti gautus rezultatus. Darbo procesas atspindi 9 paveiksle. Šiame darbe remiantis šia schema aktualu yra projektavimas, 3D modelis iš pastato savininko, kuris integruojamas į *Granlund Manager* programą, čia gauti duomenys bus palyginti su kito modelio duomenimis ir taip yra sukurtas skaitmeninis dvynys skirtas energinei analizei atlikti.



9 pav. Tiriamojo darbo palyginimo proceso schema

3. TYRIMO OBJEKTAS IR TIRIAMOJO DARBO REZULTATAI

Tiriamajo darbo dalyje pateikiama tiriamojo objekto aprašymas, jo panaudojimas, paruošimas ir įkėlimas į *Granlund Manager* programinę įrangą.

3.1. Tiriamasis objektas

Šiam darbui tyrimo objektas pasirinktas Vilniuje esantis administracinės paskirties pastatas, 9208, 02 m² adresu Gedimino pr. 35/ J. Tumo Vaižganto g. 1, Vilniuje (žr. 10 pav. ir 1 lentelę)



10 pav. Tiriamasis objektas

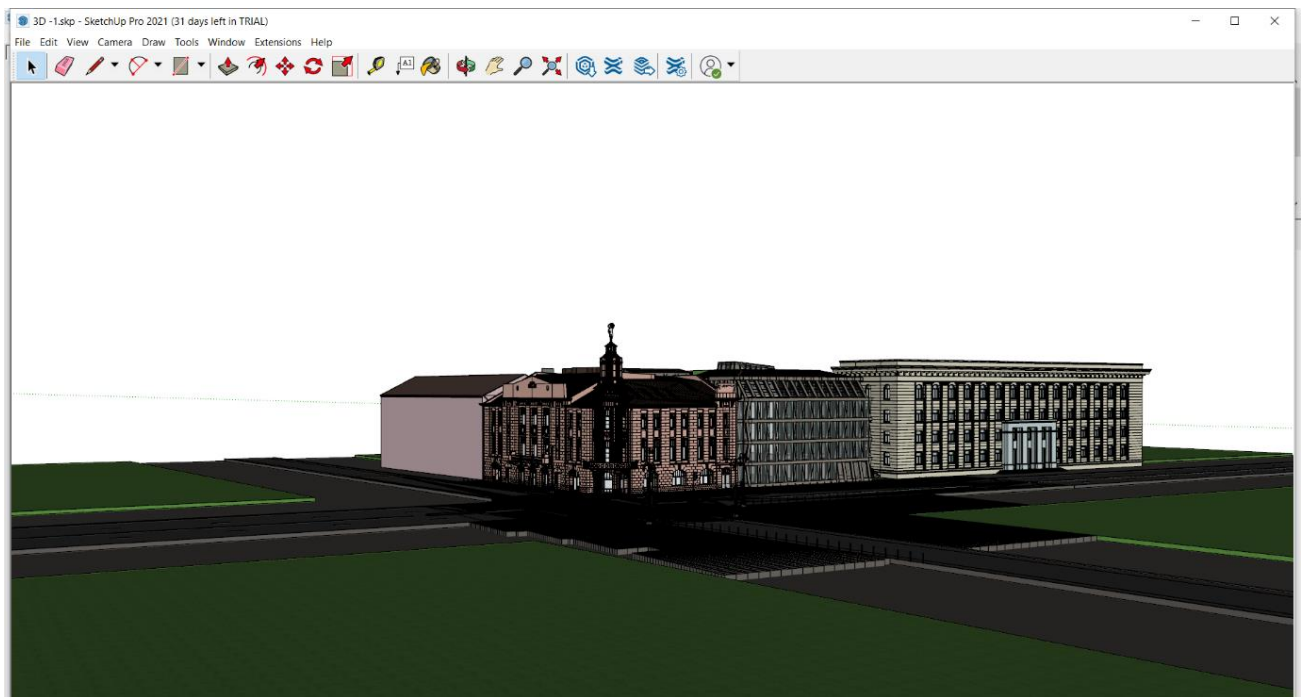
1 lentelė. Pastato bendrieji rodikliai

Rodiklis	Reikšmė
Statybos pradžia ir pabaiga	2010 – 2012 metai
Bendras pastato plotas	9208,02 m ²

Rodiklis	Reikšmė
Pagrindinis plotas	5786,09 m ²
Pagalbinis plotas	3421,93 m ²
Garažų plotas	2807,45 m ² (72 automobilių stovėjimo vietos)
Pastato aukštų skaičius	5
Pastato aukštis	19,33 m
Darbuotojų skaičius	260
Lankytojų skaičius	120

Tiriamąo objekto modelis yra sukurtas su *SketchUp* programine įranga (žr. 11 pav.).

Modelyje yra sumodeliuota sienos, grindys, lubos, išorinės sienos.



11 pav. Vaizdas modelyje

3.2. Tiriamajame darbe naudotos programos

Tiriamajame darbe naudota *Autodesk Revit*, *SimpleBim9*, *Granlund Manager* programos.

3.3. *Granlund Manager* programinė įranga

Grandlund Manager programinė įranga yra suomių kompanijos. *Grandlund Manager* programa optimizuoja resursus, taupo laiką, suformuluoja prevencines priežiūros užduotis. Programa suteikia galimybę matyti visą nuosavybėje esantį nekilnojamą turtą ir su juo susijusias priežiūros užduotis. Visus procesus galima stebėti tiek kompiuteryje, tiek telefone. Naudojantis telefone esančia programėle darbai vyksta sklandžiau, nes priežiūros darbus atliekantys darbuotojai gali nesunkiai reaguoti į iškvietus ir raportuoti apie darbų būsenas. Ši programa skaičiuoja pastato sąnaudas, CO₂ emisijas, grafiškai atvaizduoja vykstančius procesus (šildymas, vėdinimas ir kt.), leidžia sureguliuoti pastato vidaus aplinkos sąlygas ir taip užtikrinti jame esančių žmonių gerovę, bei pasirūpinti pastato ilgalaikiu tvarumu. *Grandlund Manager* programa atvaizduoja vizualiai aktualią informaciją, taip pat sukuria patogias, interaktyvias ataskaitas, kurias galima toliau naudoti įvairiai duomenų analizei. Programoje sukuriamas pastato skaitmeninis „dvynys“, kuriame galima talpinti projektavimo metu surinktus duomenis, integruoti:

- „IoT“ (daiktų internetas),
- BMS (pastato automatikos sistemos),
- pačio pastato vartotojų duomenis.

Įrangos paprastumas: susipažinus su įranga naudotojui naudotis įranga nėra sudėtinga. Programinė įranga neturi vizualiai gražių įrankių, tačiau yra patogi užfiksuoti įvairias situacijas, problemas.

Programinės įrangos palaikomos platformos: šią įrangą galima suinstaliuoti lengvai į telefonus: *Android* ir *Iphone*, kompiuteryje palaikoma taip pat, naudotojas gauna prisijungimą prie savo paskyros ir ten gali žymėti bei valdyti programą.

Atjungtu režimu prie programos negalima prisijungti.

Planinių darbų vykdymas: planinių darbų vykdymo grafikai yra aiškūs, raiškūs ir spalvoti. Artėjant pabaigos terminui iššoka pranešimas, kad darbas turi būti atliktas iki tam tikros datos.

Pastato naudotojų nusiskundimų administravimas: nuskaicius QR kodą, atsidaro programos langas telefone. Jame per kelis etapus yra parašoma problema, užfiksuojama nuotraukomis, nusiunčiama administratoriui.

Darbuotojų užduočių valdymas: gavus nusiskundimą apie probleminę vietą administratorius priskiria atsakingą asmenį, kuris sutvarko probleminę vietą.

Atliktų darbų atsekamumas: kadangi kiekvienas užklauskimas yra fiksuojamas, tai jį išsitraukti iš duomenų bazės nėra sunku.

Informacijos papildymas atsiradus naujiems įrenginiams/pasikeitus pastato išplanavimui. Atsiradus naujiems įrenginiams ar pasikeitus pastato planui galima papildyti informaciją tiek naudotojui tiek

valdytojui. Naudotojas gali teikti užklausas administratoriui, o valdytojas turi užsakyti atnaujinti patį modelį, skaitmenį dvynį.

Naudotojas modelį mato programėlėje, o pats modelis yra debesyje, gamintojų duomenų bazėje.

IOT technologijų palaikymas: palaiko, nes problemas, kurias reikia tvarkyti, fiksuoja per QR kodą, t. y. nuskenavus QR kodą išsoka paraiškos forma.

Virtualios realybės palaikymas yra bandymo stadijoje.

Į programą galima integruoti BMS duomenis, tačiau ne visus, senesnių formatų duomenų programa tiesiogiai nepriima.

Papildomai pridėti dokumentus galima.

Modelio kėlimas: modelį gali įkelti kiekvienas naudotojas, kuris turi IFC ar kitokį duomenų mainų formato failą. Taip pat užsakovas gali prašyti įkelti modelius gamintojui.

Galimas BIM modelio palaikymas. Yra įkeliamas IFC formato failas, kuriame esantys elementai kiek turi informacijos, tiek ta informacija yra įkeliamas.

Šioje programinėje įrangoje sukuriama skaitmeninis dvynys.

Informacijos apsikeitimas tarp programinės įrangos vartotojų galimas, duomenų mainai vyksta. Programa skaičiuoja pastato efektyvumą ir naudingumą, jei tik į ją yra integruojami BMS duomenys (remtasi interaktyviu šaltiniu: <https://www.granlundmanager.com/lt/>)

3.4.SimpleBim9 programinė įranga

PĮ *SimpleBim* leidžia įkėlus IFC2x3 failus padaryti juos savaisiais, juos modifikuoti, iškarpyti nereikalingus elementus, objektus, tvarkyti esamą informaciją IFC faile, keisti modelio padėtį, modelio koordinates, peržiūrėti rezultatus ir vėl išeksportuoti į IFC2x3 failus. Programą galima papildyti papildomais įskiepiais, papildiniais.

Kaip teigia programos platintojas, ši programa leidžia visiškai kontroliuoti IFC modelio duomenis ir užtikrina jų kokybę. Naudojant šią programą, galima neturėti prieigos prie originalaus modelio.

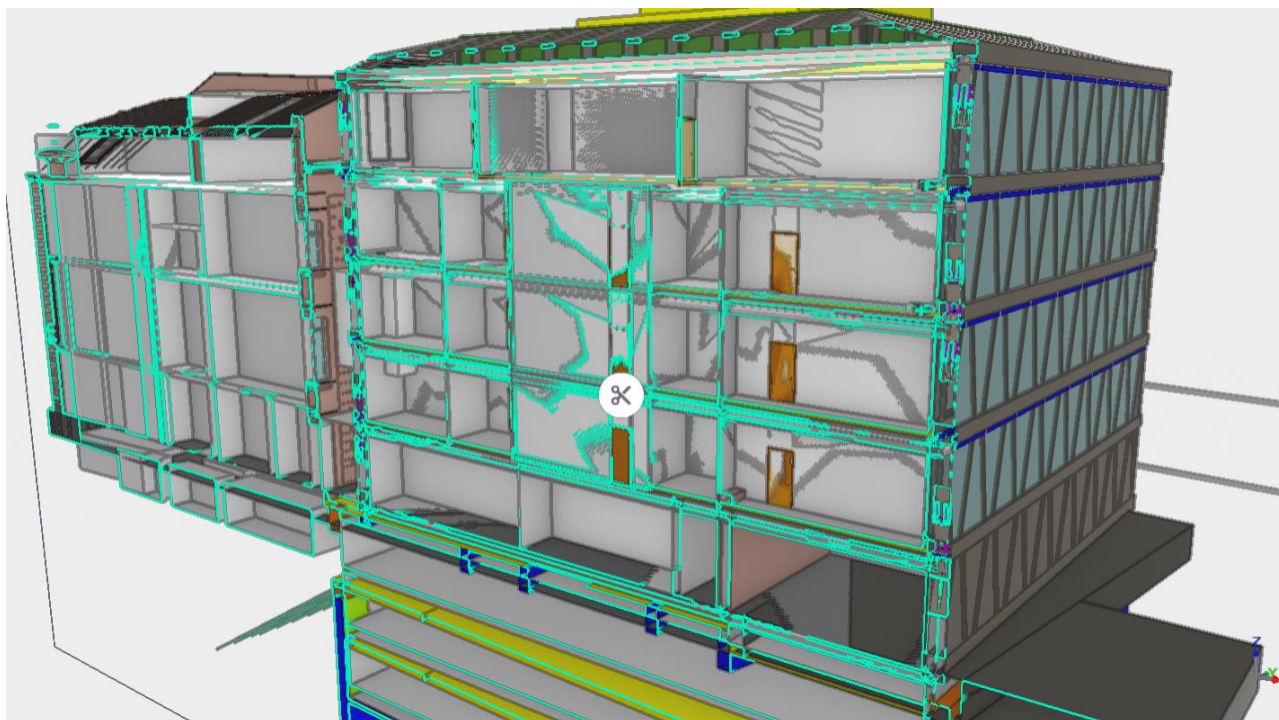
Naudojant *SimpleBim* galima iš išorinių šaltinių įkelti analizės rezultatus, detalią modelio komponentų bei kitą informaciją. Pvz., programinė įranga leidžia įkelti energijos simuliacijos rezultatus, siekiant kokybiškesnės ŠVOK sistemos suprojektavimo (ibimsolutions.lt)

3.5.Autodesk Revit programinė įranga

Autodesk Revit– tai BIM standartus atitinkantis programinės įrangos sprendimas, apimantis visas pastato projektavimo – modeliavimo sritis nuo architektūros, konstrukcijų iki pastato vidaus inžinerinių tinklų teigia PĮ platintojas (www.infoera.lt)

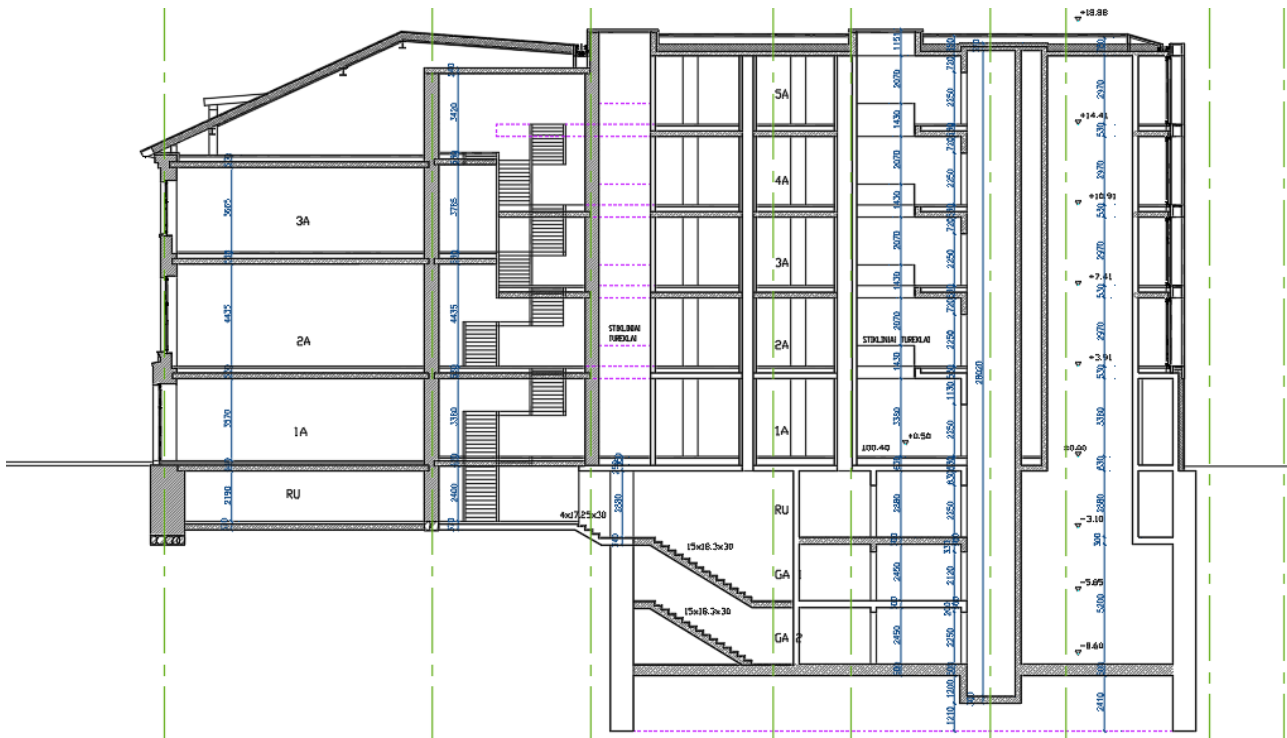
3.6. Modelio paruošimas įkėlimui į programą

Objektas, sumodeliuotas *SketchUp* programine įranga yra išvaizdus, tvarkingas, matyti kiekvienas elementas iš lauko, tačiau pristatyta statinio dalis turi tik išorines sienas. Kad modelis turėtų tvarkingai suplanuotas patalpas, modelis *SketchUp* programoje eksportuojamas į IFC2x3 formatą, tam kad būtų galima modelį perkelti į kitą programą. Tyrimo proceso metu mano pasirinkta programa *Autodesk Revit 2020*. Šioje programoje IFC modelis yra prikabinamas, konvertuojamas į savąjį formatą ir jame yra sumodeliuojamos vidinės, trūkstamos sienos, kad statinyje atsirastų patalpos. Kadangi abi pastato dalys yra statytos skirtingais metais, pastato dalys skiriasi planu, sienų storiais, esamų aukštų skaičiais, senasis pastatas turi keturis aukštus, naujasis – penkis. (žr. 12 pav.).



12 pav. Modelio vaizdas su sumodeliuotomis sienomis ir patalpomis

Naujojo pastato aukščiai tarp aukštų yra tokie 1A- 3380, 2A-5A – 2970, senosios dalies 1A- 3430, 2A – 4435, 3A – 5635. (žr. 13 pav.)



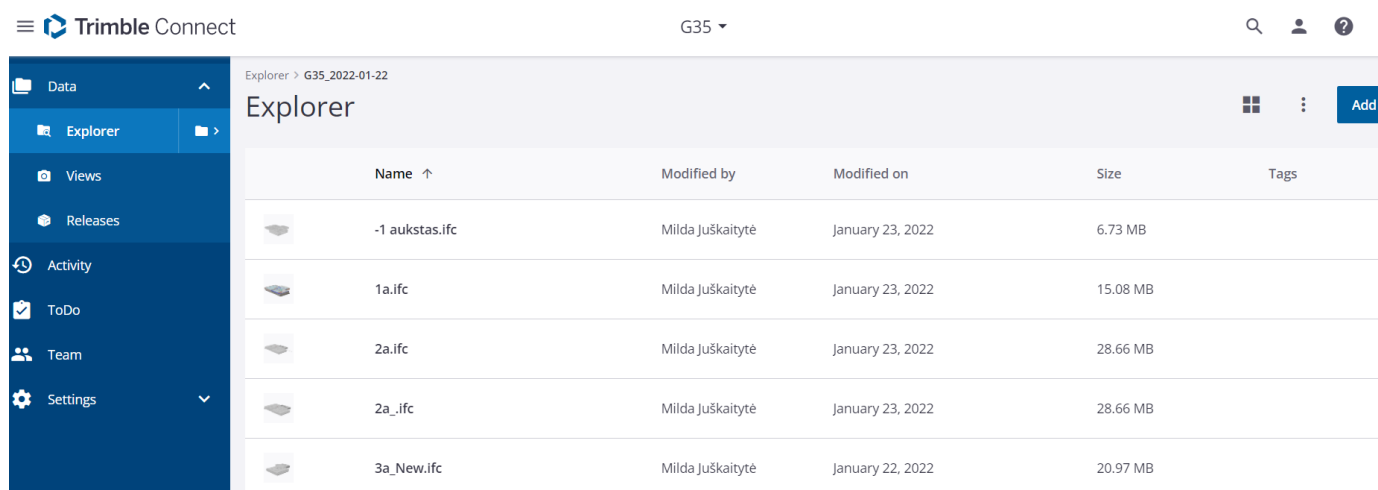
13 pav. Pastato pjūvis

Pridėjus sienas ir suformavus vidines erdves, į modelį reikia pridėti tūrines erdves naudojant *Autodesk Revit* programos kambarių (angl. Rooms) funkciją, kad modelyje atsirastų erdvės, kurios vėliau *Granlund Manager* programoje bus panaudojamos, kuriant zonas esamose patalpose. Kambarių funkcija leidžia modeliui suteikti erdves, tose vietose kur yra kambariai, taip priskiriama patalpai jos numeris ir pavadinimas.

Prieš keliant į *Granlund Manager* PĮ IFC failą, būtina jį padalinti į atskirus aukštus: 1, 2, 3 ir kt. (žr. 13 pav.), kad būtų galima programoje jais naudotis. Programa pati automatiškai negali išskaidyti aukštais nurodant tarp aukštų esantį aukštą, todėl šiam tikslui buvo panaudota *SimpleBim9* programa. Ši programa padėjo atskirti ir priskirti elementus į jų aukštus, į jų vietas ir sukomplektuoti taip aukštus, kad to aukšto aukštyje matytųsi tik tai, kas priklauso tam aukštui. *SimpleBim9* programa yra naudojama darbui su IFC failais, nepriklausomai kur buvo modelis kuriamas. Šioje programoje įkėlus modelį galima ne tik skaidyti norimomis dalimis, tačiau ir keisti modelio pirmines koordinates, karpyti dalimis didelius vientisus elementus. Modelį galima išskaidyti iki mažiausių elementų ir kiekvieną elementą eksportuoti atskirai galimais IFC formatais.

Šios programos pliusas: įkėlus į ją IFC formato modelį, galima jį prikabinti taip, kad jis taptų savas šiai programai, t. y. savojo formato ir būtų išsaugotas kaip darbinis failas. Atlikus išsaugojimo veiksmus programoje, prasideda darbas su elementų vietomis.

Po darbo šia programa yra išsaugojami atskiri modelio aukštai (žr. 14 pav.)



The screenshot shows the Trimble Connect Explorer interface. On the left is a navigation sidebar with options: Data, Explorer (selected), Views, Releases, Activity, ToDo, Team, and Settings. The main area displays a table of files under the path 'Explorer > G35_2022-01-22'. The table has columns for Name, Modified by, Modified on, Size, and Tags. There is an 'Add' button in the top right corner of the table area.

Name ↑	Modified by	Modified on	Size	Tags
-1 aukstas.ifc	Milda Juškaitytė	January 23, 2022	6.73 MB	
1a.ifc	Milda Juškaitytė	January 23, 2022	15.08 MB	
2a.ifc	Milda Juškaitytė	January 23, 2022	28.66 MB	
2a_.ifc	Milda Juškaitytė	January 23, 2022	28.66 MB	
3a_New.ifc	Milda Juškaitytė	January 22, 2022	20.97 MB	

14 pav. Atskirų aukštų saugojimas

Po kiekvieno atlikto proceso veiksmo vyksta patikrinimas, ar aukštas yra savo vietoje, ar koks nors elementas nėra dingęs, ar tiesiog ne savo vietoje. Patikrinimui naudota *Trimble Connect* programa. Panaudojus *SimpleBim9* programą, pastebėta, kad sukurtos erdvės susidubliavo, todėl kiekvienas aukštas vėl buvo keltas į *Autodesk Revit 2020* programą, kur visi susidubliavę elementai buvo ištrinti, ir erdvės pridėtos per naują. Vėl padaryti IFC2x3 formato atskiri aukštų modeliai.

Po dar vieno patikrinimo, kai elementai yra savo vietose, kambarių numeracijos nebesidubliuoja, naudojama dar viena programėlė konvertuoti IFC formato modelius – *Space2Proxy.exe* (žr. 15 pav.). Ši programa konvertuoja erdves taip, kad *Granlund Manager* programa galėtų jas nuskaityti ir integruoti į save. Programos lango vaizdas su konvertuotais failais pateiktas 15 paveiksle. Rezultatas, dėl ko visa tai yra daroma, matomas 16 paveiksle. Jei IFC failas su patalpomis yra nekonvertuojamas su *Space2Proxy* programa, erdvės nėra importuojamos į *Granlund Manager* programą.

Kad modelis būtų paruoštas įkėlimui, vyko periodiški patikrinimai, kurie yra pavaizduoti 17 paveiksle. Tiksliausias patikrinimas yra modelio įkėlimas į *Granlund Manager* programą, joje matomas vaizdas turi būti ryškus, modelį turi būti paprasta sukloti, patalpų numeriai – matomi.

```
Select Komandinė eilutė

Microsoft Windows [Version 10.0.19042.1466]
(c) „Microsoft Corporation“. Visos teisės ginamos.

C:\Users\37067>cd C:\Users\37067\Desktop\ifc

C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe -1_a.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[35] to proxies...

done - saved as:-1_aSPACE2SPROXY.ifc
C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe 2a_.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[52] to proxies...

done - saved as:2a_SPACE2SPROXY.ifc
C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe 3a_New.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[34] to proxies...

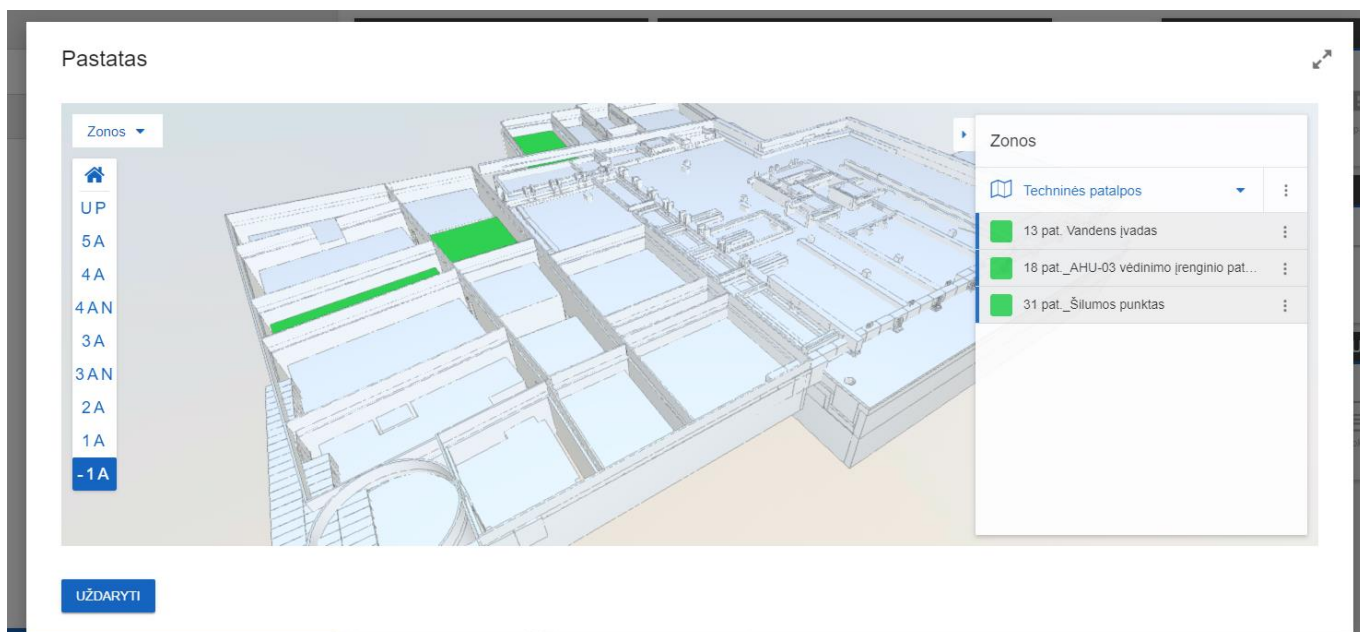
done - saved as:3a_NewSPACE2SPROXY.ifc
C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe 3a_old.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[9] to proxies...

done - saved as:3a_oldSPACE2SPROXY.ifc
C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe 4a_new.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[28] to proxies...

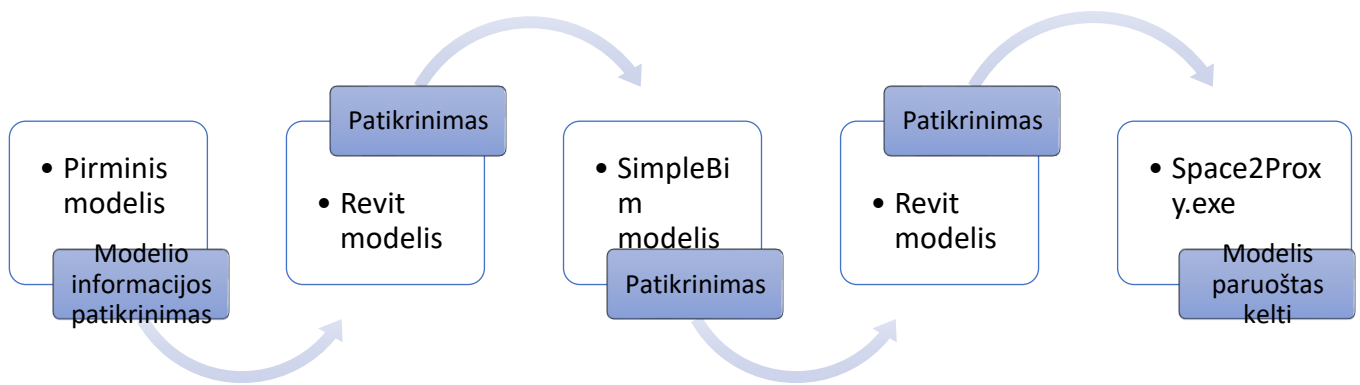
done - saved as:4a_newSPACE2SPROXY.ifc
C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe 4a_old.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[8] to proxies...

done - saved as:4a_oldSPACE2SPROXY.ifc
C:\Users\37067\Desktop\ifc>Space2Proxy.exe 5a_new.ifc
parsing: 100 %
Converting spaces[22] to proxies...
```

15 pav. Patalpų konvertavimas į tūrius su *SpaceProxy.exe*



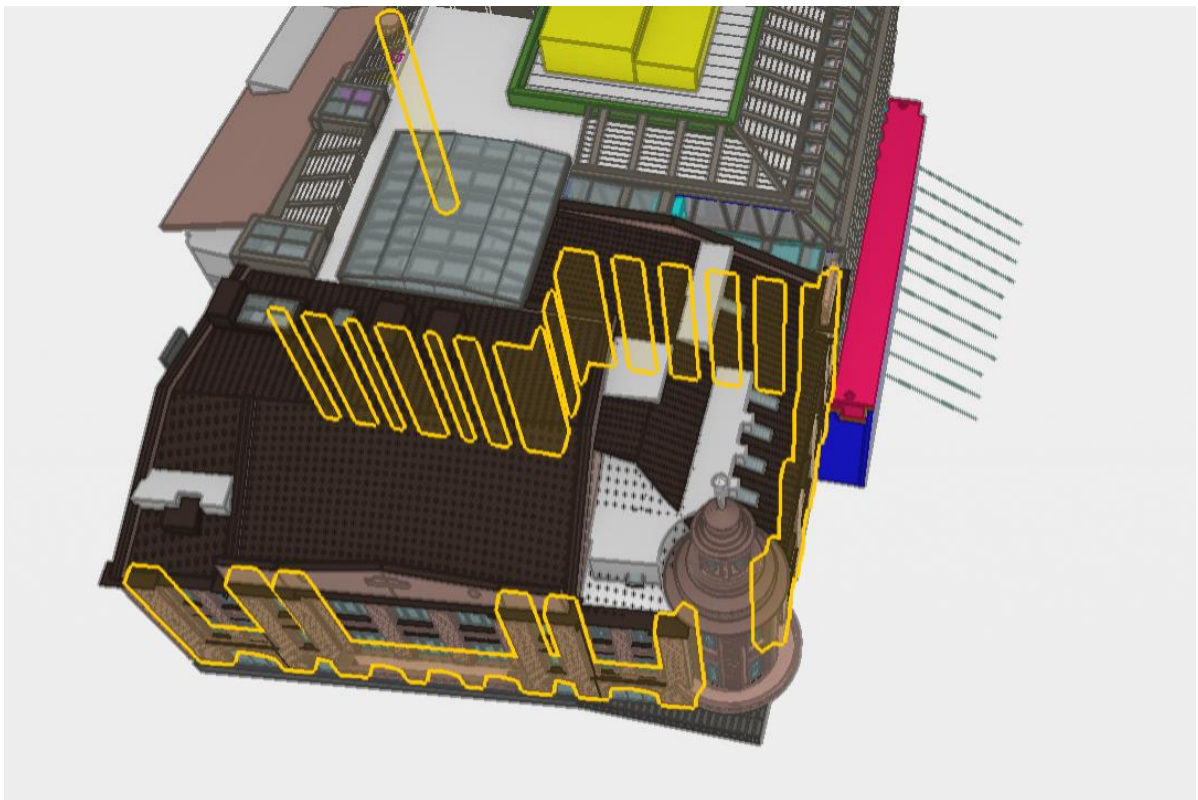
16 pav. -1 aukšto vaizdas *Granlund Manager* su paryškintomis techninėmis patalpomis



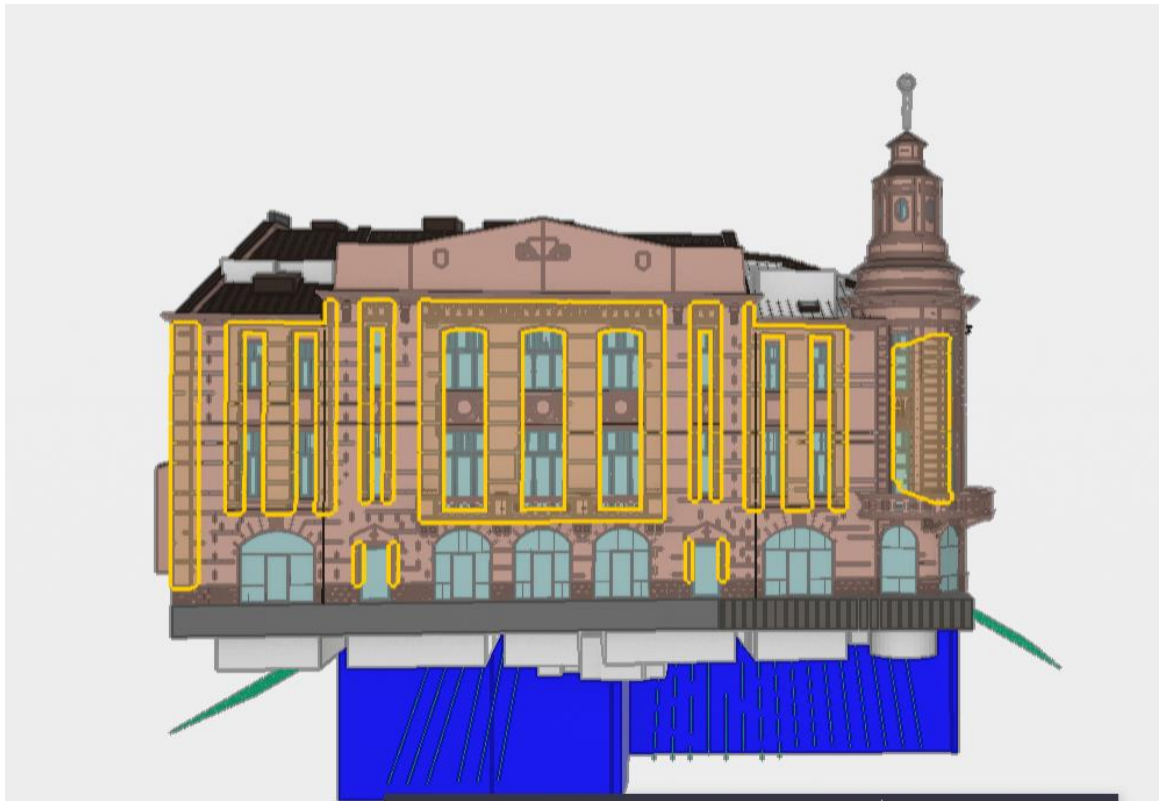
17 pav. Patikrinimo procesas

3.7. Iškilusios problemos keliant modelį į *Granlund Manager*

Dirbant su esamu modeliu naujomis programomis neišvengiama nesklandumų, šis tiriamasis darbas buvo ne išimtis. Pagrindinė problema buvo iš savojo formato pirminio failo – modelio, sukurto su *SketchUp* programine įranga, įkėlimas į *Autodesk Revit* programą, kad būtų galima padaryti susietą modelį. Modelio integracija tarp programinės įrangos susieti pavyko, tačiau dalis elementų neišsiskaidė, pavyzdžiui, senojo pastato išorinės fasado sienos. Šis fasadas yra modeliuojamas iš plytų ir *Autodesk Revit* programoje galima pažymėti ne kiekvieną plytą individualiai, bet visą sieną kaip vieną elementą. Ši problema matoma 18 ir 19 paveiksluose.



18 pav. Fasado elemento vaizdas iš viršaus

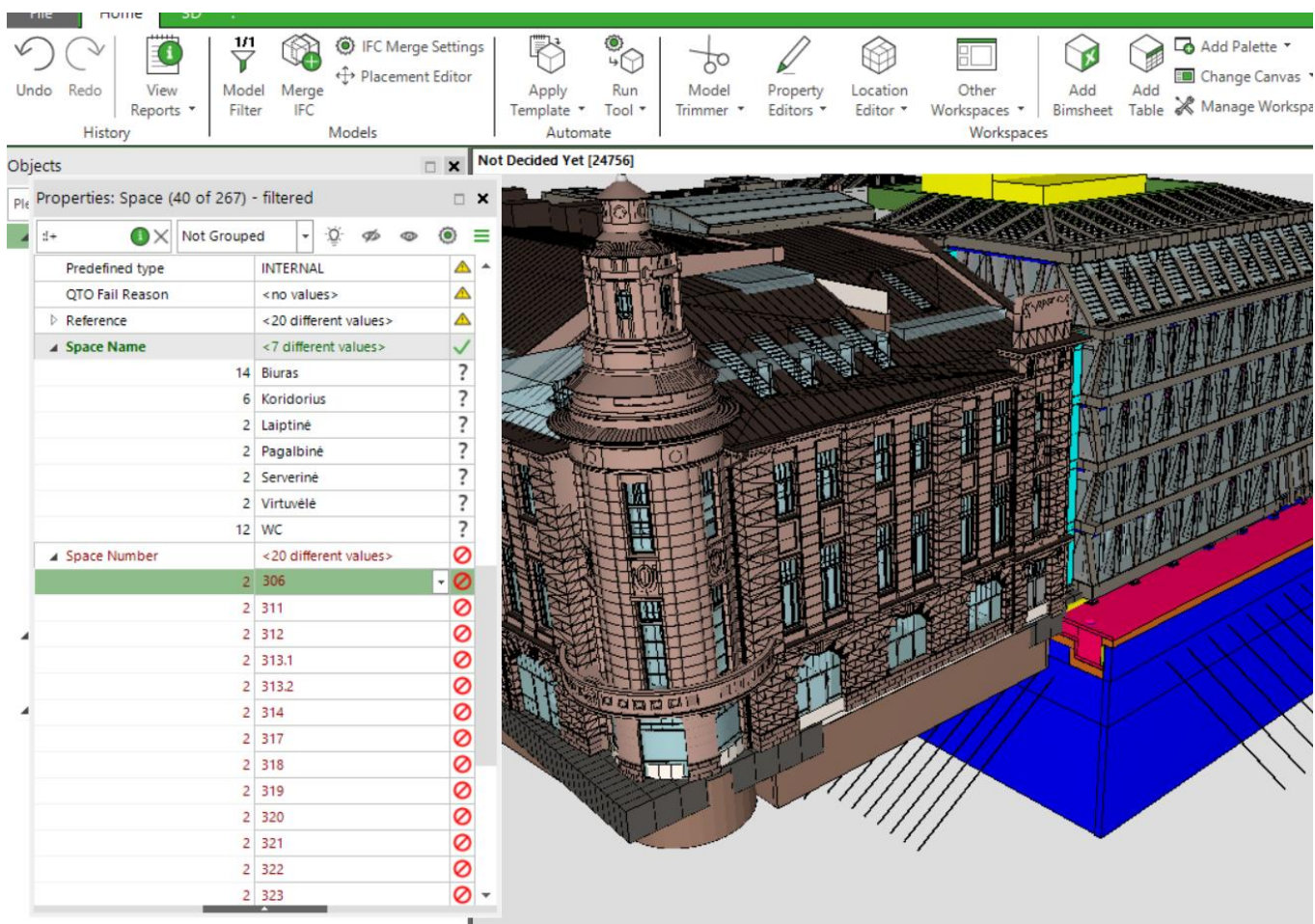


19 pav. Elemento vaizdas iš šono

Šis matomas vientisas elementas turėtų skaidytis į atskirus elementus, pavienes fasadines plytas, tačiau turime vieną elementą. Prie šios problematikos priskyriau ir tai, kad šis elementas gali būti priskiriamas tik vienam aukštui ir skaidant pastatą aukštais jis matosi tik pirmajame, o vėliau jau nebe.

Kita iškilusi problema, jau minėta anksčiau, – tai susidubliavusios erdvės, sukurtos *Autodesk Revit* programoje. Įkėlus modelį į *SimpleBim9* programą ir pradėjus tvarkyti, pasirodė jog šios erdvės susidubliavo, dėl ko reikėjo antrą kartą keltis modelį į *Autodesk Revit* programą, joje ištrinti susidubliavusius elementus ir iš naujo patalpų erdvėms suteikti numerį. Klaidų patikrinimas vyko *SimpleBim* programoje (žr. 20 pav.).

Trečia iškilusi problema yra laikas, keliant modelį į programą ir sutarčių pasirašymas. *Granlund Manager* programos savininkai yra skandinavai, su jais bendrauti pradėta birželio mėnesį 2021 metais, kol buvo suderintos visos sutarties sąlygos, už ką bus mokami pinigai ir kokie bus atlikti darbai, atėjo ir gruodis. Iš patirties yra žinoma, kad pasirašant sutartis dėl naujos statybos pastatų, reikalavimai ir sąlygos įgyvendinamos greičiau, tačiau tiriamasis objektas yra beveik 10 metų senumo ir turi BMS duomenis, kurie yra kaupiami ir skaitomi tokia PI, kurios šiandien įsigyti jau nebegalima, nes ji yra pasenusi.



20 pav. SimpleBim9 programos vaizdas su besikartojančiomis erdvėmis

Susidurta ir su tokia problema, kaip yra nuskaitomi pastato sistemų faktiniai duomenys (angl. BMS) jie kaupiami ir įkėlus modelį į *Granlund Manager* programą integruojami, kad būtų tiesiogiai nuskaitomi jau programoje ir matoma esama situacija, kuriai būtų galima teikti rekomendacijas arba daryti skaitmeninį dvynį energinei analizei. Tačiau problema yra ta, kad penkerių metų senumo programa yra per sena integruoti į *Granlund Manager* programą, jos duomenys taip paprastai nėra nuskaitomi. Dilema – kaip integruoti senus duomenis į programą, kad juos būtų galima panaudoti analizei. Kad būtų galima išspręsti šią problemą, turi būti samdomas informacinių technologijų specialistas, kuris atnaujintų programą arba konvertuotų turimus duomenis, tačiau kyla dar viena problema – pinigai. Pinigai yra mokami už kelių metų senumo programos atnaujinimo darbus.

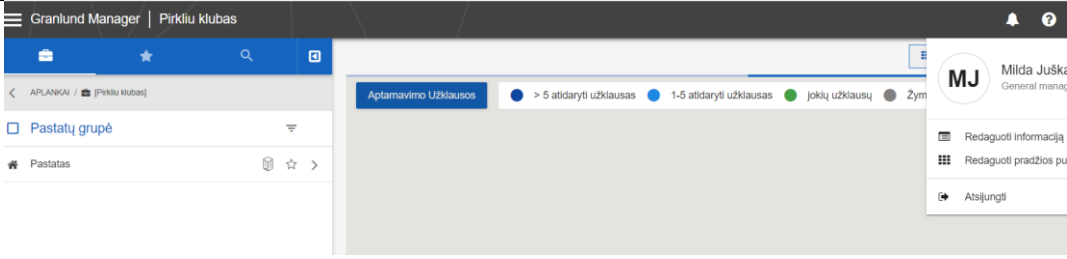
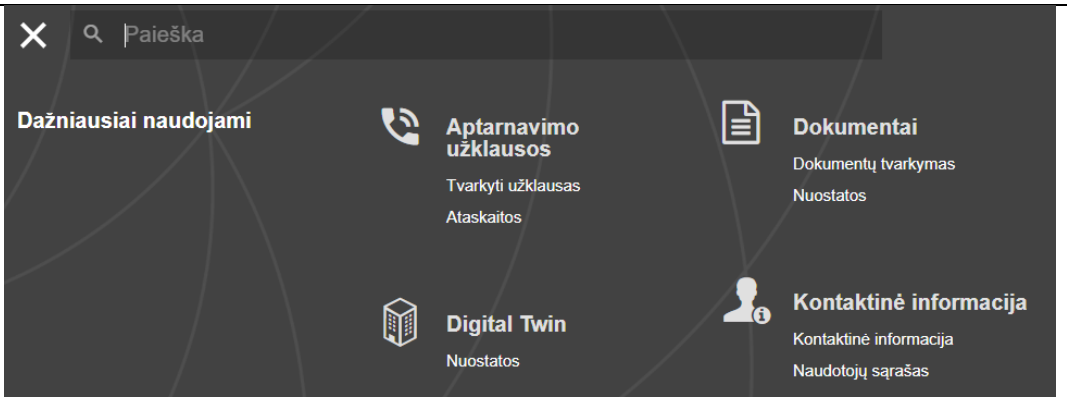
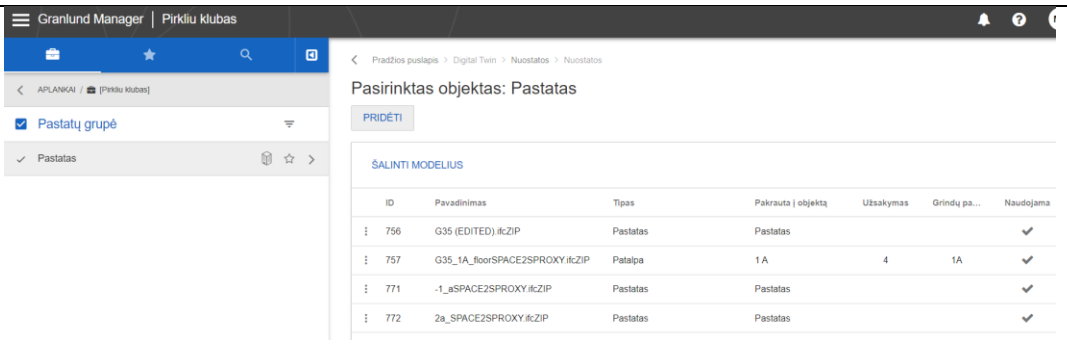
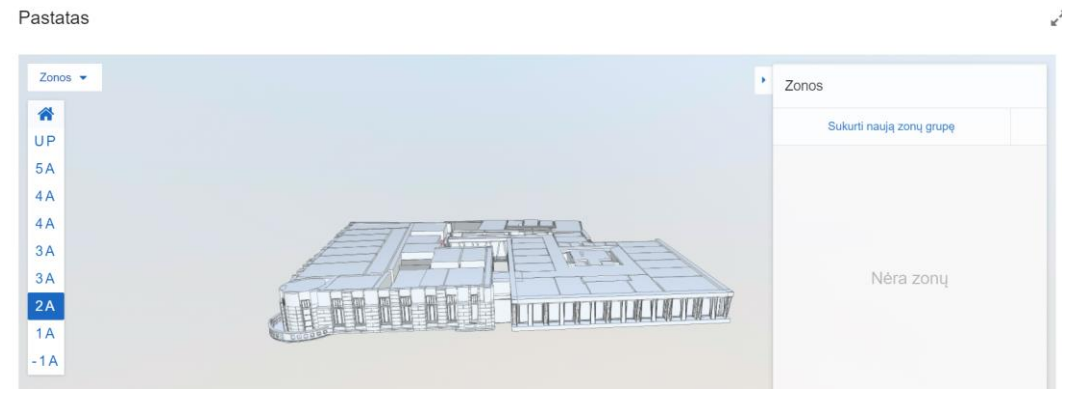
3.8. Turto informacijos modelio sukūrimas *Granlund Manager* aplinkoje

Kai modelis yra išskaidytas į atskirus aukštus, galima IFC failus, konvertuotus su *Space2Proxy.exe* kelti į *Granlund Manager* programą. Pirmiausia, kad būtų galima įkelti modelį į programą, reikia turėti

paskyrą *Granlund Manager* puslapyje, paskyrą sukuria šios programinės įrangos platintojai Lietuvoje, tam reikia tik pateikti prašymą ir nurodyti savo pašta, kuriuo bus registruojama paskyra.

Veiksmų seka paprasta, keliant turimus IFC failus, pavaizduota 2 lentelėje.

2 lentelė. Veiksmų seka keliant modelį į *Granlund Manager* programą

1	Prisijungiama prie paskyros:	
2	Pasirenkama „Digital Twin“ nuostatos	
3	Pasirenkama pastatų grupė - > pridėti -> pridedamas aukštas	
4	Gautas rezultatas, matomas paspaudus ant dangoraižio	

Kelių žingsnių seka yra sukeliama modelio aukštų konvertuoti IFC failai, kur jie bus naudojami toliau pagal poreikį.

Aprašytas gautas rezultatas – turto informacijos modelis, kuris turi vietovės koordinatas.

Sukurtas turto informacijos modelis *Granlund Manager* aplinkoje leidžia:

- atlikti incidentų (avarijų, gedimų) valdymą, sukuriant aptarnavimo užklausas;
- atlikti nuolatinę pastato priežiūrą, sudarant aptarnavimo planus ir užrašus;
- atlikti energijos vartojimo stebėseną, suvedus visų pastate esančių energijos ir vandens išteklių apskaitos duomenis;
- suvesti visą turto informaciją, t. y. įkelti susijusią dokumentaciją ir reikalingą informaciją;
- atlikti pastato energinio efektyvumo optimizavimą ir inžinerinių sistemų veikimo stebėseną (monitoringą);
- naudotis programinės įrangos mobilia programa.

Tyrimo metu paaiškėjo, kad esama pastato valdymo sistema yra pasenusi ir neturi galimybės būti atnaujinta dėl jau gamintojo nepalaikomos programinės įrangos versijos. Todėl nebuvo galima susieti pastato valdymo sistemos su *Granlund Manager* programine įranga. Šis pastato valdymo sistemos trūkumas lėmė, kad tyrimo metu nebuvo galima visapusiškai įgyvendinti skaitmeninio dvynio koncepcijos, kurios vienas iš pagrindinių tikslų – realiu laiku atlikti pastato energinio efektyvumo optimizavimą ir inžinerinių sistemų veikimo stebėseną (monitoringą). Tačiau tyrimo metu išanalizuotas incidentų (avarijų, gedimų) valdymo, nuolatinės pastato priežiūros, energijos vartojimo stebėsenos modulių funkcionalumas.

3.9. *Granlund Manager* incidentų (avarijų, gedimų) valdymo modulio funkcionalumo įvertinimas

Granlund Manager programoje paspaudus aptarnavimo užklausas, kurios yra pradiniam lange, galima įvesti norimą aptarnavimo užklausą, kurią matys projekto vadovas ir ją išsiųs atitinkamoms institucijoms arba asmenims (žr. pav. 20). Tokiose užklausų lentelėse galima matyti užklausos statusą, ar ji įgyvendinta ar dar laukia savo eilės.

PRIDĖTI NAUJĄ UŽKLAUSĄ
SLĖPTI PAIEŠKĄ

Paieška

☒ Naujas (6)
☒ Vykdoma (4)
☒ Baigta (1) ⓘ

PAIEŠKA
IŠPLĖSTINĖ PAIEŠKA
ATKURTI NUMATYTĄSIAS NUOSTATUS

Paieškos tipas: Pagrindinė paieška
Surūšiuota pagal: ID
Sugrupuota pagal: PAGAL LAIKĄ

Vieno mėnesio laikotarpio

Patvirtinti užbaigimo veiksmą	Grįžti į etapą „Naujas“	Siųsti pranešimą dėl užklauso	Papildomos funkcijos	[+]
 Neveikia pagrindinio įėjimo oro užuolaida Sukurta: Justas Vaitulevičius 21 dien. prieš Objektas: DEMO verslo centras ID: 987 Aptarnavimo sritis: Nusiskundimai Užklauso tipas: Naujausia veikla: Vaitulevičius Justas, 21 dien. prieš Tvarkoma				

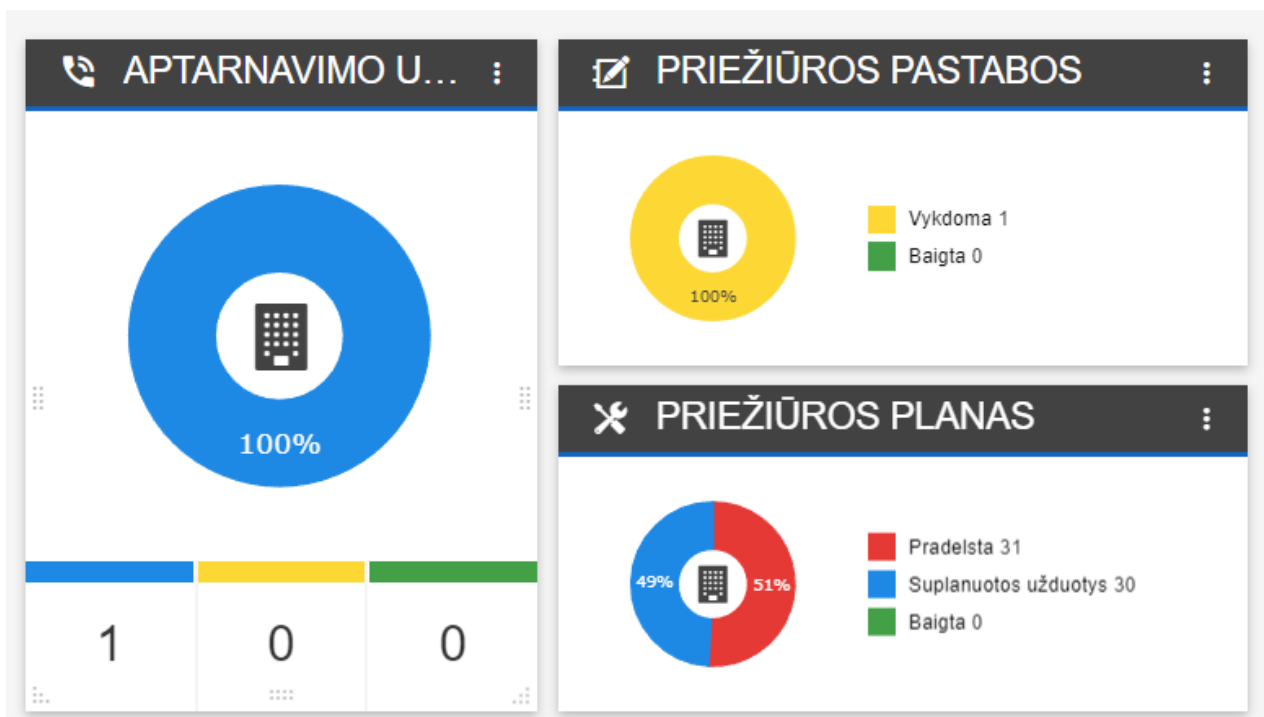
21 pav. Incidentų valdymui kuriamos užklauso

3.10. *Granlund Manager* nuolatinės pastato priežiūros modulio funkcionalumo įvertinimas

Granlund Manager programoje taip pat galima įvertinti pastato priežiūros modulio funkcionalumą, viskas yra matoma pradiniam lange, tokiose spalvotose lentelėse pavaizduotose 21 paveiksle. Lentelės vizualiai yra aiškios, nes matoma spalvomis kiek yra ko padaryta, mėlyna spalva reiškia suplanuotą, įvestą užklausą, geltona – kad užklausa yra vykdoma, o žalia spalva reiškia jog užklausa yra įgyvendinta. Visas baigtumas yra išreiškiamas procentais.

Patogus įrankis yra priežiūros planas, rodantis taip pat procentus kiek užduočių yra vėluojančių, kiek atlikta laiku. Pasirinkus jį yra atidaromas užduočių sąrašas.

Užduočių sąrašas yra nurodomas pastatas arba jų grupė, kuriai yra skirtas užduočių sąrašas (žr. pav. 23). Užduočių sąrašas yra išrūšiuotas pagal abėcėlę, o pačios užduotys pagal nurodytą atliko laiką, jo dažnumą (žr. 22 pav.).



22 pav. Pastato priežiūros modulio funkcionalumo įverinimo lentelės

Užduočių sąrašas

Ataskaitos kriterijus rastas ataskaitos pabaigoje



Pastatų grupė / Objekto priežiūra	
AGGS Automatinės gaisro gesinimo sistemos priežiūra	
AGGS ketvirčio darbai - Pasirinkti mėnesiai	
Aprašas:	01 Gaisrinių mygtukų apžiūra
	02 Sistemos bandymas
AGGS Automatinės gaisro gesinimo sistemos priežiūra	
AGGS mėnesio darbai - Mėnesio	
Aprašas:	01 Gaisrinių čiaupų ir AGGS apžiūra
	02 Siurblių prasukimas, slėgių patikra, KMP ir elektrinių gaisrinių sklendžių apžiūra
	03 Automatikos ir valdymo techninė priežiūra
AGGS Automatinės gaisro gesinimo sistemos priežiūra	
AGGS metiniai priežiūros darbai - Kiekvieni metai	
Aprašas:	01 Žamų perkantavimas ir GČ patikra
	02 Sistemos bandymas
APŠV Apšvietimo priežiūra	
APŠV mėnesio darbai - Mėnesio	
Aprašas:	01 Apšvietimo techninė priežiūra
	02 Vidaus apšvietimo darbo patikra ir lempų keitimas
BMS Pastato valdymo sistemos priežiūra	
BMS darbai pagal poreikį - Bus atlikta, jei reikia	
Aprašas:	01 BMS gedimų šalinimas, kiti darbai reikalingi normaliam BMS darbui garantuoti ir vykdomi taikant valandinius įkainius arba pagal atskirai suderintą sąmatą
BMS Pastato valdymo sistemos priežiūra	
BMS_Energijos vartojimo efektyvumo patikrinimas - Mėnesio	
Aprašas:	01 Patikrinti šildymo, elektros ir vandens suvartojimą, palyginti su tiksliniu suvartojimu. Užduotis - nustatyti tikslinį mėnesio energijos ir kitų išteklių vartojimą pastate.
	02 Galimų nuokrypių atveju koregavimo veiksmų nustatymas ir rezultatų pranešimas.
	03 Atlikti reikiamus nustatymų reikšmių pakeitimus ir stebėti sistemų veikimą.
	04 Pranešimas / informavimas apie bet kokius defektus.
BMS Pastato valdymo sistemos priežiūra	

23 pav. Užduočių sąrašo vaizdas *Granlund Manager* programoje.

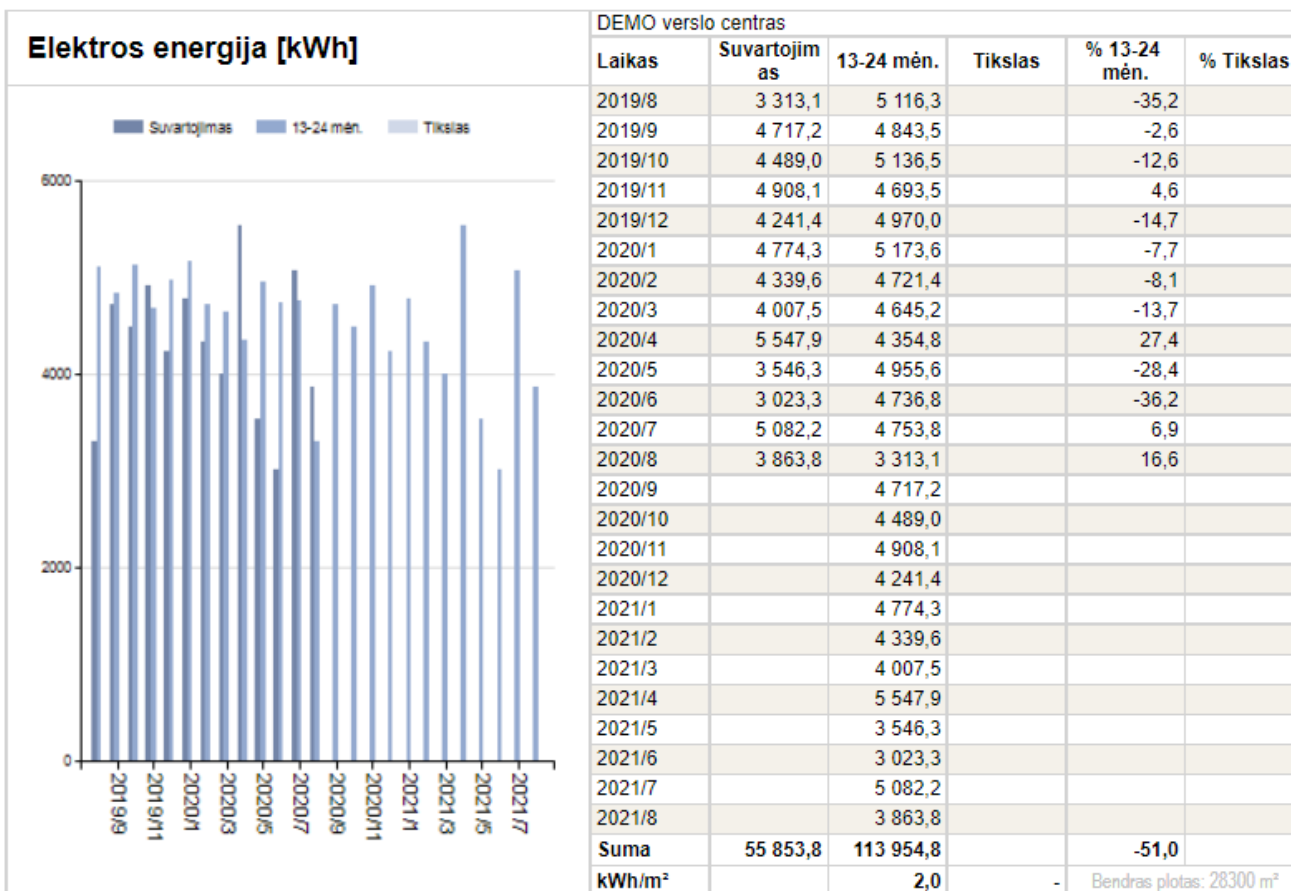
***Granlund Manager* energijos vartojimo stebėsenos modulio funkcionalumo įvertinimas**

Minėtoje programoje energijos vartojimo stebėjimui ir analizavimui skiriama daug dėmesio. Kaip matome 23 paveiksle, galima rūšiuoti renkantis tam tikrus suvartojimo kriterijus, pvz., elektros energija. Kitas analizavimui skirtas lentelės galima matyti 26, 27, 28 paveiksluose.

Lentelės ir diagramos leidžia išsirinkti tam tikrus skaitiklius arba visus vieno aukšto skaitiklius norint daryti aukštų palyginimą.

Pasirinkta ataskaita

Objektas: DEMO verslo centras



Raudona – nepakankamas suvartojimas (trūksta skaitiklio rodmenų (-ų) ir (arba) dienolaipsnio verčių)

24 pav. Pasirinkta elektros energijos ataskaita

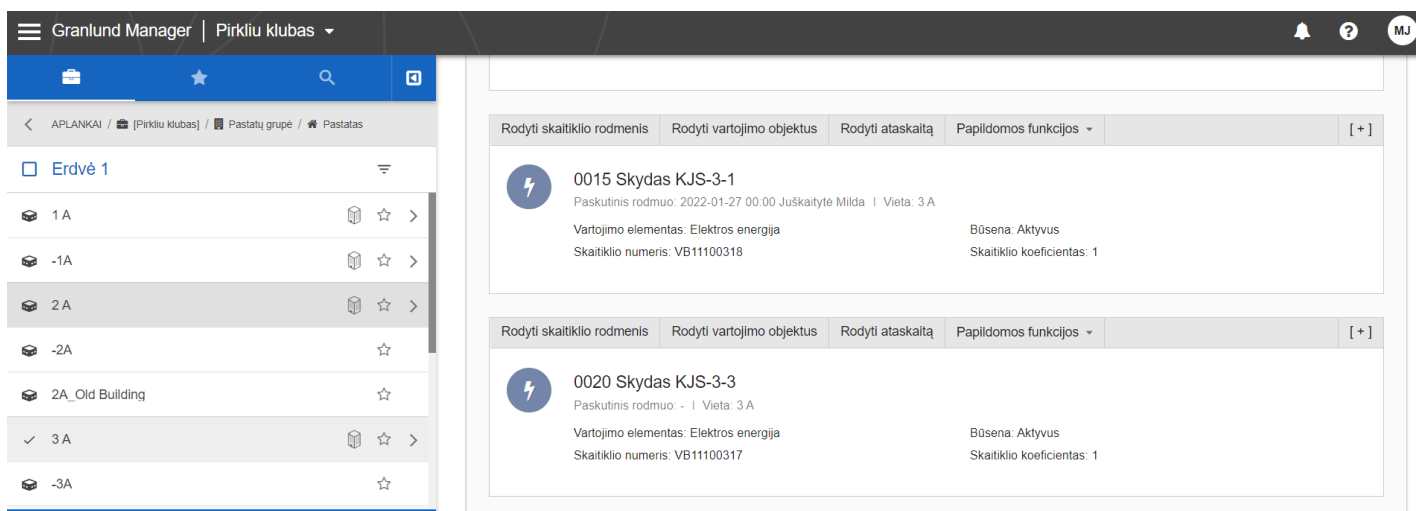
Tyrimo metu įvertinamas energijos vartojimo stebėsenos modulio funkcionalumas, suvedant visų pastate esančių energijos ir vandens išteklių apskaitų duomenis.

Norint sukurti skaitmeninę dvynį, reikia į modelį, esantį *Granlund Manager* programoje, importuoti duomenis iš esamų BMS sistemų. Tai galima padaryti dviem būdais. Pirmasis – duomenis importuoti tiesiogiai nuskaitant iš valdymo taško, antrasis būdas – rankiniu būdu, turint išeksportuotus duomenis į kokį nors tinkamą formatą, kurį galima atsidaryti *Microsoft excel* ar *Microsoft word* programomis. Šio tiriamojo darbo atveju duomenys suvedami antruoju atveju, todėl kad nepavyko tiesiogiai importuoti duomenų iš BMS duomenų bazės. Pirmiausia duomenys turi būti paruošti kėlimui į programą, t. y. kiekiai lentelėje vaizduojami tvarkingai kaip 25 paveiksle.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		Nuomininkų tiesiogio sunaudojimo elektra										
2	Skaitiklio [Nr]:	VB11100319	VB11100336	VB11100304	VB11100301	VB11100361	VB11100316	VB11100326	VB11100399	VB11100303	VB11100306	VB11100339
3	Skaitiklio vieta:	Gedimino 35. Sena dalis. 4	Gedimino 35. Sena dalis. 4	Gedimino 35. Sena dalis. 3	Gedimino 35. Sena dalis. 3	Gedimino 35. Sena dalis. 2	Gedimino 35. Sena dalis. 2	Gedimino 35. Sena dalis. 2	Gedimino 35. Nauja dalis. 2	Gedimino 35. Sena dalis. 1	Gedimino 35. Nauja dalis. 5	Gedimino 35. Nauja dalis. 5
4	Skaitiklio pavadinimas:	Skydas KJS-5-2 mansarda	Skydas AJS-5-2 mansarda	Skydas KJS-3-2	Skydas AJS-3-2	Azerbaidžano ambasada. Skydas AJS-2-2	Skydas AJS-2-2 (Dalis Beribis grožis)	Azerbaidžano ambasada. Skydas KJS-2-2	Azerbaidžano ambasada(W C ir koridorius).	Nacionalinis aukso bankas NS-5-1	Skydas KJS-5 (jėga)	Skydas AJS-5 (apšvietimas)
5	Aptarnaujamos patalpos:											
6	Skaitiklio tipas	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA	ELEKTRA
13	2013-01-30	0	87	59	769	1072	92	182	0	439	1040	1910
14	2013-02-27	0	58	83	451	936	111	167	0	373	882	1742
15	2013-03-30	0	65	96	559	701	77	164	0	383	991	1708
16	2013-04-30	0	66	94	685	930	141	149	0	375	998	1644
17	2013-05-30	1	49	106	457	619	34	138	10	416	1017	1717
18	2013-06-30	0	44	115	1058	519	20	107	312	424	774	1658
19	2013-07-27	0	40	116	435	544	24	129	677	472	842	1901
20	2013-08-27	0	31	86	150	547	19	107	455	397	702	1758
21	2013-09-27	0	42	150	653	477	23	167	572	430	771	1931
22	2013-10-27	0	54	131	652	642	82	179	666	449	840	2195
23	2013-11-27	1	88	155	1469	668	98	210	842	391	808	2109

25 pav. Pastato valdymo sistemos automatinės apskaitos duomenų išvesties *MS Excel* lentelėje

Šioje lentelėje svarbiausia informacija be kiekių yra, skaitiklio pavadinimas, skaitiklio numeris, jo vieta pastate, data. Ši lentelė yra bendra su visais keliamais duomenimis. Tačiau norint įkelti mechanškai duomenis, reikia sukurti individualias *Ms Excel* lenteles. Kiekviena lentelė yra importuojama individualiai kiekvienam skaitikliui. Kai duomenys paruošti kėlimui, prisijungiama į paskyrą ir ten kiekvienam aukštui yra priskiriamas kiekvienas elektros skaitiklis esantis tame aukšte (žr. 26 pav.).



26 pav. Priskirti skaitikliai prie tinkamų aukštų *Granlund Manager* programoje

Atskirų skaitiklių duomenys į programą vedami greitai ir paprastai, svarbiausia turėti pasiruošus tinkamas lenteles *Ms Excel* faile.

Yra paprasta kelti skaitiklių duomenis, kurie priklauso vienai sistemai ir vienam aukštui, šiek tiek sudėtingiau yra su elektros kiekiais, kurie dalinasi ne į aukštus, o į sistemas, skirtas vėdinimui, šildymui, šaldymui, liftams, fasadų apšvietimui.

Suvedus skaitiklių duomenis į *Granlund Manager* PĮ galima pradėti automatiškai formuoti pagal poreikį energijos vartojimo ataskaitas. Ataskaitas galima matyti pagal pasirinktus kriterijus, tokius kaip šildymas, elektros energija, vanduo, DH vanduo, buitinis karštas vanduo, vėsinimas. Pasirenkama ir laiko tarpas, kurį atspindės esami duomenys ir taip suformuojama konkreti ataskaita norimo įrenginio, šiuo atveju elektros skaitiklio. Patogesniam skaitiklių pasirinkimui ir ieškojimui, jie yra priskiriami vienam aukštui, kurį ir aptarnauja. Pasirenkant norimą skaitiklį reikia išskleisti modelio medį ir pasirinkti tinkamą aukštą.

Ataskaitoje atsispindi arba energijos suvartojimas, arba skaitiklio rodmenys. Taip pat galima pasirinkti kokių intervalu galima matyti duomenis, t. y. mėnesio arba valandiniu intervalu. Įvedus kainą už suvartojimą, ji irgi atsispindi ataskaitoje, aprašoma ataskaita pavaizduota 27, 28, 29 paveiksluose.

Konkretus objektas elektros energija ataskaita Sausis 2021



Sausis							Sausis - Sausis						
Vartojimo objektas	Tikslas naudojimo	Bendras plot	Suvartojimas kWh			Skirt., %		Suvartojimas kWh			Skirt., %		Paskutinis mėn kWh
			2021	2020	2019	2020	2019	2021	2020	2019	2020	2019	
1 A			4 080,8	8 433,1	7 709,5	-51,6	-47,1	4 080,8	8 433,1	7 709,5	-51,6	-47,1	
Objektų iš viso:													

27 pav. Konkretaus objekto elektros energijos ataskaita

27 paveiksle atvaizduota 2021 metų sausio mėnesio ataskaita apimanti pirmo aukšte esančius visus elektros energijos skaitiklius. Suformavus tokias ataskaitas galima lyginti atskirai aukštų suvartojimą, tą patį mėnesį, taip pat galima lyginti tą patį aukštą skirtingais metais arba mėnesiais.

28 paveiksle turime stulpelinę diagramą, kurioje yra pavaizduoti duomenys iš viso sukaupto laikotarpio. Pasirinktas laikotarpis 10 metų, nuo 2012 iki 2022 metų, tai ir atsispindi diagramoje. 2012 metų duomenys nėra įvesti, tačiau programa leidžia nustatyti norimą matyti laikotarpį. Geltonas skaičius stulpelio viršuje rodo buvusį didžiausią suvartojimą, žalias – mažiausią.

Stulpelinėje diagramoje matomas palyginimas šių metų, mėlynas stulpelis, su buvusiais, rusvas stulpelis diagramoje. Renkantis ataskaitą stulpelinėje diagramoje galima pasirinkti vieną skaitiklį arba kelis norimus. Tiriamajame darbe, šioje ataskaitoje pavaizduoti yra dviejų skaitiklių suvartojimo duomenys. Jie abu priklauso tai pačiai patalpai, vitrinai, bet jei ir nepriklausytų, taip galima išsifiltruoti skaitiklius norimomis pamatyti suvartojimą zonomis.

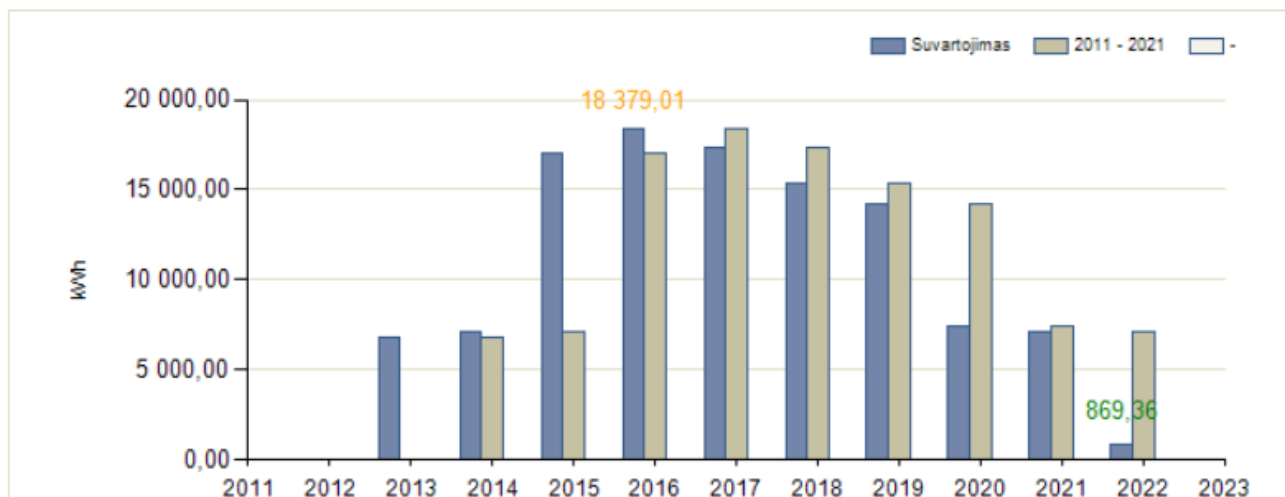
29 paveiksle duomenys vaizduojami analogiškai 28 paveikslo duomenims, tik jau nebe stulpelinėje diagramoje, bet lentelės forma. Lentelėje matomi metai, suvartojimas, suvartojimo palyginimas su

praėjusiais metais ir skirtumas, kaip pasikeitė suvartojimas per metus. Minuso ženklas reiškia kritimą, pliuso – suvartojimo didėjimą. Geltonai pažymėtas skaitmuo rodo didžiausią suvartojimą, o raudonai – pradžią ir pabaigą. Pastebėjimas dėl 2022 metų: kadangi praėjo tik pusė metų, tai lentelės duomenys 2022 metais yra ne pilni.

Elektros energija ataskaita 2012 - 2022

Objektas: 1 A

Skaitiklis: 0022 Vitrina 1, NS-1-S, 0023 Vitrina 2-3, NS-1-1



28 pav. Elektros ennergijos suvartojimo ataskaita

Laikas	Suvartojimas [kWh]	2011 - 2021 [kWh]	-	Skirtumas [%]
2012				0,00%
2013	6 832,23			0,00%
2014	7 124,26	6 832,23		4,27%
2015	17 005,72	7 124,26		138,70%
2016	18 379,01	17 005,72		8,08%
2017	17 317,30	18 379,01		-5,78%
2018	15 344,51	17 317,30		-11,39%
2019	14 200,20	15 344,51		-7,46%
2020	7 392,85	14 200,20		-47,94%
2021	7 099,92	7 392,85		-3,96%
2022	869,36	7 099,92		-87,76%
Suma	111 565,36	110 696,00		0,79%

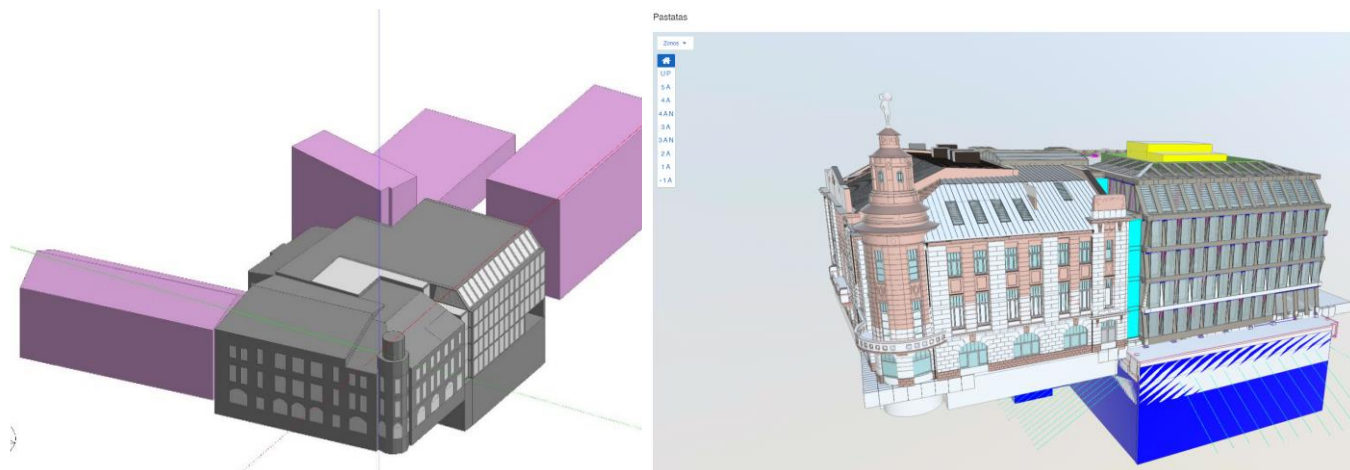
Paskirstymas 2012 - 2022

Diena (7:00–22:00)	69 728,35 kWh	62,50 %	Maksimali vertė	18 379,01 kWh	Suvartojimo duomenys pažymėti oranžine spalva
Naktis (22:00–7:00)	41 837,01 kWh	37,50 %	Minimali vertė	869,36 kWh	Suvartojimo duomenys pažymėti žalia spalva
			Vidutinis	11 156,54 kWh	
			Reaktyvioji galia	0,00 kvar	

29 pav. Elektros energijos suvartojimo ataskaita

3.11. *Granlund Manager* energijos vartojimo stebėsenos modulio duomenų sąsaja su pastato dinaminio energinio modelio rezultatais

Nepaisant techninių kliūčių integruojant pastato valdymo sistemos ir automatizuotos energijos išteklių apskaitos sistemos fiksuojamus duomenis su kompiuterizuota turto valdymo ir priežiūros programine įranga, baigiamojo darbo metu pavyko susieti pastato dinaminio energinio modelio rezultatus su *Granlund Manager* energijos moduliu.



30 pav. Tiriomojo pastato: a) dinaminis energinis modelis *DesignBuilder* aplinkoje;
b) skaitmeninis dvynys *Granlund Manager* aplinkoje

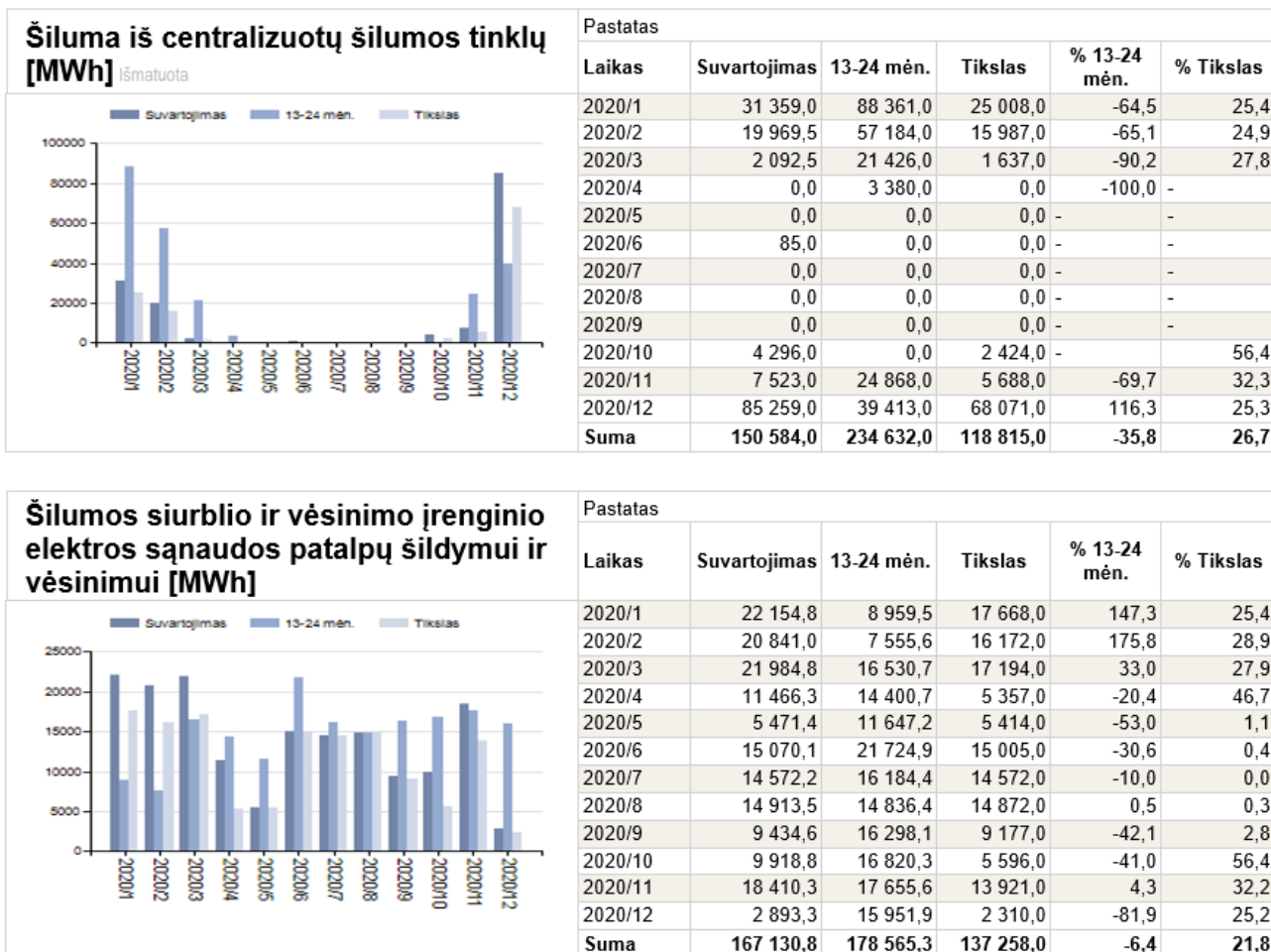
Magistrantas Titas Maželis baigiamajame darbe sukūrė tiriomojo pastato dinaminį energinį modelį *DesignBuilder* programoje. Tiriomojo pastato dinaminis energinis modelis leido nustatyti šildymo, vėdinimo ir oro vėsinimo sistemų valdymo strategijas, kurioms esant užtikrinami komfortiniai darbo patalpų mikroklimato parametrai bei sutaupoma energija. Tyrimo metu Titas Maželis įvertinęs skirtingų valdymo strategijų įtaką pastato energijos poreikiams nustatė, kad nemažinant komforto sąlygų, palyginus su esamu tiriomojo objekto valdymo režimu, galima sutaupyti 26 % metinių šilumos ir 7 % metinių vėsos poreikių.

Granlund Manager programinėje įrangoje integravus energijos išteklių skaitiklių duomenis.

Remiantis Tito Maželio baigiamojo darbo rezultatais, tyrimo metu į *Granlund Manager* pavyko ne tik integruoti tiriomojo pastato faktines energijos sąnaudas nuo 2012 m. 07 mėn. iki 2022 m. 04 mėn., bet ir nurodyti tikslines energijos sąnaudų vertes, kurias galima pasiekti pritaikius optimalią šildymo, vėdinimo ir oro vėsinimo sistemų valdymo strategiją. *Granlund Manager* programinė įranga automatiškai sugeneruoja energijos duomenų išvestį pasirinktam laikotarpiui, kuri leidžia stebėti energijos sąnaudų pokyčius ir laiku priimti atitinkamus sprendimus.

Pasirinkta ataskaita

Objektas: Pastatas



31 pav. 2020 metų laikotarpio tiriamojo pastato faktinių, istorinių ir tikslinių energijos sąnaudų palyginamosios analizės ataskaita *Granlund Manager* aplinkoje

Apibendrinant galima teigti, kad pastato dinaminio energinio modelio rezultatų sąsaja su *Granlund Manager* programine įranga leidžia atlikti energijos vartojimo stebėseną ir palyginimą, laiku identifikuoti energijos vartojimo pokyčius ir didinti pastato energinį efektyvumą, taikant pasyvias ir aktyvias energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemones (keisti esamus pastato valdymo sistemos nustatymus, taikyti optimalias šildymo, vėdinimo ir oro vėsinimo sistemų valdymo strategijas ir kita).

3.12. *Granlund Manager* funkcionalumo įvertinimas

3 lentelė. Autorės pastebėti privalumai, trūkumai ir rekomendacijos

<i>Granlund Manager</i> moduliai	Privalumai	Trūkumai	Autorės rekomendacijos
Turto informacijos modelio kūrimas	Platus įkelto architektūrinio modelio panaudojimas.	Modelio paruošimas įkėlimui, reikalauja nestandartinių sprendimų, skirtingų programų ir laiko.	Gavus modelį kėlimui, reikia trumpo aprašymo kaip modelis buvo sukurtas ir eksportuotas, vadovaujantis teiktais kriterijais.
Incidentų (avarijų, gedimų) valdymas	Incidentų registravimas programoje greitas ir nesunkus.	Registruojant incidentus reikalinga paskyra <i>Granlund Manager</i> programoje.	PĮ daryti atviresnę, prieinamesnę visuomenei arba QR kodus, kuriuos nuskenavus, galima pranešti apie problemą, palikti atvirojoje, prieinamoje vietoje.
Nuolatinė pastato priežiūra	Aiškus užduočių sąrašas, grafikas, paprastas naudojimas, vizualus pateikimas.		
Energijos vartojimo stebėseną	Turint BMS duomenis, galima atlikti išsamią analizę.	Programa nepriima visų versijų formatų duomenų, formuojant ataskaitas reikalingi mokymai	Trūkstamus duomenis galima įvesti rankomis arba senus duomenis atnaujinti su IT specialisto pagalba.

IŠVADOS

Tiriamąo darbo pradžioje nusistačius ir išsikėlus baigiamojo darbo tikslus, pasirinkus *Granlund Manager* programinę įrangą atliktas tiriamasis darbas, kuriant skaitmeninį dvynį ir analizuojant pasirinktą programą.

Darbo pradžioje atlikta literatūros šaltinių apžvalga apie skaitmeninio dvynio kūrimą, panaudojimą, galimas skaitmeninio dvynio naudojimo galimybes. Antroje literatūros šaltinių analizės dalyje apžvelgtas skaitmeninio dvynio kūrimo procesas statinio eksploatacijoje. Remiantis literatūros šaltiniais nustatyta, kad skaitmeninio dvynio naudojimo galimybės yra didelės, nuo projektavimo ir simuliacijų konkrečiam gaminiui iki energinės analizės esamam statiniui, skaičiuojant energijos poreikį ir pateikiant galimus efektyvaus naudojimo sprendinius, atskleidžiant problemines vietas statinyje.

Tiriamajame darbe sukurtas skaitmeninis dvynys *Granlund Manager* programoje statinio eksploatacijos stadijoje, kai turimas tik architektūrinis modelis. Šio skaitmeninio dvynio kūrimo principas nėra sudėtingas, tačiau architektūrinio modelio ir duomenų paruošimas įkėlimui į pasirinktą programinę įrangą reikia turėti kompiuterinių įgūdžių ir žinių. Tyrimo metu nustatyta, kad pasirinkta kompiuterinė programa skirta statinio eksploatacijos stadijai nuskaito pakeistas erdves su *Space2Proxy.exe* programa ir jas susieja su pasirinktais pastato aukštais. Nustatyta kad, svarbu susieti patalpas modelyje, nes vėliau norint įvesti informaciją į kuriamą skaitmeninį dvynį, reikia pasirinkti patalpą, pakeistą su minėta programa, kuriai reikalinga aktuali informacija, kitu atveju informacijos įvesti negalima.

Tyrimo metu nustatyta, kad siekiant atlikti energinę analizę ir optimizavimą skaitmeniniame dvynyje pastato eksploatacijos stadijoje, reikalingos tiesioginės sąsajos tarp pastato valdymo sistemos ir automatinės energijos bei vandens apskaitos sistemų. Pastato jutiklių, energijos ir vandens išteklių skaitiklių duomenys gali būti tiesiogiai nuskaitomi iš pastato valdymo sistemos. Šiuo atveju pastato valdytojas turi galimybę realiu laiku stebėti energinį efektyvumą, palaikomus šiluminio komforto ir oro kokybės parametrus. Pastato faktinių energijos sąnaudų istorinius duomenis galima įvesti į *Granlund Manager* ir mechaniniu būdu, siekiant atlikti energinę analizę iš turimų istorinių duomenų. Šiame tiriamajame darbe duomenys suvesti mechaniniu būdu, nes tyrimo eigoje nustatyta, kad pastato valdymo sistemos programinė įranga yra techniškai pasenusi ir nebegaliojanti gamintojo suteikta licencija ir nėra jokio techninio jos palaikymo. Į *Granlund Manager* programą suvesti elektros ir šilumos skaitiklių duomenys nuo 2013 metų iki 2022 metų, kurie leido atlikti pastato energinę analizę šiuo tiriamuoju laikotarpiu.

Atliekant energinio efektyvumo ir optimizavimo skaičiavimus *Granlund Manager* programoje galima grafiškai matyti vieno skaitiklio suvartojimą arba pasirinktinai visų norimų. Programa leidžia energijos sąnaudas atvaizduoti pagal aukštus, pastato korpusus. *Granlund Manager* siūlo lyginti esamo mėnesio energijos vartojimo pokytį. Tyrimasis pastatas suskirstytas į zonas, kuriose stebimas energijos

vartojimas, žinomi esami nuomininkai, įrenginiai vartojantys energiją, todėl programa leidžia identifikuoti kur esamas didžiausias energijos suvartojimas ir nustatyti jo priežastis. Identifikavus problemas, atliekamas optimizavimas, teikiami energinio efektyvumo didinimo pasiūlymai.

Tiriamajame darbe aprašomos naudotos programos *Autodesk Revit*, *SketchUp*, *SimpleBim9*, *Granlund Manager* ir vykę duomenų mainai tarp jų. Visos jos yra skirtingų gamintojų, tačiau panaudojus IFC formatą, pavyko pasiekti tiriamojo darbo tikslą. Tyrimo eigoje nustatyta, kad IFC failas turi būti eksportuotas IFC2x3 formatu. IFC formate modelio elementai ir erdvės turi turėti vietą, kurią galima matyti išskirtą atskira eilute, peržiūrint turimą failą. Šiame tiriamajame darbe patogiausia programa ruošiant modelį įkėlimui buvo *SimpleBim*, kuri yra pritaikyta darbui su IFC failais ir turi tam tikrų paruoštų šablonų, kurie palengvina modelio kėlimo darbą.

Taip pat šiame tiriamajame darbe integruoti pastatų energetikos katedros magistranto Tito Maželio – gauti prognoziniai metiniai energijos poreikiai, taikant dinaminio energinio modeliavimo priemonę *DesignBuilder*. Tiriamojo pastato dinaminis energinis modelis leido pasiekti tikslinį, efektyvesnį energijos vartojimą, pritaikius optimalią šildymo, vėdinimo ir oro vėsinimo sistemų valdymo strategiją. Įvedus šiuos tikslinius energijos vartojimo duomenis į *Granlund Manager* programą, galima tiesiogiai stebėti kiekvieno mėnesio energijos sąnaudų pokyčius, kurie identifikuoja savalaikį taikomų energijos vartojimo mažinimo priemonių efektyvumą.

Baigiamojo darbo metu yra pateiktos *Granlund Manager* programos taikymo gairės statinio eksploatavimo stadijoje, kuriose autorė rekomenduoja:

- siekiant teisingai paruošti modelį įkėlimui reikia turėti aiškų tikslą, dėl ko visa tai yra daroma. Išsiginčius modelio kūrimo tikslus, galima ruošti modelį įkėlimui į pasirinktą kompiuterizuotą turto priežiūros ir valdymo programą. Į programą keliami tik aktuali informacija, pvz., jei norima atlikti tik energinę analizę, keliamas tik architektūrinis modelis su patalpomis. Jei norima vykdyti pastato inžinerinių sistemų priežiūrą, reikia atskirai paruošti technologinius įrenginius IFC formate;
- siekiant savalaikės, nuolatinės ir efektyvios esamų pastatų eksploatacijos, turto informacijos modeliai turi apimti incidentų fiksavimą, energijos vartojimo stebėseną realiu laiku, formuoti automatines ataskaitas, kurios leistų priimti efektyvias energijos taupymo priemones;
- siekiant efektyviai pritaikyti turto priežiūros ir valdymo programinę įrangą esamame pastate, reiktų rinktis atviros prieigos, draugišką vartotojui programą, kuri taip pat, leistų panaudoti QR technologijas incidentų fiksavimui, inžinerinių sistemų įrangos identifikavimui;
- siekiant atlikti pastato energijos vartojimo efektyvumo analizę turto priežiūros ir valdymo programoje, reikia turėti faktinių energijos sąnaudų, nustatytų ir realiai palaikomų

mikroklimato parametrų (oro temperatūros, santykinės drėgmės, CO₂ koncentracijų) istorinius duomenis;

- siekiant atlikti pastato inžinerinių sistemų veikimo ir valdymo optimizavimą, siūloma taikyti tiesioginę integraciją su pastato valdymo sistema, susiejant turto priežiūros ir valdymo programos stebėsenos modulį su inžinerinės įrangos valdikliais ir jutikliais;
- siekiant racionaliai parinkti pastato energijos vartojimą mažinančias priemones, siūloma taikyti dinaminio energinio modeliavimo programos pateikiamus prognozes energijos poreikio rezultatus, kurie turto priežiūros ir valdymo programoje būtų įvesti kaip tiksliniai ir siektini energinio efektyvumo rodikliai.

LITERATŪROS IR KITŲ INFORMACIJOS ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

Agouzoul, A., Tabaa, M., Chegari, B., Simeu, E., Dandache, A., & Alami, K. (2021). Towards a Digital Twin model for Building Energy Management: Case of Morocco. *Procedia Computer Science*, 184, 404–410. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.051>

Bakhtadze, N., Pavlov, B., Pyatetsky, V., & Suleykin, A. (2019). Digital Energy Ecosystems. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.088>

BIM-LT projektas | Statyba 4.0. (n.d.). Statyba40.Lt. Retrieved May 29, 2022, from <https://statyba40.lt/titulinis/bim-lt-projektas/>

Chiachío, M., Megía, M., Chiachío, J., Fernandez, J., & Jalón, M. L. (2022). Structural digital twin framework: Formulation and technology integration. *Automation in Construction*, 140, 104333. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104333>

D1-738 Dėl statybos techninio reglamento STR1.04.04:2017 „Statinio projektavimas, projekto ekspertizė“ p... (n.d.). E-Seimas.lrs.lt. Retrieved May 29, 2022, from <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/25ec49c2a58311e68987e8320e9a5185>

Eldeep, Ahmed. M., Farag, Moataz. A. M., & Abd El-hafez, L. M. (2021). Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.009>

Grigaliūnas, E. (n.d.). Revit. InfoEra. Retrieved May 16, 2022, from <https://www.infoera.lt/produktai/autodesk/revit/>

Gudavičius D., Jasevičius L., Pupeikis D., Ramanauskas R. (2022) *BIM vadovas*. Vilnius. Balto Print

Guillen, A. J., Crespo, A., Gómez, J., González-Prida, V., Kobbacy, K., & Shariff, S. (2016). Building Information Modeling as Assest Management Tool. *IFAC-PapersOnLine*, 49(28), 191–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.033>

Hawas, A., Al-Habaibeh, A., & Medjdoub, B. (2017). Innovative Design of an Educational Physical Simulation Tool for Investigating Energy Consumption in Buildings for Enhancing Public Engagement. *Energy Procedia*, 105, 2615–2622. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.753>

Imran, Iqbal, N., & Kim, D. H. (2021). IoT Task Management Mechanism Based on Predictive Optimization for Efficient Energy Consumption in Smart Residential Buildings. *Energy and Buildings*, 111762. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111762>

Jiang, F., Ma, L., Broyd, T., & Chen, K. (2021). Digital twin and its implementations in the civil engineering sector. *Automation in Construction*, 130, 103838. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103838>

Long, N., Fleming, K., CaraDonna, C., & Mosiman, C. (2021). BuildingSync: A schema for commercial building energy audit data exchange. *Developments in the Built Environment*, 7, 100054. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100054>

Malinauskaite, J., Jouhara, H., Egilegor, B., Al-Mansour, F., Ahmad, L., & Pusnik, M. (2020). Energy efficiency in the industrial sector in the EU, Slovenia, and Spain. *Energy*, 208, 118398. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118398>

Matarneh, S. T., Danso-Amoako, M., Al-Bizri, S., Gaterell, M., & Matarneh, R. (2019). Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions. *Journal of Building Engineering*, 24, 100755. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100755>

Pereira, J. G., & Ellman, A. (2020). From CAD to Physics-based Digital Twin: Framework for Real-Time Simulation of Virtual Prototypes. *Proceedings of the Design Society: DESIGN Conference*, 1, 335–344. <https://doi.org/10.1017/dsd.2020.47>

SCADA sistemų techninės ir programinės įrangos pagrindai, kuriuos turėtumėte žinoti. (n.d.). *Crushtymks.com*. Retrieved May 15, 2022, from <https://crushtymks.com/lt/industrial-automation/1077-the-basics-of-hardware-and-software-for-scada-systems-you-should-know-about.html>

Shamsi, M. H., Ali, U., Mangina, E., & O'Donnell, J. (2021). Feature assessment frameworks to evaluate reduced-order grey-box building energy models. *Applied Energy*, 298, 117174. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117174>

Simplebim - IFC informacijos valdymas ir filtravimas BIM statybai. (n.d.). *Intelligent BIM Solutions*. Retrieved May 16, 2022, from <https://ibimsolutions.lt/bim-programa/simplebim/>

Skaitmeninė statyba» projektas. (n.d.). Retrieved May 29, 2022, from <https://skaitmeninestatyba.lt/projektai/>

Skaitmeninio dvynio koncepcija ir pritaikymo potencialas gamybinėse įmonėse. (2021, June 16). *Energy Advice*. <https://www.energyadvice.lt/skaitmeninio-dvynio-koncepcija-ir-pritaikymo-potencialas-gamybine-se-imonese/>

Sleiti, A. K., Kapat, J. S., & Vesely, L. (2022). Digital twin in energy industry: Proposed robust digital twin for power plant and other complex capital-intensive large engineering systems. *Energy Reports*, 8, 3704–3726. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.305>

Solman, H., Kirkegaard, J. K., Smits, M., Van Vliet, B., & Bush, S. (2022). Digital twinning as an act of governance in the wind energy sector. *Environmental Science & Policy*, 127, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.027>

Sonta, A., Dougherty, T. R., & Jain, R. K. (2021). Data-driven optimization of building layouts for energy efficiency. *Energy and Buildings*, 238, 110815. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110815>

Sumani ir paprasta pastatų priežiūra. (n.d.). *Granlund Manager*. Retrieved May 16, 2022, from <https://www.granlundmanager.com/lt/>

Teng, S. Y., Touš, M., Leong, W. D., How, B. S., Lam, H. L., & Máša, V. (2021). Recent advances on industrial data-driven energy savings: Digital twins and infrastructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110208. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110208>

Vaičiulytė, E. (2021). Building Informatios Model (BIM) use Analysis in Facilities Management. *Mokslas - Lietuvos Ateitis*, 13(0), 1–10. <https://doi.org/10.3846/mla.2021.13719>

Wang, J., Zhang, L., Lin, K.-Y., Feng, L., & Zhang, K. (2022). A digital twin modeling approach for smart manufacturing combined with the UNISON framework. *Computers & Industrial Engineering*, 108262. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108262>

Yu, W., Patros, P., Young, B., Klinac, E., & Walmsley, T. G. (2022). Energy digital twin technology for industrial energy management: Classification, challenges and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112407. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407>

Yu, W., Patros, P., Young, B., Klinac, E., & Walmsley, T. G. (2022). Energy digital twin technology for industrial energy management: Classification, challenges and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112407. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112407>