



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

Karolina Čepulytė

**IŠMANIŲJŲ TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS STATYBOS PROCESO
VALDYMUI**

**USE OF SMART TECHNOLOGIES FOR BUILDING PROCESS
MANAGEMENT**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2019

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

TVIRTINU
Katedros vedėjas

VGTLSE Statybos
valdymo ir nekilnojamojo
turto katedros vedėjas
prof. habil. dr. A. Kaklauskas
(Vardas, pavardė)

2019-06-04
(Data)

Karolina Čepulytė

IŠMANIŲJŲ TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS STATYBOS PROCESO
VALDYMUI

USE OF SMART TECHNOLOGIES FOR BUILDING PROCESS
MANAGEMENT

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Jolanta Muktienė 2019-06-09
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

doc. dr. Lina Gutkūnė 2019-05-31
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2019

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

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Statybos technologijų ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 6211EX043

Statybos technologijų ir vadybos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas


VGTU Statybos
valdymo ir nekilnojamojo
turto katedros vedėjas
prof. habil. dr. A. Kaklauskas
(Vardas, pavardė)

2019-06-04

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2017-10-11 Nr. 9

Vilnius

Studentei Karolina Čepulytei

Baigiamojo darbo tema: Išmaniųjų technologijų taikymas statybos proceso valdymui

patvirtinta 2019 m. kovo 12 d. dekanų potvarkiu Nr. 1054

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2019 m. gegužės 30 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

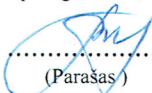
Apibūdinti dešimties 12 užduoties patalų mokslinių literatūroje nagrinėjamas naujausių statybos technologijų tendencijas. Apžvelgti naujausių technologijų darinius rodiklius. Pustalyti naujausių išmaniųjų technologijų naudojimo statybos proceso darinėjimas. Daugiau žinoti apie naujų technologijų derinimo alternatyvas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
.....

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

Vadovas


(Parašas)

doc. dr. Tatjana Vlasova
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau


(Parašas)

Karolina Čepulyte
(Vardas, pavardė)

2017-10-11
(Data)

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Karolina Čepulytė, 20132510

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-17

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

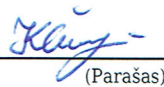
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2019 m. gegužės 30 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Išmaniųjų technologijų taikymas statybos proceso valdymui“ patvirtintas 2019 m. kovo 12 d. dekanų potvarkiu Nr. 105st, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas docentas daktaras Tatjana Vilutienė.

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


(Parašas)

Karolina Čepulytė
(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Statybos fakultetas Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra	ISBN Egz. sk. Data-.....-.....
Antrosios pakopos studijų Statybos technologijų ir valdymo programos magistro baigiamasis darbas	
Pavadinimas	Išmaniųjų technologijų taikymas statybos proceso valdymui
Autorius	Karolina Čepulytė
Vadovas	Tatjana Vilutienė
Kalba: lietuvių	
Anotacija Baigiamojo magistro darbo tikslas yra nustatyti išmaniųjų technologijų naudą statybos procesui. Darbą sudaro trys pagrindinės dalys. Pirmojoje – literatūros šaltinių analizės dalyje surinkta informacija apie išmaniųjų technologijų taikymą skirtinguose statybos projekto įgyvendinimo etapuose. Antrojoje – metodinėje dalyje pateikiamas magistro darbo tyrimo modelis, apžvelgiami daugiakriteriai metodai, parenkami vertinimo rodikliai. Trečiojoje – tiriamojoje darbo dalyje atliekamas tyrimas apie išmaniųjų technologijų naudą, panaudojimo ir suderinamumo galimybes statybos projekto įgyvendinimui. Į trijų skirtingų veiklų grupes suskirstytos išmaniosios technologijos lyginamos pagal nustatytus rodiklius. Viską apibendrinus pateikiamos darbo išvados. Darbo pabaigoje pateikiamas literatūros sąrašas ir priedai. Darbo apimtis – 70 p. teksto, 21 paveikslėlis, 36 lentelės. Atskirai pridedami priedai.	
Prasminiai žodžiai: Išmaniosios technologijos, nauda, suderinamumas, daugiakriteriai metodai, statybos proceso valdymas, QR kodai, dronai, 3D spausdintuvai, BIM, išmanieji šalmai	

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

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

Master Degree Studies **Construction Technologies and Management** study programme Master's thesis

Title	Use of Smart Technologies for Building Process Management
-------	---

Author	Karolina Čepulytė
--------	-------------------

Academic supervisor	Tatjana Vilutienė
---------------------	--------------------------

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The main goal of master's thesis is to identify the benefits of smart technologies for the construction process. Master's thesis consists of three main parts. In the first part the information of smart technologies for construction project implementation stages was collected. The second part of master's thesis presents the research model, reviews the multicriteria methods, and selects the evaluation indicators. The third part of the thesis includes the research on the benefits of smart technologies, their usage and compatibility possibilities under the implementation of construction project. Smart technologies are divided into three different groups of activities are compared against the set indicators. Generalized results are presented as conclusions. The references and appendixes are included in the end of the thesis.

Thesis consists of 70 pages of text, 21 illustrations, 36 tables. Appendixes are attached separately.

Keywords: Smart technologies, benefits, compability, multicriteria methods, building process management, QR codes, drones, 3D printers, BIM, smart helmets

TURINYS

IVADAS.....	11
1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA.....	13
1.1. 3D pastatų spausdinimas.....	13
1.2. Pastatų ir statybinių dalių 3D spausdinimas	14
1.3. Robotų naudojimas statyboje	14
1.4. Robotų darbuotojų sistema.....	15
1.5. Statybos darbams taikomosios programėlės	15
1.6. Dronų naudojimas statybų valdymui.....	16
1.7. QR kodai statyboje	17
1.8. Didelės raiškos automatinės kameros.....	18
1.9. Lazeriniai skeneriai.....	19
1.10. Intervalinės nuotraukos ir vaizdo įrašai	19
1.11. Statyboms skirti išmanieji telefonai	20
1.12. Statyboms skirta išmanioji apranga.....	21
1.13. Statyboms skirti išmanieji akiniai	21
1.14. Statyboms skirti išmanieji šalmai.....	22
1.15. Daiktų žymėjimas radijo dažnių atpažinimo sistemomis	23
1.16. Statyboms skirti egzoskeletai	24
1.17. Statyboms skirti robotai – MULE ir SAM.....	24
1.18. Autonominis armatūros ryšimo robotas.....	25
1.19. Autonominis vikšrinis krautuvai.....	26
1.20. Gamybai skirtos lazerio projekcijos sistemos	26
1.21. Statybos darbų koordinavimo programėlė	27
2. TYRIMO MODELIS IR METODIKA	28
2.1. Tyrimo modelis	28
2.2. Lyginamos alternatyvos ir daugiakriterio vertinimo algoritmas	29
2.3. Alternatyvų vertinimo rodikliai.....	30
2.4. Metodai alternatyvoms vertinti	32
2.4.1. TOPSIS metodas	32
2.4.2. COPRAS metodas	34
2.4.3. SAW metodas	36
2.4.4. Efektyvumo rodiklių santykinų reikšmingumų nustatymas	37
3. TIRIAMOJI DALIS.....	39
3.1 Išmaniųjų technologijų privalumai ir taikymo būdai	39

3.2. Alternatyvų pradiniai duomenys	49
3.3. Kriterijų reikšmingumų nustatymas.	57
3.4. Alternatyvų daugiakriteris vertinimas	59
3.4.1. TOPSIS metodų vertinimo rezultatai	63
3.4.2. COPRAS metodų vertinimo rezultatai	64
3.4.3. SAW metodų vertinimo rezultatai	65
3.5. Daugiakriterio vertinimo rezultatai	66
3.6. Išmaniųjų technologijų taikymo Lietuvos statybos projektuose pavyzdžiai	68
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	73
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	75

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Baigiamojo darbo struktūra.....	12
2 pav. Modeliavimas ir pažangos stebėseną 4D aplinkoje	20
3 pav. Tyrimo modelis	28
4 pav. Priemonių paketų sudarymas	29
5 pav. Alternatyvų daugiakriterio vertinimo algoritmas.....	30
6 pav. TOPSIS metodo sprendimo algoritmas	33
7 pav. COPRAS metodo sprendimo algoritmas	35
8 pav. QR kodavimo naudojimo schema (Darbų koordinavimas/Kontrolė).....	46
9 pav. „Fieldwire App“ naudojimo schema (Kontrolė/ Darbų koordinavimas).....	47
10 pav. DAQRI naudojimo schema (Sauga/Darbų koordinavimas).	48
11 pav. Alternatyvių priemonių paketai.....	51
12 pav. Administracinio pastato BIM modelis.....	68
13 pav. „LAP laser“ naudojimas surenkamųjų gelžbetoninių konstrukcijų gamybai	68
14 pav. QR kodų naudojimas	69
15 pav. Nuolatinio stebėjimo kamerų naudojimas	69
16 pav. „Fieldwire“ programėlės naudojimas	69
17 pav. Verslo centro U219 BIM modelis	70
18 pav. „Dalux Field“ programėlės naudojimas.....	70
19 pav. „Hilti Connect“ programėlė	71
20 pav. „Microsoft Teams“ ir „Wunderlist“ programėlės	71
21 pav. Vilniaus Šv. arkangelo Rapolo bažnyčios tvarkymo darbų projekto vaizdai	72

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Daugiakriterių metodų klasifikacija	28
2 lentelė. Alternatyvų vertinimo rodikliai	31
3 lentelė. Poveikis proceso trukmei vertinimas balais	31
4 lentelė. Mokymų poreikio vertinimas balais	32
5 lentelė. Suderinamumo vertinimas balais.....	32
6 lentelė. Išmaniųjų technologijų naudojimo privalumai statybos projekto gyvavimo cikle .	41
7 lentelė. Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai	43
8 lentelė. Statybos projekto etapai ir išmaniųjų technologijų taikymo būdai	45
9 lentelė. Statybos projekto etapai ir išmaniųjų technologijų kainos	49
10 lentelė. Technologijų suderinamumas.....	50
11 lentelė. Išmaniosios technologijos kokybės kontrolei.....	50
12 lentelė. Išmaniosios technologijos darbų saugai.....	50
13 lentelė. Išmaniosios technologijos statybos procesų koordinavimui	51
14 lentelė. Lyginamos alternatyvos	52
15 lentelė. A1 – BIM programinė įranga	52
16 lentelė. A2 – 3D spausdintuvas	53
17 lentelė. A3 – 3D lazerinis skaneris	53
18 lentelė. A4 – Dronai	54
19 lentelė. A5 – Statybos koordinavimo programėlės	54
20 lentelė. A6 – QR kodavimas.....	55
21 lentelė. A7 – Nuolatinio stebėjimo kameros	55
22 lentelė. A8 – Išmanieji telefonai	56
23 lentelė. A9 – Išmanieji akiniai	56
24 lentelė. A10 – Išmanieji šalmai	57
25 lentelė. Ekspertų charakteristikos	57
26 lentelė. Ekspertų nuomonės vieningumo skaičiavimas.....	58
27 lentelė. Lyginamų alternatyvių paketų naudojamų kokybės kontrolei suvestiniai duomenis	60
28 lentelė. Lyginamų alternatyvių paketų naudojamų darbų saugai suvestiniai duomenis	61
29 lentelė. Lyginamų alternatyvių paketų naudojamų statybos darbų koordinavimui suvestiniai duomenis	62
30 lentelė. TOPSIS metodo normalizuotų reikšmių matrica.....	63
31 lentelė. TOPSIS metodo pasverta normalizuotoji matrica	63
32 lentelė. COPRAS metodo normalizuotų reikšmių matrica	64
33 lentelė. COPRAS metodo pasverta normalizuotoji matrica	64
34 lentelė. SAW metodo normalizuotų reikšmių matrica.....	65
35 lentelė. SAW metodo galutinių reikšmių matrica.....	66
36 lentelė. Lyginamų alternatyvių priemonių paketų prioritetinės eilutės.....	66

IVADAS

Išmaniosios kompiuterinės programos, virtualiosios realybės akiniai, projektų kūrimas ir įgyvendinimas nuotoliniu būdu, galimybės suburti tarptautines kūrėjų komandas neišėinant iš biuro – tai tik keli pranašumai, kuriais išmaniųjų technologijų amžiuje gali džiaugtis statybos inžinieriai. Darbas su išmaniosiomis technologijomis tampa vis sklandesnis, tikslesnis, daugiau dalykų išsisprendžia vykstant projekto procesui, todėl vėliau statybos stadijoje yra mažesnė tikimybė padaryti klaidų.

Naujausios technologijos projektavimo ir statybos procesų valdyme leidžia pagerinti kokybę, paspartinti procesą ir sutaupyti pinigų. Viskas yra tarpusavyje susiję – naujos medžiagos, technologijos ir statybininkų darbo kultūra. Norint naudotis šiuolaikinėmis medžiagomis, technologijomis ir mažaisiais mechanizmais, išauga reikalavimai tiek darbininkams, projektuotojams, tiek statybos vadovams. Todėl statybų proceso dalyviai turi nuolat tobulėti. Darbo pobūdis statybos sektoriuje nuolat kinta ateinant naujoms technologijoms. Keičiasi bendradarbiavimo tarp proceso dalyvių būdai.

Išmaniųjų technologijų svarba abejoja vis mažiau statybų rinkos dalyvių. Vis labiau suvokiama, kad pažanga statybos sektoriuje ateityje yra neišvairduojama be išmaniųjų technologijų, taip pat kaip ir pasaulis šiandien neišvairduojamas be interneto. Išmaniųjų technologijų diegimas Lietuvoje yra neišvengiamas, jei norima turėti inovatyvią ir tarptautiniu mastu konkurencingą Lietuvos statybos pramonę.

Šio magistro baigiamojo darbo tikslas yra remiantis kitų šalių patirties analize nustatyti išmaniųjų technologijų naudą statybos procesui.

Formuluojamos problemos:

- Kaip patobulinti statybos projekto valdymą.
- Kokios išmaniosios technologijos gali būti taikomos statybos projekto etapuose.
- Kokią naudą vartotojams duoda išmaniųjų technologijų naudojimas.

Uždaviniai:

- Apibendrinti Lietuvos ir užsienio šalių mokslinėje literatūroje nagrinėjamas naujausių statybos technologijų tendencijas.
- Nustatyti išmaniųjų technologijų naudą statybos proceso dalyviams.
- Apžvelgti naujausių statybos technologijų fizinius rodiklius (kainą, poveikį procesų trukmei, technologijų naudojimo etapų skaičių pastato gyvavimo cikle, mokymų poreikį, suderinamumą).
- Išmaniąsias technologijas suskirstyti į grupes pagal naudojimo paskirtį bei sudaryti derinius.
- Daugiakriteriais metodais palyginti išmaniųjų statybos technologijų derinių paketus.

Baigiamąjį darbą sudaro įvadas, trys dalys ir išvados (1 pav.). Pirmoje darbo dalyje atliekama naujausių išmaniųjų statybos technologijų analizė. Analizuojant šaltinius surinkta informacija apie išmaniųjų technologijų taikymą skirtinguose statybos projekto įgyvendinimo etapuose. Antroje darbo dalyje pateikiamas magistro darbo tyrimo modelis, metodika bei tyrimo modelio nuoseklumo paaiškinimas. Trečioje darbo dalyje atliekamas tyrimas apie išmaniųjų technologijų naudą, panaudojimo ir suderinamumo galimybes statybos projekto įgyvendinimui. Į trijų skirtingų veiklų grupes (statybos darbų koordinavimas, kokybės kontrolė ir darbų sauga) suskirstytos išmaniosios technologijos lyginamos pagal nustatytus rodiklius. Ketvirtoje darbo dalyje – baigiamojo magistro darbo išvados, tyrimo rezultatai ir išvalgos tolimesniems tyrimams.



1 pav. Baigiamojo darbo struktūra

Tyrimo tarpiniai rezultatai buvo pristatyti 22-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje, kuri vyko 2019 kovo 19 d. Vilniaus Gedimino technikos universitete (žr. A priedą).

1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA

Terminas išmanusis vis dažniau taikomas įvairiems dalykams, kurie vertinami kaip nauji, protingi, integruoti, naujoviški ar patobulinti. Todėl galima rasti įvairių išmaniosios technologijos koncepcijos apibrėžimų. Vienas iš pavyzdžių: išmanioji technologija (angl. Smart-Monitoring Anlysis And Reporting Technology) yra savikontrolės analizės ir ataskaitų teikimo technologija. Tokios technologijos gali automatiškai prisitaikyti, keisti elgseną įvairiose aplinkose, naudojantis technologiniais jutikliais suvokti aplikybės, surinkti duomenis analizei ir išvadoms sudaryti. Technologijos sugeba mokytis, naudojantis įgyta patirtimi (The Tech Therms, 2019). Terminas gali būti susijęs su įrenginiais ar sistemomis, kurie gali pasižymėti dirbtinio intelekto savybėmis. Išmanusis įrenginys (angl. Smart device) – tai elektroninis prietaisas ar programėlė, galintis prisijungti prie tinklo, dalintis informacija ir bendrauti su vartotojais ar kitais išmaniaisiais įrenginiais (Technopedia, 2019).

Kalbant apie išmaniąsias technologijas ir jų įrenginius pirmojoje darbo dalyje apžvelgiamos 21 šiuo metu pasaulyje naudingiausios, statybos procese naudojamos, išmaniosios technologijos ir jų įrenginiai.

1.1. 3D pastatų spausdinimas

3D spausdinimo technologija apibūdinama, kaip daug žadanti technika, kuri galėtų iš pagrindų pakeisti statybos pramonę. Ši technologija turi pranašumų, tokių kaip: laiko ir kainos, aplinkos taršos ir nelaimingų atsitikimų skaičiaus sumažinimas. Statinio informacinio modeliavimo (angl. Building Information Modelling, BIM) kombinacija kartu su 3D spausdinimo technologija yra lyginama su tradicinėmis statybos technologijomis. Nors technologija turi privalumų, atsiranda ir trūkumų dėl daugybės apribojimų. Pastato modelį, kuris būtų tinkamas 3D spausdinimui, galima modeliuoti skirtingomis programinėmis įrangomis. Viena iš populiariausių tinkamų formatų yra STL (angl. Stereolithography), kuris yra priimtinas daugeliui programinių paketų. Taip pat BIM technologijos integravimas su 3D spausdinimo modeliu bus veiksmingas energijos vartojimo efektyvumui, projektavimui, sąnaudų mažinimui ir struktūros izoliavimui gerinti. Yra keletas spausdinimo technologijų, naudojamos skirtingos medžiagos (plastikas, metalas, keramika, smėlis, nailonas, polistirenas, milteliai, granulės, dervos ir kt.). 3D spausdinimo procesas naudojantis BIM technologija: 1. Paruošiamas 3D modelis; 2. Sukurtas modelis paverčiamas į STL failą, kuris gali būti lengvai įkeliamas į daugelį CAD programų; 3. Paviršiai padalijami į sluoksnius; 4. Sumaišamos

reikalingos medžiagos ir spalvos; 5. Spausdinamos konstrukcijos bei naudojamas statyboje (Sakin & Kiroglu 2017).

1.2. Pastatų ir statybinių dalių 3D spausdinimas

3D spausdinimo technologija, palyginus su tradiciniai statybos būdais, galėtų būti laikomas ekologišku, suteikiančiu beveik neribotas geometrinių formų galimybes. Sukurti tinkamus 3D modelius, kurie būtų tinkami 3D spausdintuvams, galima daugelyje modeliavimo programų. Viena iš populiariausių yra STL formatas. Universalus 3D spausdintuvų ir naujų medžiagų kūrimas, gali užtikrinti savybes, siekiant tobulesnio skaidrumo, šiluminės izoliacijos ar stiprumo. Kontūro apdailos koncepcija, leidžianti statybos aikštelėje spausdinti būstus, gali pakeisti architektūrinį požiūrį į projektavimą. Ši technologija reikalauja kurti naujas medžiagas, tinkamas 3D spausdinimui, atsižvelgiant į tradicinio betono sudedamųjų dalių pakeitimą aplinkai nekenksmingomis. Sudėtingos formos pastatai gali tapti privalumu architektams. Įžvelgiama daugybė 3D spausdinimo technologijos privalumų- mažesnė kaina, aplinkos taršos mažinimas, sužalojimų ir mirčių atvejų sumažėjimas, laiko sąnaudų taupymas, švaresnė statyba. Tačiau kyla ir nemažai problemų – technologija nesuteikia darbo vietų kvalifikuotiems darbuotojams, taip pat atsiranda daugybė apribojimų (Hager et al., 2016).

1.3. Robotų naudojimas statyboje

Robotizuoti įrankiai padeda geriau suprasti architekto ir konstruktoriaus profesijas. Be pagrindinio skaitmeninio darbo supratimo – nuo pradinių projektavimo (3D modeliavimo) iki mašinai suprantamų duomenų (patentuoto išvesties kodo), reikalinga apibrėžti robotizuotą fizinę aplinką priklausomai nuo įrankių, esančių robotų rankų galuose. Šiuolaikinės programinės įrangos leidžia virtualiai imituoti gamybos procesą, užtikrinant didesnę sėkmę statyboje. Kuriamos virtualios simuliacijos, kuriomis tiriamos sudėtingos pastatų būklės. Robotai gali atlikti visokius darbus. Potencialūs vartotojai pasiūlo antgalio tipą. Nustatyta, kad antgalio tipas turi didelės įtakos darbams. Pavyzdžiui, pneumatinis griebtuvas, skirtas pastatyti tradicinei sienai. Griebtuvo žnyplių atidarymo ir uždarymo procesas buvo neįprastas robotui. Plytos ar blokelių padėjimas ar pasukimas sudėtingas procesas, todėl nustatyta, kad reikia perkonstruoti mechanizuotos rankos padėtį. Ši sistema sukurta palengvinti holistinio požiūrio skaitmeninių darbų metodikos supratimą, o ne orientuotis į techninius aspektus (Sweet, 2015).

1.4. Robotų darbuotojų sistema

Statybos sektorius nėra labai saugus, nes darbuotojai dirba sunkiomis ir pavojingomis darbo sąlygomis. Statybos sektoriuje įvyksta palyginti didelė nelaimingų atsitikimų dalis, tokių kaip rimti kūno sužalojimai ar mirtys. Nauja idėja kaip išspręsti šią problemą yra tokia, kad darbininkas perkeliamas už darbo zonos ribų, taip nuotoliniu būdu perduodamas signalus robotui statybininkui. Sukuriamos dvi roboto statybininko pagrindinės sistemos. Pirma, 3D kūno ir rankų padėties sekimas, siekiant užfiksuoti žmonių darbus statybos aikštelėje. Tai leidžia užfiksuoti visus žmogaus judėjimo kryptis ir poslinkius. Antra, realaus laiko modeliavimo sistema, jungianti statybininką su robotu, siekiant parodyti koncepciją įvairiuose statybos scenarijuose. Modeliavimo rezultatai įrodyti, kad roboto statybininko idėja yra perspektyvi ir siekianti pašalinti sveikatos ir saugos riziką, su kuria susiduria statybos darbuotojai (Kurien et al., 2018).

Pagrindiniai tikslai yra išvengti 3 rizikingų faktorių: kritimo iš aukščio, skeleto-raumenų sistemos sutrikimų ir įstrigimų objektuose. Įvardijami du pagrindiniai pranašumai: naujos technologijos kūrimas, rankų ir kūno sekimas, ir realaus modeliavimo kūrimas. Reikalinga patobulinti grįžtamąjį ryšį, kad būtų galima sukurti išsamesnę virtualios statybos aplinką (Kurien et al., 2018).

1.5. Statybos darbams taikomosios programėlės

Robotų, jutiklių, elektroninių signalizatorių ir kitų internete naudojamų prietaisų įvairovė nulemia naujų technologijų, kurios yra panaudojamos statybos srityje, atsiradimą. Bendradarbiavimas, kontrolė, valdymas, saugumas ir kiti procesai turi atitikti aukštus reikalavimus paslaugų kokybei. Yra du pagrindiniai reikalavimai, susiję su statybų signalizacijos ir komunikacijos dokumentacija. Įvardijamos penkios pagrindinės nuotolinio naudojimosi programėlių funkcijos: video-konferencija, nuotraukų pasidalijimasis, įrašai, susirašinėjimas, šifravimas. Jos gali nustatyti saugumo riziką, papildyti realybės vaizdą, pagerinti komandinį darbą, užkirsti kelią vėlavimams ir klaidoms statybvietėse. Dauguma statybos kompanijos darbuotojų privalo reguliariai bendrauti aktualiai klausimais. Viena iš geriausių programėlių yra „Jitsi-meet“. Joje yra visos pagrindinės vaizdinės funkcijos. Įvairios tinklų sistemos, tinkamos net išmaniesiems telefonams, naudojamos dokumentacijai nagrinėti. Ši sistema naudojama realiu laiku, kad būtų išvengta vėlavimų. Šios programos tikslas yra palengvinti komunikaciją tarp statybos procesų dalyvių, taip užtikrinant darbų atlikimo kokybę (Kochovski & Stankovski, 2018).

1.6. Dronų naudojimas statybų valdymui

Dronai gali būti naudojami per visą statybos gyvavimo ciklą, nuo galimybių, pasiūlymų etapo iki statybos darbų perdavimo ir priežiūros etapo. Galimybių ir pasiūlymų etape – dronuose gali būti įrengtos kameros, geografinės padėties jutikliai, infraraudonųjų spindulių jutikliai ir kt. Surinkti duomenys importuojami į duomenų talpyklą, kuri glaudžiai susijusi „CAD“ programine įranga. Duomenų eksportavimas leidžia atlikti išsamią esamų salygų 3D modelio analizę (Kespry, 2018). Tai padeda nustatyti galimybes, suprasti konstruktyvumą ir padėti savininkams vizualiai pamatyti, kaip atrodys projektas. Dronai taip pat gali būti naudojami nustatant rizikos sritis. Dizaino ir paruošimo etapuose – dronų atlikti topografiniai ir geodeziniai matavimai padeda sukurti realiąsias situacijas projektavimo dalyje. Gebėjimas lengvai užfiksuoti informaciją apie statybos aikštelę pagreitina visą procesą. Statybos etape – dronai turi daug galimų naudojimo būdų. Jie padeda perduoti projekto pažangą, sekti medžiagas bei turtą, mažinti vagystes, pagerinti savininkų matomumą, didinti saugą ir teikti vertingą informaciją, kaip pagerinti projektavimo pakeitimus. Kilus problemoms, jie taip pat sukuria vertingus dokumentacijos failus. Perdavimo ir priežiūros etape – galutinio produkto vaizdo įrašas, skirtas reklamai, naudingas užsakovams. Šie duomenys taip pat turi praktinę vertę turto valdymo ir priežiūros srityje, suteikiant savininkams ir valdytojams vizualius duomenis apie pastato būklę. Be to, dronuose, kuriuose įrengta šilumos atvaizdavimo galimybė, galima aptikti šilumos nutekėjimus pastato viduje arba ilgų požeminių komunalinių vamzdžių trūkumus (Entrop & Vasenev, 2017).

10 būdų, kaip dronai gali pagerinti našumą statybvietyje (Higgins, 2017):

1. Verslo plėtra. Dronų galimybė atlikti fotografijas gali būti svarbi pardavimo priemonė. Geresni topografiniai, geodeziniai ir planavimo pajėgumai išskiria iš konkurentų.
2. Pagerinamas užsakovo matomumas. Naudojant dronus padedama užsakovams vizualiai pamatyti projekto įgyvendinimą, kaip statybos artėja prie projekto pabaigos.
3. Greitesnis pasiūlymų etapo įgyvendinimas. Dronai gali padėti sukurti virtualų dizainą realiomis sąlygomis, taip leidžia geriau įsitraukti visai dirbančiai komandai.
4. Klientų pasitikėjimo įgavimas. Vizualūs pasiūlymai, darbų stebėjimas ir kiti darbai leidžia įgyti klientų pasitikėjimą.
5. Turto ir medžiagų valdymo gerinimas. Su dronais kontroliuojama darbo vieta, atliekami medžiagų kiekių patikrinimai, kad būtų išvengta papildomų darbų ar pernelyg didelio medžiagų panaudojimo.
6. Pagerinamas sąskaitų-faktūrų išrašymo tikslumas. Dronai leidžia efektyviau įvertinti atliktų darbų kokybę ir tikslų panaudotų medžiagų kieki.
7. Kokybės gerinimas. Dronai atlieka patikrinimus didelėse ir sunkiai pasiekiose vietovėse.

8. Sumažinamas papildomų darbų skaičius. Dažni vietiniai skrydžiai sumažina klaidų skaičių, o tai reiškia ir papildomų – taisymo darbų skaičių.
9. Saugumo gerinimas. Atliekami patikrinimai pavojingose vietose, nekeliant pavojaus žmonėms. Dronai taip pat leidžia identifikuoti ir sušvelninti galimus pavojus.
10. Bylinėjimo lengvinimas. Dronų surinkta informacija saugoma duomenų talpykloje, todėl prireikus viso projekto metu surinkti duomenys lengvai pasiekiami. Taip tikimasi sumažinti teisminių ginčų skaičių.

Galimi dronų įrangos tipai (jutikliai): nuotraukos ir vaizdo jutikliai (fotoaparatai), geografinės padėties jutikliai (pvz., GPS), terminiai jutikliai šilumos aptikimui (Higgins, 2017).

1.7. QR kodai statyboje

QR kodai (angl. Quick Response) yra dvimačiai brūkšniniai kodai, kuriuos galima skaityti naudojant išmaniuosius telefonus ir (arba) kameras. Nuskaitytas QR kodas nukreipia naudotoją į mobiliųjų tinklalapį, reklaminių pranešimą, vaizdo įrašą, socialinės žiniasklaidos nuorodas arba nukreipimo puslapį. QR kodai gali būti naudojami techniniuose brėžiniuose (Lorenzo et al., 2014).

Pagrindinis privalumas yra tai, kad ši technologija yra pigi, greita ir lengvai naudojama. QR kodai gali būti sukurti kompiuteriu ir rodomi spaudoje (žurnaluose, brošiūrose ir gaminio pakuotėse) arba ekranuose be specifinių gamybos procesų. Statybos pramonės gaminių gamintojai gali įtraukti kodus į produktų paketus taip, kad naudotojai nuskaitytą kodą, kuris nukreipia į vaizdo įrašą, parodantį, kaip produktas yra surinkamas. Tai yra daug greičiau ir lengviau, nei skaityti ilgą, o kartais net klaidinančią instrukcijų brošiūrą (Lorenzo, et al., 2014).

10 pasiūlymų naudoti QR kodus architektūros, inžinerijos ir statybos pramonėje (Pauley Creative, 2015):

1. Nuoroda į techninę informaciją. Norint surinkti naują gaminį, turint produkto QR kodą, statytojui, rangovui ar architektui yra suteikiama galimybė greitai gauti informaciją, nenaudojant interneto ryšio.
2. Palyginimas. Faktinės statybos aikštelės palyginimas su architektūriniais planais, įvairių produktų pavyzdžių ir jų specifikacijų pateikimas.
3. Įmonės logotipai. QR kodas gali parodyti įmonės informaciją ir kontaktinius duomenis, nuskenavus iškart galima susisiekti su įmonės pardavimų atstovais.
4. Projekto nuotrauka. QR kodai gali užšifruoti ankstesnių ar dabartinių projektų nuotraukas, žemėlapius, kryptis ir kitą informaciją, susijusę su projektu ar įmone.

5. Vizitinės kortelės ir brošiūros. Greitai nuskaitymų QR kodų informacija gali keliauti į vizitinę kortelę ar brošiūrą. Sukuriamas išsamesnis įmonės verslo vaizdas.
6. Akcijos ir rinkodaros veikla. Sukuriami nuolaidų QR kodai, kurie skelbiami reklamose ar parduotuvėse. Galimybė padaryti taip, kad klientai dalintų nuolaidas pasekėjams.
7. El. pašto sąrašas – QR kodas naudojamas, kad siųstų žmones tiesiai į el. pašto nuorodą.
8. Kvietimai – QR kodai susieti su nukreipiamaisiais puslapiais, kurie yra interaktyvieji kvietimai užsiregistruoti, pvz., į apžiūras, seminarus ar konferencijas.
9. Klientų aptarnavimas - QR kodas, kurį nuskenavus atsiranda vaizdo įrašas, kaip surinkti elementą ar kiti techniniai patarimai naudojantis produktu.
10. Analizės – QR kodai yra susieti su URL (angl. Uniform Resource Locartor), kuriuos galima lengvai stebėti. Taip suteikiama vertinga informacija rinkodaros specialistams apie žmones, kurie nuskaityto kodus, kaip dažnai kodai nuskaityti ir ko ieškoma puslapyje.

1.8. Didelės raiškos automatinės kameros

Automatinės kameros, kurios yra valdomos nuotoliniu būdu ir veikia nustatytais laiko intervalais, yra svarbus įrankis realaus laiko duomenų analizei atlikti, projekto dokumentacijai rinkti bei išlaikyti statybos aikštelės būklės kontrolę. Galimybė naudotis realaus laiko statybos aikštelių veiklos duomenimis yra naudinga visiems projekto dalyviams, nes tai sutaupo pinigų ir laiko.

Kameros yra daukartinio naudojimo įrankis. Naudojamos projektuose nuo pradžios iki pabaigos, paskui kameras perkeliant į naujo objekto statybos aikštelę. Pagal užsakovų pageidavimus skaitmeninės nuotraukos gali būti daromos nuo 3-10 megapikselių nustatytais laiko intervalais, pavyzdžiui, kas 10 minučių (Fox, et al., 2015).

Amerikiečiai Jeffrey'is S. Bohnas ir Jochenas Teizeris išskiria keturias kamerų naudos kategorijas (Bohn & Teizer, 2010):

- Projektų valdymas ir kontrolė. Reguliariai renkami duomenys padeda išsiaiškinti problemas ir nukrypimus. Kameros naudotojai internete gali matyti realią darbų pažangą, kuri leidžia numatyti artėjančias kliūtis bei geriau planuoti kitus darbus. Sutrumpinamas patikrinimui reikalingas laikas, leidžiant užduotį atlikti nuotoliniu būdu. Matomas realaus laiko oras – padeda projektų vadovams atitinkamai planuoti darbus.
- Komunikacija ir dokumentacija. Nuolatinis statybos aikštelės fotografavimas leidžia dalyviams sužinoti naujausią informaciją apie projekto būklę, todėl aikštelių apsilankymai gali būti optimizuoti ir sutrumpinti. Neribota duomenų saugykla leidžia saugoti duomenis nuo projekto pradžios iki galo. Duomenis galima suskirstyti į kategorijas ir peržiūrėti jas pagal

duomenis ir laiką. Skaitmeninės nuotraukos gali būti naudojamos ir teisiniais tikslais, pavyzdžiui, ginčų sprendimui ir bylinėjimuisi.

- Resursų valdymas. Kameros naudojamos darbo jėgos, medžiagų, inventoriaus ir įrangos stebėjimui visoje statybų aikštelėje. Laiko eikvojimas, užduoties užbaigimo laikas ir neefektyvumas gali būti pastebėti ir koreguojami siekiant geriau optimizuoti projekto išteklius. Vykdoma didelės įrangos ir burių medžiagų inventORIZACIJA ir kontrolė. Taip pat lengvai nustatoma darbininkų buvimo vieta.
- Saugumas ir kelionės. Naudojantis kameromis sumažinamas kelionių dažnumas į statybos aikštelę, taupomos dujų išlaidos ir mažinamas nusidėvėjimas įmonės automobiliuose. Galimo pavojaus identifikavimas nuotoliniu būdu, informuojant darbų vadovą, kad šis būtų pašalintas. Mažinamas vagysčių ir vandalizmo skaičius, susijęs su aikštelės įranga ir medžiagomis.

1.9. Lazeriniai skeneriai

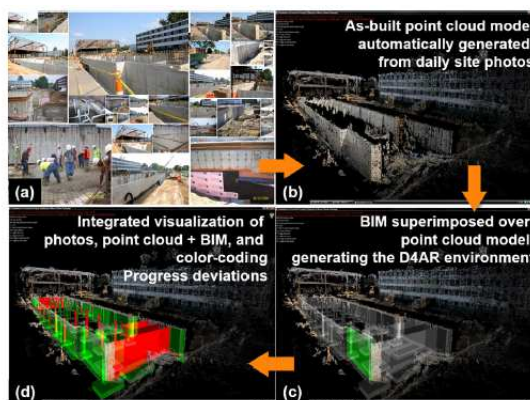
Lazeriniai skeneriai naudojami kaip 3D modeliavimo ir analizės įrankis architektūros, inžinerijos ir statybos srityse. Technologijos pažanga leidžia lazeriniams skeneriams atlikti matavimus nuo dešimčių iki šimtų tūkstančių taškų per sekundę, nuo kelių milimetrų iki kelių šimtų metrų atstumu. Programinė įranga leidžia generuoti didžiulius taškų srautus, duomenis integruojant į naudojamą CAD modeliavimo programinę įrangą. Lazeriniai skeneriai naudojami pastato analizei bei modeliui sukurti (Huber et al., 2010).

Analizuojami betono plokštumos paviršių nukrypimai, lyginant nuskaitytus ir modelio duomenis. Lazeriniai matavimai gali būti greitai ir dažnai atliekami. Lazerinio nuskaitymo duomenų analizė gali būti naudojama pastatyto pastato tikslumo tikrinime. Modelis turi būti patikrintas kokybės užtikrinimo proceso metu – realaus pastatyto pastato skenavimo duomenys palyginami su virtualiu modeliu, taip pastebimi nuokrypiai ir pažeidimai. Tačiau palyginimas turi ir trūkumų – negalima prieiti prie įrenginio reikalavimų, galimų klaidų skaičius ir intuicijos trūkumas (Huber et al., 2010).

1.10. Intervalinės nuotraukos ir vaizdo įrašai

Statybos darbų pažangos stebėsenos vizualizavimas yra veiksmingas procesas, kuris padeda sumažinti projekto išlaidas, sutrumpinti laiką, suprasti sudėtingas situacijas ir tobulinti procedūras. Bendradarbiaujant inžinieriams ir IT specialistams buvo sukurta sistema, galinti apimti matavimus, įrangos ir darbuotojų sekimą, pažangos stebėseną, kokybės kontrolę, operacijų analizę, saugos stebėseną. Fotografavimo metu nuotraukos padaromos iš fiksuoto taško. Kameros turi būti

sureguliuotos, t.y. turi atitikti 3D modelio ir statybų aikštelės koordinacių ašys (Fard et al., 2007). Sistema leidžia planšetiniame kompiuteryje pamatyti naujausius statinio duomenis, atnaujintus planus ir 3D vaizdo modelį. Vizualiai, nustatyto laiko tarpo padarytomis nuotraukomis, stebima konstrukcijų montavimo pažanga, įrangos bei darbuotojų buvimo vieta 2D ar 3D aplinkoje. Statybos aikštelės vaizdai yra lyginami su 4D (angl. Four-dimensional) BIM modelyje esančiais vaizdais (2 pav.). Išryškinama pažanga ar nukrypimai nuo plano. Efektyvę pažangos vizualizavimo technologiją spalviškai pasiūlė Song ir kt. (Song et al., 2005). Spalvomis įvertinami pagrindiniai aspektai: elementai sumontuoti laiku yra žalios spalvos, o kurie atsilieka nuo grafiko – raudonos (Yang et al., 2015).



2 pav. Modeliavimas ir pažangos stebėsena 4D aplinkoje (Yang et al., 2015)

Taip pat stebima ir analizuojama statybos įrangos bei darbuotojų veikla. Stebėsena taikoma darbų saugos ir profesiniam sveikatos vertinimui. Stebėsenos analizė apima judančių objektų aptikimą statybos aikštelėse ar subjektų atpažinimą (darbuotojai ar ekskavatoriai). Judantys objektai gali būti aptikti nustatant skirtumą tarp fono atminties ir naujų atvaizdų (Yang et al., 2015).

1.11. Statyboms skirti išmanieji telefonai

Išmaniuosiuose telefonuose „Cat S60“ integruota „FLIR®“ vaizdo kamera suteikia galimybę stebėti, nustatyti problemas ir sutaupyti laiko statybos aikštelėje. Išmaniuosiuose telefonuose yra išplėstas išmatuojamos temperatūros diapazonas iki 400°C. Vaizdo optimizavimas naudojant „FLIR MSX®“ technologiją. „Cat S60“ telefonai aptinka nematomą šilumos energiją iki 30 metrų ir užfiksuoja temperatūros pokyčius kaip šiluminį vaizdą ar vaizdo įrašą. Terminis vaizdavimas gali būti naudojamas realaus laiko problemoms spręsti, nuo nuotėkio, izoliacijos atotrūkio, elektros defekto, kad daiktai būtų rasti tamsoje. Telefone esantys oro kokybės jutikliai nustato drėgmės lygį, temperatūrą, vidinius oro teršalus, lakiuosius organinius junginius patalpoje. Telefono taikomojoje programoje įmontuotas lazeris su galiniu fotoaparatu, kad būtų galima nustatyti

gylį (iki 8 m) ir apskaičiuoti atstumus nuo prietaiso iki paviršiaus. Taip pat telefonu galima įvertinti paviršiaus plotus, kurie naudojami apskaičiuoti medžiagas, reikalingas sienų plytelėms, tapetavimo ar dažymo darbams, grindų dangos ar grindjuosčių montavimui, tekančiam vamzdynui ar kabeliui. Telefonas atsparus vandeniui, smūgiams, dulkėms ir purvui, todėl tinkamas naudoti statybose (Cat[®] phones, 2019).

1.12. Statyboms skirta išmanioji apranga

Darbuotojų komfortas ir saugumas darbe yra gyvybiškai svarbūs siekiant išlaikyti našumą ir pasitenkinimą darbu. Specialiai programuojami atsparūs drabužiai yra skirti darbuotojams atvėsti arba sušilti pagal jų unikalią kūno temperatūrą. Šiandien išmanieji drabužiai užtikrina komfortišką ir saugią darbo aplinką (South bay Construction, 2017).

Didėjant toksiškų medžiagų rizikai, Vokietijos mokslininkai sukūrė apsaugines pirštines, kurios pakeičiančia spalvą, kai liečiamasi prie toksinės medžiagos. Mokslininkai pagamino pirštines iš tekstilės, padengtos dažais, turinčiais specifinių dalelių. Šios dalelės reaguoja į tam tikrų medžiagų, pvz., anglies monoksido arba vandenilio sulfido, buvimą ir akimirksniu nusidažo pastebima mėlyna spalva. Kadangi šis įspėjamasis ženklas pasirodo tiesiai ant rankų, darbuotojai per kelias sekundes sužino, kad aplink yra nuodingų medžiagų (Trupp, 2013).

Taip pat amerikiečių kompanija „SolePower“ sukūrė išmaniuosius batus, kuriuose yra įdėti jutikliai, kurie gali nustatyti lokaciją, temperatūrą bei dujų nuotekį. Kiekvienas žingsnis sukuria energiją, kuri gali pakrauti, bet kokį įrenginį. Batuose įtaisyti sekimo jutikliai, todėl darbdaviams lengva stebėti darbuotojus darbo vietose (Pettitt, 2017).

1.13. Statyboms skirti išmanieji akiniai

Saugos akiniai yra privalomi daugeliui statybos darbų atlikimui. „Smart XO Technologies“ apsauginiuose akiniuose yra įmontuotos kameros, taip pat ir projekcinis ekranas. Kartu su „Wi-Fi“ prieiga leidžia statybininkams atlikti tikslūs uždavinius, pvz., Naudojant 3D schemas. Tai padidina efektyvumą sumažinant laiką, reikalingą sustoti ir pažvelgti į planus, taip pat padeda išvengti brangių klaidų. Naudodami „iOS“ arba „Android“ mobiliuosius įrenginius arba nešiojamąsias technologijas, technikai gali lengvai surinkti ir dalintis svarbia informacija su klientu ar komanda. „Vision[™]“ duomenų bazė leidžia naudotojams visoje organizacijoje greitai atkurti, nurodyti ir bendrinti svarbiausią informaciją. Technikai ir biuro darbuotojai efektyviau atlieka savo

darbus, o klientai turi daugiau informacijos, kad būtų galima priimti patikimus sprendimus, kurie pagerintų įmonės veiklą (XOi technologies, 2018).

1.14. Statyboms skirti išmanieji šalmai

Išmanusis šalmas „DAQRI“ yra saugesnis šalmas, pasižymintis našumą ir efektyvumą didinančiomis savybėmis. Su jutiklių paketu, kuriame yra keturios HD (angl. High Definition) kameros, 360 laipsnių matomumu, 3D jutikliais ir akselerometru. „DAQRI“ sukuria sudėtingą aplinkos modelį ir naudotojo judėjimą erdvėje, su galimybe dalintis informacija su kitais vartotojais (Hottner et al, 2017). Visa tai vyksta „Android“ aplinkoje, todėl naudotojai gali integruoti „DAQRI“ į mobiliuosius įrenginius.

Išskiriamos kelios sritys „DAQRI“ šalmo naudojimui (Gaydhani, 2017):

- Sveikatos būklės stebėseną – DAQRI šalme esantys diržai tikrina vartotojo širdies ritmą, odos temperatūrą, kraujo deguonies prisotinimą ir smegenų veiklą. Todėl galima stebėti darbuotojų fizines būsenas ir gyvybiškai svarbią statistiką. Ši technologija gali perspėti apie potencialiai pavojingas sąlygas ir vietas, taip pat gali nustatyti, kada vartotojas yra pernelyg pavargęs ar nesusikaupęs.
- Laisvų rankų vaizdiniai duomenys – dirbant siaurose erdvėse arba dideliame aukštyje, kai naudojami pagalbiniai įtaisai, pvz., planšetės, kyla pavojus darbo saugai. Vis dėlto reikia, kad darbuotojai galėtų naudotis šiais įrankiais, norint įrašyti duomenis, tačiau su išmaniuoju šalmu informacija gali būti prieinama per skydelį, o tai reiškia, kad darbuotojai gali išlaikyti laisvas rankas, t.y., išlaikyti pusiausvyrą, ir atlikti savo darbą.
- Pavojingo atstumo fiksavimas – išmaniuose šalmuose yra priekinės ir galinės atstumą matuojančios kameros. Kai jutikliai supranta pavojingai artėjantį objektą, siunčia garsinį ir vaizdinį pavojaus signalą.
- Duomenų atnaujinimas – duomenų atnaujinimas ar vizualizacija suteikia darbuotojams prieigą prie realaus laiko duomenų, sumažindami darbuotojų poreikį keliauti prie kompiuterių ir atgal.
- Termovizija – šiluminė vizija gali žymiai padidinti darbuotojų saugą, nes ji leidžia vizualizuoti, įrašyti ir analizuoti temperatūros duomenis artimoje aplinkoje.
- Valdamos darbo instrukcijos – intuityviomis papildomomis instrukcijomis išmanieji šalmai gali parodyti savo komandai, kokie procesai ar užduotys turi būti baigti ir kaip jas atlikti.
- Tiesioginė pagalba – ekspertų laukimas gali būti labai ilgas, todėl prarandamas efektyvumas ir sumažėja darbo našumas. Išmanieji šalmai turi nuotolinę sistemą, todėl darbuotojai gali

skambinti ir priimti skambučius bei vaizdo skambučius iš savo skydelio ir paprašyti bei gauti pagalbą.

- Duomenų rinkimas – suteikiama galimybė tiksliai rinkti visų rūšių duomenis apie darbo jėgą ir apie tai, kas vyksta darbo vietose. Darbuotojų sveikatos priežiūra gali padėti pagerinti darbuotojų gerovę ir sumažinti sveikatos priežiūros išlaidas. Kiti duomenys padeda stebėti, kada darbuotojai yra didžiausio našumo ir kada jie pavargsta. Nustačius silpnąsias vietas, galima imtis veiksmų, kad padidinti motyvaciją ir optimizuoti našumą.
- Virtualios realybės vaizdai – išmanieji šalmi leidžia vartotojams skydeliuose naudotis projektu, architektūriniais sprendimais, darbo instrukcijomis, ir tiksliai matyti, kur šis dizainas bus realiame pasaulyje. Technologija turi didžiulį potencialą modernioms darbo jėgoms, supaprastinti procesus, didinti saugumą ir optimizuoti efektyvumą.

1.15. Daiktų žymėjimas radijo dažnių atpažinimo sistemomis

Marko Roberti teigimu, yra įvairių sričių, kur statybos įmonės gali naudoti radijo dažnių atpažinimo sistemą (Roberti, 2013):

1. Projektų valdymas. Projekto stebėsenos metodas – matomi faktiniai produktai, jų vietos, gaunami įspėjimai, jei kas ne vietoje.
2. Įranga ir įrankių valdymas. Įrankiai ir įranga dažnai prarandami didelėse statybvietėse. RFID (angl. Radio Frequency Identification) technologija leidžia įmonei kasdien žinoti, kur yra įranga, taip sumažinant poreikį užsakyti ar išnuomoti naujus įrankius ir įrangą.
3. Atsargų valdymas. RFID technologija sumažina atsargų įsigijimą trūkstantį daiktų atžvilgiu. Norima ateityje sumažinti atliekų kiekį.
4. Darbuotojų valdymas. Darbuotojų valdymas programinės įrangos teikiamas RFID sprendimas leidžia stebėti darbuotojų skaičių darbo vietose, jų tapatybes, ar personalas turi būtinus mokymus ar sertifikatus ir kitą su darbuotojais susijusę informaciją.
5. Saugumo didinimas. Sprendimas suteikia galimybę sekti darbuotojus dirbančius po žeme, t.y. tuneliuose ar tranšėjose. Realio laiko stebimi darbuotojai taip užtikrinant saugią evakuaciją įvykus nelaimei, pašalinių asmenų kontrolę statybvietėje, kontroliuojant prieigą prie neužbaigtų erdvių.

Naudojami ultragarsiniai RFID skaitytuvai, asmens tapatybės kortelės ir „Trimble“ debesies pagrindu veikiantys serveriai integruoti su BIM programine įranga, kad geriau būtų valdomos darbo vietos, darbo jėgos logistika ir projektų valdymas (Swedberg, 2013).

1.16. Statyboms skirti egzoskeletai

Egzoskeletai yra metaliniai karkasai su motorizuotais raumenimis, kurie padidina naudotojo jėgą. Egzoskeletas leidžia perkelti objektus daug lengviau, kartais net nejaučiant jokio svorio taip mažindamas darbuotojų susižalojimų bei nelaimingų atsitikimų skaičių. Egzoskeletai gali būti pasyvūs, t.y. nenaudojant pavarų, variklių ar akumuliatorių, kurie padėtų kėlimui ar vilkimui, arba aktyvūs, kurie naudoja šias priemones. Paprastai pasyviosios sistemos skirtos naudoti statybos ir gamybos pramonėje, nes šie kostiumai yra pigesni, o pavaros nėra būtinos (Thilmany, 2019).

Jeanas Thilmany įvardija kelis statybos darbų egzoskeletų tipus:

- Sumontuotos rankos egzoskeletas – įrankių laikymo egzoskeletas susideda iš spyruoklinės rankos, kuri viename gale turi sunkų įrankį ir yra prijungta prie apatinio kūno egzoskeleto ir atsvaro.
- Nugaros egzoskeletai – karkasai, suteikiantys nugaros sutvirtinimą darbuotojams, kai jie susilenkia ar kelia sunkius daiktus.
- Rankos atrama – paprastos robotizuotos rankos, padedančios darbuotojams pakelti sunkius įrankius.
- Stovėsenos palaikymas – egzoskeletas naudojamas, kai ilgą laiką dirbama toje pačioje vietoje.
- Viso kūno egzoskeletas – visą kūną gaubiantys kostiumai suteikia atramą ir papildomą stiprumą. Užpakalinėje skeleto dalyje esanti suspausto oro spyruoklė priima kėlimo apkrovas, pečių juostoje mechanizmas naudojamas viršutiniam kėlimui ar darbui.

Egzoskeletai padeda darbuotojams atlikti darbą greičiau, su mažesniu nuovargio ir geresne darbo kokybe. Jie sumažina nugaros raumenų apkrovą, taip pat užtikrina, kad darbininkai išlaikytų teisingą laikyseną (Thilmany, 2019).

1.17. Statyboms skirti robotai – MULE ir SAM

MULE (angl. Material Unit Lift Enhancer) - tai pagalbinis kėlimo įtaisas, skirtas kilnoti ir statyti medžiagas, sveriančias iki 135 kg. MULE priedai gali būti suprojektuoti, bet kuriai statybai, todėl technologija yra universali. Darbuotojai dirbdami su MULE nejaučia jokio medžiagos ar

konstrukcijos svorio, mažinamas nuovargis ir sužalojimų skaičius bei didinamas darbo našumas (Construction Robotics, 2019).

Roboto kūrėjai įvardija šiuos privalumus:

- Darbo jėga – padeda vystyti karjerą ir pritraukti naujų darbuotojų.
- Gamyba – sumažinama blokų/plytų nustatyta kaina.
- Produktyvumas – padidinamas produktyvumas dirbant greičiau ir nuoskeliau.
- Ergonomika – pašalinamas darbuotojų nuovargis ir fizinis nusidėvėjimas, susijęs su pasikartojančiu sunkiu kėlimu.
- Sumažinamas atliekų kiekis – sumažinamas atliekų ir blokų pažeidimų kiekis.

Kitas įmonės „Construction Robotics“ pardavinėjamas produktas SAM (angl. Semi-Automated Mason) yra plytų klojimo robotas. SAM100 yra pirmasis komerciniu būdu parduodamas robotas mūro darbams statybos aikštelėje atlikti (Construction Robotics, 2019).

Roboto kūrėjai įvardija šiuos privalumus:

- Bendradarbiavimas – sukurta dirbti kartu su mūrininku.
- Gamyba – nuosekli gamyba ir mažesnės išlaidos (50 % + darbo jėgos sutaupymas).
- Produktyvumas – padidinamas mūrininkų produktyvumas nuo 3 iki 5 kartų, tuo pačiu sumažinant plytų ar blokų kėlimą.
- Ergonomika – mažesnis poveikis darbuotojų sveikatai.
- Darbo planavimas – geresnis gebėjimas planuoti ir kontroliuoti darbus.
- Duomenys – gamybos duomenys padeda nuolat tobulėti.

1.18. Autonominis armatūros ryšimo robotas

„TyBot“ (angl. An Autonomous Rebar-tying Robot) robotą yra labai lengva integruoti į dabartinės gamybos operacijas. Kai armatūros ruošiniai yra paruošti, „TyBot“ automatiškai indentifikuoja jų susikirtimo vietas, jas suriša ir toliau ieško susikirtimo vietų iki kol darbas bus atliktas (TyBot, 2018). Su šia įranga garantuojamas paprastesnis darbas sudėtingoje aplinkoje.

Roboto darbo savybės (TyBot, 2018):

- Automatinis navigacijos valdymas tilteliuose, nereikalaujama atlikti iš ankstinio kalibravimo.
- Nustato ir susieja strypų susikirtimo vietas.
- Veikia dieną ar naktį, lietus lyja ar saulėta, be pertraukų ar sužalojimų.
- Netrukdo kitai statybinei įrangai ar infrastruktūrai.
- Įdarbinamas kvalifikuotas ir specialus kokybės kontrolės specialistas.

1.19. Autonominis vikšrinis krautuvas

Autonominis vikšrinis krautuvas (angl. Autonomous Track Loader) – nuotoliniu būdu valdomas vikšrinis krautuvas, sukomplektuotas su LiDAR sistema (angl. Light Detection & Ranging) ir mašinų valdymo jutikliais, leidžiančiais mašinai dirbti be operatoriaus.

Pasak W. Graysono, vikšrinis krautuvas skirtas lengvesnei statybai, t.y. gyvenamojo namo statybai. Autonominis vikšrinis krautuvas gali atlikti didžiąją dalį darbo: kasinėjimus, rūšiavimus, pagrindų paruošimus, tankinimus ir pan. LiDAR yra pagrindinis autonominio vikšrinio krautuvo komponentas, nes jis naudojamas kaip mašinos akys, susiejant darbo vietos aplinką. Įrenginyje yra GPS (angl. Global Positioning System) jutikliai, kurie ne tik padeda judėti darbo vietoje, bet ir leidžia atlikti tikslų darbą pagal darbo planus. Autonominis vikšrinis krautuvas turi belaidį išjungimo mygtuką, kad būtų galima greitai mašiną išjungti avarijos atveju (Grayson, 2017).

1.20. Gamybai skirtos lazerio projekcijos sistemos

Lazeriniai projektoriai naudojami surenkamojo gelžbetonio konstrukcijų gamybai. Projektoriai sukuria keičiamo dydžio lazerines projekcijas, naudojamas tiksliai išdėstyti elementus ant padėklų ar stalų, skirtas gelžbetonio konstrukcijų gamybai. Naudojimo tikslas yra padidinti gelžbetoninių konstrukcijų gamybos našumą. Lazerinės projekcijų sistemos padeda sutaupyti iki 50 % darbo laiko, tuo pat metu gerinant elementų kokybę (LAP, 2018).

Projektuotojų pateikti CAD brėžiniai masteliu parodomi ant gamybinio stalo, kad būtų galima tiksliai ir greitai sudėti klojinių dalis, armatūrą, įdėtines detales, laidus, langus ir duris. Taip pat užtikrinama surenkamojo gelžbetonio konstrukcijų gamybos kokybės kontrolė – greitai pastebimi, bet kokie nukrypimai nuo projekcijos padėties.

Lazerio projekcijos sistemas gaminanti kompanija LAP įvardija šiuos technologijos privalumai:

1. Mažesnis darbuotojų apkrautumas – lazerinės projekcinės sistemos pakeičia braižytojus, sutaupoma laiko sąnaudų.
2. Sumažinamas klaidų skaičius – elementai išdestomi ant lazerinių projekcijų taip sumažinant klaidų skaičių ir prisidedant prie nuolatinės produkto kokybės.
3. Laiko sutaupymas – lazerinių sistemų naudojimas sutaupo iki 50 % darbo laiko, padidėja produktyvumas.
4. Lengva operacija – norint valdyti sistemą reikalingi tik minimalūs mokymai. Programinės įrangos sąsaja patogi.
5. Daugiafunkcinis darbas – programinės įrangos dėka operatoriai vienu metu gali dirbti su keliomis užduotimis ant tų pačių gamybos stalų. Didinamas darbo našumas.

6. Universalumas – sistema yra keičiamo dydžio ir gali būti pritaikyta skirtingų elementų (plokštės, sienos, laiptų maršai ir kt.) gamybai pagal konkrečius reikalavimus (LAP, 2018).

1.21. Statybos darbų koordinavimo programėlė

„Fieldwire“ yra programėlė, kurioje visa projekto komanda bendradarbiauja ir dalinasi informacija. Programėlė naudojama norint pagerinti statybos darbų koordinavimą, komandinį darbą bei dokumentacijos valdymą.

Statybų aikštelės koordinavimas (Fieldwire, 2018):

- Projekto koordinavimas – efektyviau priskiriamos užduotys, dirbama su naujausia informacija, brėžiniais, suderinamas biuro ir lauko darbuotojų darbas.
- Stebėsena – nuolatinis darbų stebėjimas, darbų grafikų kūrimas ir atnaujinimas.
- Rizikos sumažinimas – viso projekto įgyvendinimo informacijos fiksavimas.

Komandinis darbas (Fieldwire, 2018):

- Realus laiko pranešimai – pranešimai ir pokalbiai susiejami su konkrečiomis užduotimis, taip greitinant sprendimų priėmimą.
- Užduotys, sąrašai ir patikrinimai – nuolatinis darbų eigos stebėjimas, defektų fiksavimas planuose, nuotraukose ar vaizdo įrašuose.
- Planavimas ir ataskaitos – projekto planavimas naudojantis LEAN metodais, PDF ataskaitų archyvavimas.

Dokumentų valdymas (Fieldwire, 2018):

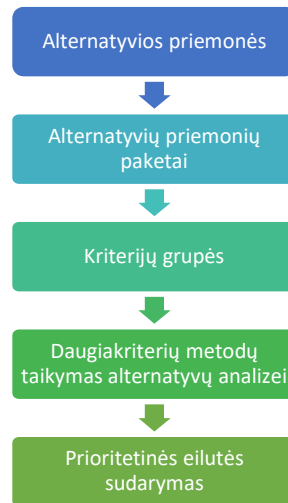
- Mobilioji planų peržiūra – „Web“, „iOS“, „Android“ programėlėse taip pat ir „Dropbox“ tinkle.
- Žymėjimai ir pastabos – naudojamas mobilusis redagavimas, net nebūnant prisijungus prie tinklo. Naudojamos nuotraukos ir vaizdo įrašai.
- Skaitmeninis formatas – naudojamos kasdieninėms ataskaitoms, tvarkaraščiams, patikrinimo užklausoms. Dokumentai pateikiami greičiau ir lengviau.

Remiantis kitų šalių patirties analize nustatyta išmaniųjų technologijų nauda statybos procesų valdymui. Dažniausiai minimos naudos – trumpesnis statybos procesas, geresnė darbų kokybė, efektyvesnis darbų kokybės kontrolės procesas, sklandesnis statybos darbų organizavimas, geresnis darbų saugos užtikrinimas, tinkamesnis resursų valdymas ir darnesnis komandinis darbas. Skirtingi statybų dalyviai įvairiai vertina išmaniųjų technologijų naudą. Pavyzdžiui, užsakovai vertina išmaniuosius šalmus, projekto vadovai, darbų vadovai ir techniniai prižiūrėtojai labiau vertina išmaniasias programėles, kuriomis galima sekti statybos procesą ir formuoti ataskaitas, statybininkai ir gamybos darbuotojai vertina robotus, kurie padeda darbą atlikti greičiau ir su mažesniu nuovargiu.

2. TYRIMO MODELIS IR METODIKA

2.1. Tyrimo modelis

Šiame darbe yra naudojamas penkių žingsnių tyrimo modelis. Šis modelis yra apibendrintas 3 pav.



3 pav. Tyrimo modelis

Sprendimų priėmimas inžinerijos srityje dažnai yra susijęs su neapibrėžtumu, kurį lemia tiek objektyvios, tiek subjektyvios priežastys. Yra 4 daugiakriterių metodų klasės: metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija, analatinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai, verbalinės analizės sprendimų metodai ir lyginamosios preferencijos metodai (1 lentelė). Metodai remiasi skirtingo tipo informacija, kuri gali būti gauta kiekybiniais ir kokybiniais matavimais. Darbe daugiakriteriams uždaviniais spręsti taikomi kiekybiniai daugiakriteriniai sprendimo priėmimo metodai.

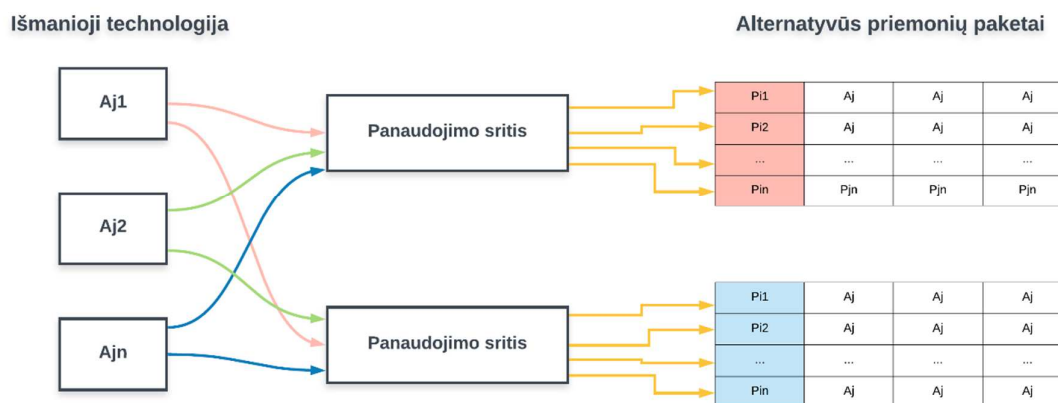
1 lentelė. Daugiakriterių metodų klasifikacija (Chen & Hwang, 1992)

Metodų klasės	Informacija, gauta iš sprendimą priimančio asmens, apie rodiklius	Metodai ir jų klasės
Metodai pagrįsti daugiakriterine naudingumo teorija	Kiekybiniai matavimai	SAW, TOPSIS, TOPSIS-G, COPRAS, COPRAS-G, ARAS, MOORA, VIKOR, MultiMOORA

Analitinės hierarchijos ir neapibrėžtų aibių metodai	Kokybiniams matavimams suteikiamas kiekybinis pavidalas	Analitinis hierarchijos procesas (AHP) Metodai naudojantys neapibrėžtas aibes (Fuzzy) (Fuzzy TOPSIS), (Fuzzy AHP)
Verbalinės analizės sprendimų metodai	Kokybiniai matavimai, nepereinama prie kiekybinių kintamųjų	Verbaliniai metodai: ZAPROS, PARK, ORKLASS, CLARA, DIFLASS, CIKL
Lyginamosios preferencijos metodai	Kiekybiniai ir kokybiniai matavimai	ELECTRE metodai, PROMETHEE metodai, MELCHIOR metodai, UTA metodai, MAUT metodai, TACTIC metodai ir kt.

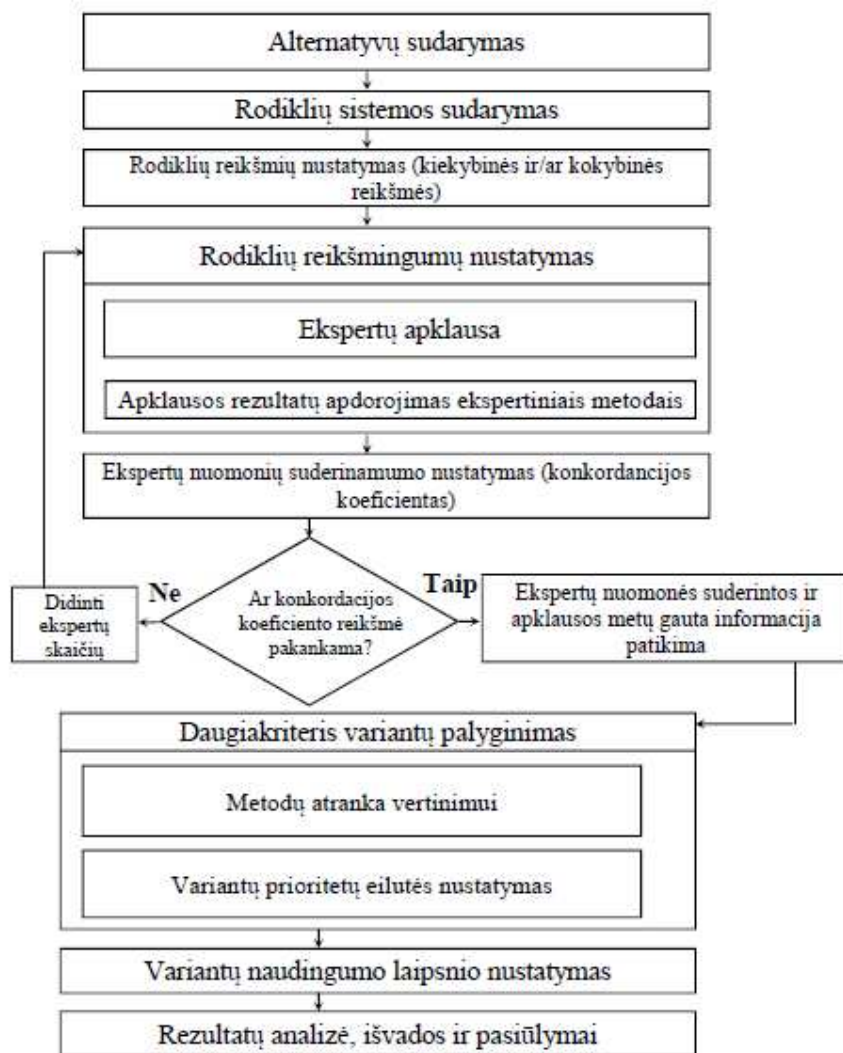
2.2. Lyginamos alternatyvos ir daugiakriterio vertinimo algoritmas

Magistro tiriamajame darbe nagrinėjamos išmaniosios technologijos yra suskirstomos į alternatyvų grupes pagal darbų rūšį ir technologijų paskirtį. Grupėse sudaromi alternatyvių priemonių paketai (deriniai) atsižvelgiant į technologijų suderinamumą. Alternatyvūs priemonių paketai yra lyginami tarpusavyje (4 pav.).



4 pav. Priemonių paketų sudarymas

Alternatyvų daugiakriteriam palyginimui yra taikomas algoritmas pavaizduotas 5 pav.



5 pav. Alternatyvų daugiakriterio vertinimo algoritmas

2.3. Alternatyvų vertinimo rodikliai

Vertinimo kriterijų parinkimas yra svarbus alternatyvų vertinimo etapas, kadangi pasirinkti kriterijai turi užtikrinti strateginių tikslų pasiekiamumą. Literatūros šaltiniai nurodo, jog galimas labai platus kriterijų pasirinkimo ratas, tačiau išmaniųjų technologijų naudojimui svarbiausios yra šios grupės:

- **Kaina,**
- **Poveikis proceso trukmei,**
- **Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle,**
- **Mokymų poreikis,**
- **Suderinamumas.**

2 lentelė. Alternatyvų vertinimo rodikliai

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	min	Eur
R2	Poveikis procesų trukmei	max	Balai
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	max	Vnt.
Kokybiniai rodikliai			
R4	Mokymų poreikis	min	Balai
R5	Suderinamumas	max	Balai

Kaina – kiekybinis minimizuojamas rodiklis, išreikštas eurai. Rinkoje siūloma konkurencinė bazinė produkto kaina, tačiau papildomą funkcionalumą ir aptarnavimą apmokestina tarifais. Bendra kaina įvertinama, pasirenkant reikalingas papildomas funkcijas ir vertinant susijusius kaštus. Konkretizuojant kaštų kriterijaus išskaidymą, sudedamosios dalys atskiriems produktams galėtų būti: įrenginio/sistemos kaina, bendra paketo kaina, metiniai palaikymo kaštai, planavimo ir realizavimo kaina, diegimo ir mokymų kaštai bei papildomos specifinės įrangos kaina. Bendra kaštų suma turi įtakos pristatant produktą organizacijos vadovybei.

Poveikis procesų trukmei – kiekybinis maksimizuojamas rodiklis išreikštas balais. Šiuo rodikliu vertinamas technologijos poveikis procesų trukmei. Išmaniųjų technologijų naudojimas leidžia statybos projekto dalyviams efektyviai ir kokybiškai atlikti savo darbą per trumpiausią įmanomą laiką.

3 lentelė. Poveikis proceso trukmei vertinimas balais

Poveikis procesų trukmei	Nesutrumpina proceso	Minimaliai sutrumpina procesą	Žymiai sutrumpina procesą
Balai	1	5	10

Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle – kiekybinis maksimizuojamas rodiklis išreikštas vienetais. Šiuo rodikliu vertinamas technologijos pritaikomumas statybos procesuose, pavyzdžiui, kai viena išmanioji technologija gali būti naudojama keliuose darbų etapuose skirtingiems darbams atlikti. Pakeičiant tradicinius darbo būdus alternatyviais, kai taikomos išmaniosios technologijos, taupomi resursai ir laikas.

Mokymų poreikis yra kokybinis minimizuojamas rodiklis išreikštas balais. Rodikliu vertinama koks mokymų poreikis, kokia mokymų kaina ir ar užtenka instruktažo norint pradėti dirbti su išmaniaja technologija.

4 lentelė. Mokymų poreikio vertinimas balais

Mokymų poreikis	Nereikia mokymų / Pakanka instruktažo	Reikalingi mokymai
Balai	1	10

Suderinamumas yra kokybinis maksimizuojamas rodiklis išreikštas balais. Suderinamumas su esamomis statybos technologijomis iš esmės daro įtaką naujo įrenginio/sistemos potencialios naudos įsisavinimui. Skirtingos technologijos naudojamos tam pačiam tikslui pasiekti: užtikrinti darbų saugą, pagerinti darbų planavimą ir koordinavimą bei užtikrinti darbų kokybės kontrolę.

5 lentelė. Suderinamumo vertinimas balais

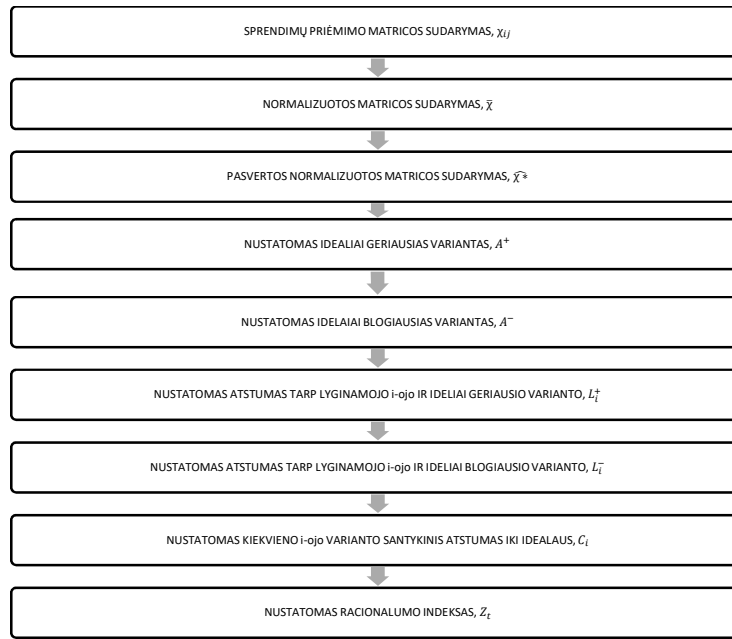
Suderinamumas	Mažas suderinamumas	Vidutinis suderinamumas	Didelis suderinamumas
Balai	1	5	10

2.4. Metodai alternatyvoms vertinti

Alternatyvų lyginimui pasirinkau TOPSIS, COPRAS ir SAW metodus. Vertinimo metodų taikymo algoritmai ir formulės pateiktos 2.4.1, 2.4.2 ir 2.4.3 poskyriuose. Taip pat 2.4.4 poskyryje aprašytas naudojamas efektyvumo rodiklių santykinį reikšmingumą nustatymas.

2.4.1. TOPSIS metodas

C. L. Hwango ir K. Yoono (Hwang & Yoon, 1981) sukurtas variantų prioritetiškumo nustatymo metodas TOPSIS (angl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), kur optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo idealiai blogiausio sprendimo. Šis daugiatikslio vertinimo metodas yra patogus sprendimų priėmėjui dėl skirtingų rodiklių naudojimo, kurie turi reikšmingumą. TOPSIS metodo sprendimo algoritmo etapai pateikti 6 pav.



6 pav. TOPSIS metodo sprendimo algoritmas

Pirmiausiai sudaroma sprendimų priėmimo matrica χ_{ij} :

$$\chi_{ij} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

čia a_1 – lyginamosios alternatyvos ($i = 1, \bar{m}$); x_j – efektyvumo rodikliai ($j = 1, \bar{n}$); x_{ij} – efektyvumo rodiklių reikšmės $i = 1, \bar{m}$; $j = 1, \bar{n}$.

Matrica normalizuojama pagal šią formulę:

$$\bar{r}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i = 1, \bar{m}; \quad j = 1, \bar{n}. \quad (2)$$

Pagal (3) formulę gaunama normalizuota matrica $\bar{\chi}$, kurios visos efektyvumo reikšmės bedimensiniai dydžiai:

$$\bar{\chi} = [\bar{r}_{ij}] = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Sudaroma pasverta normalizuota matrica $\widehat{\chi}^*$. Jei yra žinomi efektyvumo rodiklių reikšmingumai, tai matrica $\widehat{\chi}^*$ apskaičiuojama pagal formulę:

$$\widehat{\chi}^* = \bar{\chi} \cdot q, \quad (4)$$

jei svoriai nežinomi, tada $\widehat{\chi} = \bar{\chi}$.

Idealiai geriausia alternatyva nustatoma pagal formulę:

$$A_i^+ = \{[(\max_i \hat{r}_{ij} | j \in J), (\min_i \hat{r}_{ij} | j \in J')]\} / i = 1, \bar{m} = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+\}, \quad (5)$$

čia J – rodiklių, kurių didesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė; J' – rodiklių, kurių mažesnės reikšmės yra geresnės, indeksų aibė.

Idealiai blogiausia alternatyva nustatoma pagal formulę:

$$A_i^- = \{[(\min_i \hat{r}_{ij} | j \in J), (\max_i \hat{r}_{ij} | j \in J')]\} / i = 1, \bar{m} = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-\}. \quad (6)$$

Atstumas tarp lyginamosios i -tojo ir idealiai geriausios alternatyvos L_i^+ varianto nustatomas pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{r}_{ij} - r_i^+)^2}; i = 1, \bar{m}. \quad (7)$$

Atstumas tarp lyginamosios i -tojo ir idealiai blogiausios alternatyvos L_i^- varianto nustatomas pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\hat{r}_{ij} - r_i^-)^2}; i = 1, \bar{m}. \quad (8)$$

Nustatomas kiekvienos i -tosios alternatyvos santykinis atstumas iki idealaus:

$$C_i = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}; i = 1, \bar{m}, \text{ kai } C_i \in [0; 1]. \quad (9)$$

Kuo C_i reikšmė artimesnė vienetui, alternatyva geresnė, t. y. racionali alternatyva bus ta, kurios C reikšmė yra didžiausia.

Nustatomas racionalumo indeksas Z_T :

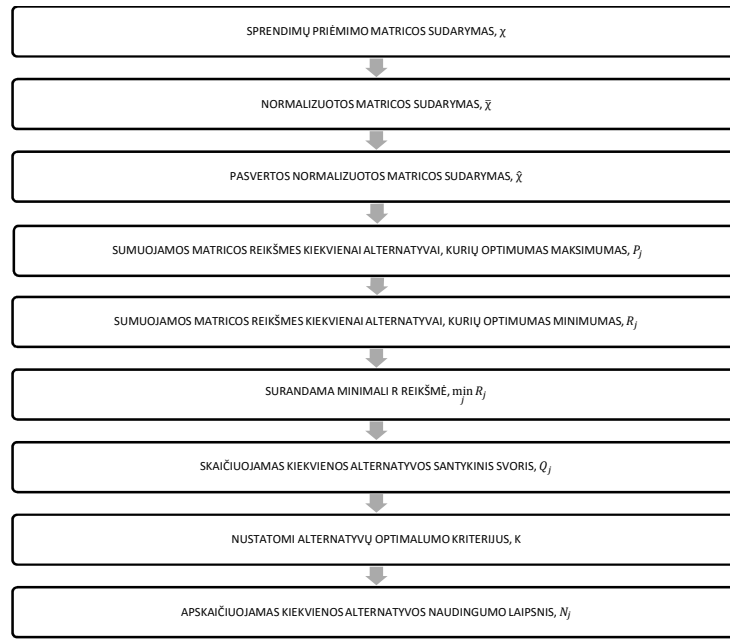
$$Z_T = \frac{C_i}{\max C_i}. \quad (10)$$

Pagal racionalumo indekso Z_T reikšmes sudaroma prioritetų eilutė.

2.4.2. COPRAS metodas

E. K. Zavadsko ir A. Kaklauskos sukurtas COPRAS (angl. COmplex PROportional Assessment of alternatives) metodas taikomas daugiakriterio vertinimo procese, naudojant maksimizuojamus ir minimizuojamus rodiklius (Zavadskas ir Kaklauskas, 1996).

COPRAS metodo (Kaklauskas et al., 2006) uždavinių sprendimo algoritmą sudaro 7 paveikslėlyje pateikti etapai.



7 pav. COPRAS metodo sprendimo algoritmas

Sudaroma sprendimų priėmimo matrica χ_{ij} :

$$\chi = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix}, j = 1, \bar{n}; j = 1, \bar{m}, \quad (11)$$

čia n – alternatyvų skaičius; m – rodiklių skaičius.

Reikšmės normalizuojamos taikant (12) formulę x_{ij} ir sudaroma normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\bar{\chi}$:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}; \quad i = 1, \bar{m}; j = 1, \bar{n}, \quad (12)$$

čia j – alternatyvos numeris; i – rodiklio numeris.

Dauginant normalizuotas reikšmes iš atitinkamų rodiklių svorių pagal formulę (13) sudaroma pasverta normalizuota sprendimų matrica $\hat{\chi}$:

$$\hat{x}_{ij} = \bar{x}_{ij} \cdot q_j, \quad (13)$$

čia j – rodiklio numeris; q_j – j -tojo rodiklio svoris.

Visų rodiklių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui ($\sum_{i=1}^n q_i = 1$).

Skaičiuojamos kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmės, kurių optimizavimo kryptis maksimumas, sumos:

$$P_j = \sum_{i=1}^k \widehat{x}_{ij}, \quad (14)$$

čia k – rodiklių, kurių optimizavimo kryptis maksimumas, skaičius.

Skaiciuojamos kiekvienos pasvertos normalizuotos sprendimų priėmimo matricos eilutės (alternatyvos) reikšmių, kurių optimizavimo kryptis minimumas, sumos:

$$R_j = \sum_{i=k+1}^m \widehat{x}_{ij}, \text{ čia } i = \overline{k, m}, \quad (15)$$

čia k – rodiklių, kurių optimizavimo kryptis minimumas, skaičius.

Surandama minimali R_j reikšmė:

$$R_{min} = \min_j R_j. \quad (16)$$

Skaiciuojamas kiekvienos alternatyvos santykinis svoris:

$$Q_j = P_j + \frac{R_{min} \sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{R_{min}}{R_j}}. \quad (17)$$

(17) formulė pakeičiama į (18):

$$Q_j = P_j + \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{R_j \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}}. \quad (18)$$

Optimalumo kriterijus apskaičiuojamas pagal (19) formulę:

$$K = \max_j Q_j, j = 1, \overline{m}. \quad (19)$$

Pagal formulę (20) apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis:

$$N_j = \frac{Q_j}{Q_{max}} \cdot 100\%, \quad (20)$$

čia Q_j ir Q_{max} – alternatyvų reikšmė, apskaičiuojama pagal (18).

Sudaroma alternatyvų prioritetų eilutė.

2.4.3. SAW metodas

Paprastų svorių sudėjimo metodas (angl. Simple Additive Weighting - SAW) leidžia įvertinti įvairių dimensijų rodiklius (MacCrimmon, 1968). Visų rodiklių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui ($\sum_{i=1}^n q_i = 1$). Šiuo metodu uždavinys sprendžiamas tokiu nuoseklumu:

Sudaroma pradinė sprendimo priėmimo matricą D:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (21)$$

Matricos normalizavimas. 22 formulė skirta maksimizuojantiems elementams, o 23 formulė minimizuojantiems elementams:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i^{max}}, \quad (22)$$

$$r_{ij} = \frac{x_i^{min}}{x_{ij}}. \quad (23)$$

Normalizuotos matricos tos pačios alternatyvos kiekvienas narys dauginamas iš jo reikšmingumo ir sudedamas su kitais alternatyvos nariais.

$$S_j = \max_j \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot q_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (24)$$

Geriausios alternatyvos išrinkimas pagal (24) sąlygą.

2.4.4. Efektyvumo rodiklių santykinų reikšmingumų nustatymas

Atlikus ekspertų apklausą, jų vertinimai yra apdorojami, siekiant surasti kiekvieno rodiklio svorį. Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Svarbiausias rodiklis įgyja 5 balų reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (5 balai – ypatingai svarbu; 1 – nesvarbu).

Vidutinė rodiklio įvertinimo reikšmė $\bar{t}_i$ nustatoma pagal formulę:

$$\bar{t}_i = \frac{\sum_{k=1}^r t_{ik}}{r}, \quad (25)$$

čia tik – k eksperto atliktas i rodiklio įvertinimas; r – ekspertų skaičius.

Visų rodiklių reikšmingumai apskaičiuojami pagal formulę:

$$q_i = \frac{\bar{t}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{t}_i}. \quad (26)$$

Ekspertų vertinimo patikimumas išreiškiamas ekspertų nuomonių konkordacijos koeficientu:

$$W = \frac{12S}{r^2 \times (n^3 - n) - r \sum_{k=1}^r T_k}. \quad (27)$$

Kiekvieno rodiklio įvertinimo rezultatų nukrypimo kvadratų suma:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^r t_{ik} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r t_{ik} \right)^2 . \quad (28)$$

Konkordacijos koeficientą galima nustatyti pagal formulę:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)} . \quad (29)$$

Konkordacijos koeficiento reikšmingumas nustatomas pagal formulę:

$$\chi^2 = \frac{12S}{r \times n \times (n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k} . \quad (30)$$

Jei pagal formulę (30) apskaičiuota χ^2 reikšmė didesnė už χ_{lent}^2 pagal lentelę, priklausanti nuo laisvės laipsnių skaičiaus bei priimto reikšmingumo lygio, ekspertų suderintų ranžiruočių hipotezė priimama. Jei $\chi^2 < \chi_{\text{lent}}^2$, laikoma, kad ekspertų nuomonės nesuderintos.

3. TIRIAMOJI DALIS

Magistro baigiamojo darbo tiriamojoje dalyje 3.1 poskyryje aprašomi išmaniųjų technologijų naudojimo privalumai ir taikymo būdai, 3.2 poskyryje pateikiami lyginamų technologijų pradiniai duomenys, 3.3 poskyryje atliktas rodiklių reikšmingumų ekspertinis vertinimas, 3.4 poskyryje atliktas alternatyvių priemonių paketų daugiakriterinis vertinimas taikant TOPSIS, COPRAS ir SAW vertinimo metodais, 3.5 poskyryje pateikti gauti daugiakriterinio vertinimo rezultatai.

3.1 Išmaniųjų technologijų privalumai ir taikymo būdai

Pirmojoje darbo dalyje apžvelgtos išmaniosios technologijos, surasti konkretūs technologijų ar jų įrenginių pavyzdžiai, nustatytos technologijų naudos ir identifikuoti statybos projekto etapai, kuriuose naudojamos išmaniosios technologijos (6 lentelėje).

Panašiai statybos projekto etapus pateikia ir Lietuvos statybos skaitmeninimo proceso koordinavimu užsiimanti VšĮ „Skaitmeninė statyba“ (7 lentelė). Šioje lentelėje pateikiami BIM taikymo būdai tam tikruose projekto etapuose (Skaitmeninė statyba, 2017).

Remiantis Skaitmeninės statybos sudaryta statybos projekto etapų ir BIM taikymo būdų lentelė (Skaitmeninė statyba, 2017) analogiškai sudaroma statybos projekto etapų ir išmaniųjų technologijų taikymo būdų lentelė (8 lentelė). Taikymo būdų skiltyje susiejamos išmaniosios technologijos su skaitmeninės statybos projekto vystymo sąlygomis.

10 paveiksle matoma, kad projektuotojai modeliuodami konstrukcijas BIM aplinkoje elementams priskiria unikalius GUID numerius. Šie numeriai naudojami konstrukcijų gamybos ir statybos planavimui. Gamybos planavimo skyriaus inžinierius iš projektuotojų gauna konstrukcijų numerius, pagal kuriuos yra planuojama preliminarai ir faktinė konstrukcijų gamybos, pervežimo ir statybos data. Pagal konstruktorių padarytus brėžinius darbininkai gamykloje pagamina konstrukcijas, ant kurių yra užklijuojamas unikalus QR kodas, sudarytas pagal GUID numerį. Sandėlininkas nugabenęs konstrukciją iš gaminimo į sandėliavimo vietą, nuskenuoja kodą planšete ar išmaniuoju telefonu – įrašoma data, vieta sandėlyje bei atsakingo darbuotojo kontaktai. Įrašyti duomenys keliauja į serverį. Vairuotojas, kuris turi nuvežti konstrukciją į statybos aikštelę, lengvai konstrukciją randa sandėlyje. Statybos aikštelėje sumontavus konstrukciją nuskenuojamas kodas, įvedama data, taip atnaujinama informacija apie konstrukcijos faktinę montavimo datą. Taip pat QR kodas naudojamas patikrai atlikti.

11 paveiksle matoma, kad projektuotojų padaryti gamykliniai ar darbo projekto brėžiniai yra talpinami į serverį, iš kurio planšetėje ar išmaniajame telefone per „Fieldwire“ programėlę

statybos darbuotojai bet kada gali jais pasinaudoti. Darbų vadovas „Fieldwire“ programėle sudaro darbų planus ir tvarkaraščius. Statybos aikštelėje atliekamos patikros – „Fieldwire“ programėlėje atidaromas konkrečios konstrukcijos brėžinys, prie jo pridedamas aprašas ir nuotraukos iš realios situacijos aikštelėje. Fiksuojami defektai ir darbų atlikimas laikas. Naujausi duomenys talpinami į duomenų bazę. Programėlė automatiškai sugeneruoja ataskaitas, sąrašus ir pranešimus, kuriuose yra aiškiai nurodytos pastabos.

12 paveiksle matoma, kad DAQRI išmanusis šalmas naudojamas statybos planavimo stadijoje derinant projektą su užsakovais. Po vizualaus projekto apžiūros užsakovai pateikia pastabas ir pakeitimus projektuotojams. Darbininkai, kurie statybų aikštelėje naudojami DAQRI, apsauginiame skydelyje mato mechanizmų veikimo principus ir instrukcijas, fiksuoja gedimus, mato būsimas konstrukcijų ar mechanizmų vietas realioje statybos aikštelės aplinkoje. Darbų vadovai su DAQRI stebi realias darbo aplinkos sąlygas bei seka darbuotojų fizinę būklę.

Atsižvelgiant į 8 lentelę ir 8–10 paveikslėlius daroma išvada, kad dauguma nagrinėjamų technologijų yra naudojamos statybos darbų etape kokybės kontrolės, darbų saugos ir statybos darbų koordinavimo darbams atlikti.

6 lentelė. Išmaniųjų technologijų naudojimo privalumai statybos projekto gyvavimo cikle

					Planavimas		Projektavimas			Statyba		Naudojimas
					S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Išmanioji technologija	Priemonės	Kompetencijos	Investicijos	PVZ.	Galimybių stadija	Projekto programa	Koncepcinis projektas	Techninis projektas	Darbo projektas	Statyba	Statybos užbaigimas	Priežiūra ir naudojimas
BIM programinė įranga	TEKLA, REVIT, ARCHICAD ir kt.	BIM inžinieriai	Programinė įranga licenzijos	„Tekla Structure“ BIM software	Pagreitinamas ir palengvinas darbas							
3D spausdinimas	3D spausdintuvai		Spausdintuvai, užpildai	„The BOD“			Prototipo sudarymas			Laiko sutaupymas, paprasta statyba		
3D lazerinis skenavimas	3D lazeriniai skeneriai		Atminties diskai, Wi-fi, programinė įranga	„FARO Focus“		Greitas duomenų surinkimas	Tikslūs pradiniai duomenys			Kokybės kontrolė		Kontrolė ir priežiūra
RFID sekimo sistema	RFID etiketės		Etiketės ir skaitytuvai	„GAO Personnel Tracking System“					Darbuotojų ir technikos stebėjimas	Darbuotojų ir technikos stebėjimas	Darbuotojų ir technikos stebėjimas	
Robotizuoti gamykliniai įrenginiai	Lazeriai, robotai	Inžinieriai	Lazeriai, jų priedai, robotai, armatūros surišimo robotai	„Rethink Robotics“, „TyBot“, „LAP laser“						Pagreitinamas konstrukcijų gaminimas ir montavimas	Pagreitinamas konstrukcijų gaminimas ir montavimas	
Statybos proceso valdymo aplikacijos	Mobiliosios aplikacijos dokumentacijai		Valdymo pulteliai, planšetiniai kompiuteriai, valdymo aplikacijos, Wi-fi	„Jitsi-meet“, „Fieldwire“	Greitas informacijos apsiikeitimas		Projektavimo darbų sekimas ir kontrolė			Konstrukcijų montavimo nuolatinis stebėjimas ir kontrolė		Kokybės kontrolė, priežiūra

6 lentelės pabaiga

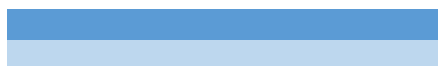
Automatinė technika	Automatiniai savivarčiai, kėlimo mašinos, tinkavimo ir surinkimo mašinos		Automatizuota technika, valdymo pultai, programinės įrangos	„TUPO 8 Automatic Plastering Machine“, „MULE“, „SAM“, „Brick Paving Machine“, „Autonomous Track Loader“						Statybos darbų palengvinimas	
QR kodavimas	Kodų generatorius		Spausdintuvas, kodų generatorius	„QR Code Generator Pro“					Elementų suskirstymas etapais	Konstrukcijų gamybos, transportavimo ir montavimo stebėjimas	
Vizualinis duomenų rinkimas	Dronai, 360° kameros, virtualios realybės akiniai, išmanieji šalmi, CAT telefonai	IT specialistai, inžinieriai	Dronai, kameros, šalmi, akiniai, telefonai, baterijos, programinės įrangos	„KESPRY“, „Brinno“, „XO Technologies Vision™“, „CAT@“, „DAQRT“					Kontrolė	Nuolatinis darbų stebėjimas. Kontrolė. Termovizija. Darbų saugos tikrinimas	Kontrolė, priežiūra
Išmanioji darbo apranga	Darbo apranga		Pirštinės, šviečiantys šalmi, eksoskeletai, batai, megstiniai	„HALO lights“, „Ekso ZeroG“, „SmartBoots“, „DEWALT 20V MAX“						Darbuotojų darbų saugos užtikrinimas. Darbo palengvinimas	Darbuotojų darbų saugos užtikrinimas Darbo palengvinimas

7 lentelė. Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai (Skaitmeninė statyba, 2017)

Eil. Nr.	Projekto etapai Skaitmeninės statybos projekto vystymo sąlygos	Planavimas		Projektavimas			Statyba		Naudojimas
		S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
		Galimybių stadija	Projekto programa	Koncepcinis projektas	Techninis projektas	Darbo projektas	Statyba	Statybos užbaigimas	Priežiūra ir naudojimas
1	Ekonominiai/kiekių ir kainos skaičiavimas								
2	Esamų sąlygų analizė								
3	Projekto etapų planavimas								
4	Sklypo analizė								
5	Funkcinis, tūrinis, planinis vertinimas								
6	Projekto vizualizavimas ir peržiūros								
7	Projektavimas/ modeliavimas								
8	Inžineriniai skaičiavimas ir analizė								
9	Energinė analizė								
10	Tvarumo vertinimas								
11	Konstrukcijų analizė ir projektavimas								
12	Apšvietimo analizė								
13	Inžinerinių sistemų analizė								
14	Kiti analizės atvejai								
15	Atitikties vertinimas/ projekto ekspertizė								
16	3D koordinavimas								
17	Statyb vietės planavimas								
18	Sveikatos ir saugos priemonių planavimas								
19	Konstrukcinė-technologinė analizė								
20	Statybos technologijos ir montavimo eigos simuliacija								
21	Statybos logistikos planavimas								
22	Statybos procesų modeliavimas ir valdymas								

7 lentelės pabaiga

23	Skaitmeninė statyba								
24	Statybos darbų techninė priežiūra								
25	Išpildomasis modelis								
26	Duomenų modelis								
27	Statinio priežiūros planavimas								
28	Statinio sistemų analizė								
29	Energijos sąnaudų analizė								
30	Turto valdymas								
31	Erdvės valdymas ir stebėsena								
32	Tvarumo stebėsena ir analizė								
33	Avarijų prevencija								



Projekte pasirinkimui rekomenduojamas aukštas prioritetas
Projekte pasirinkimui rekomenduojamas žemas prioritetas

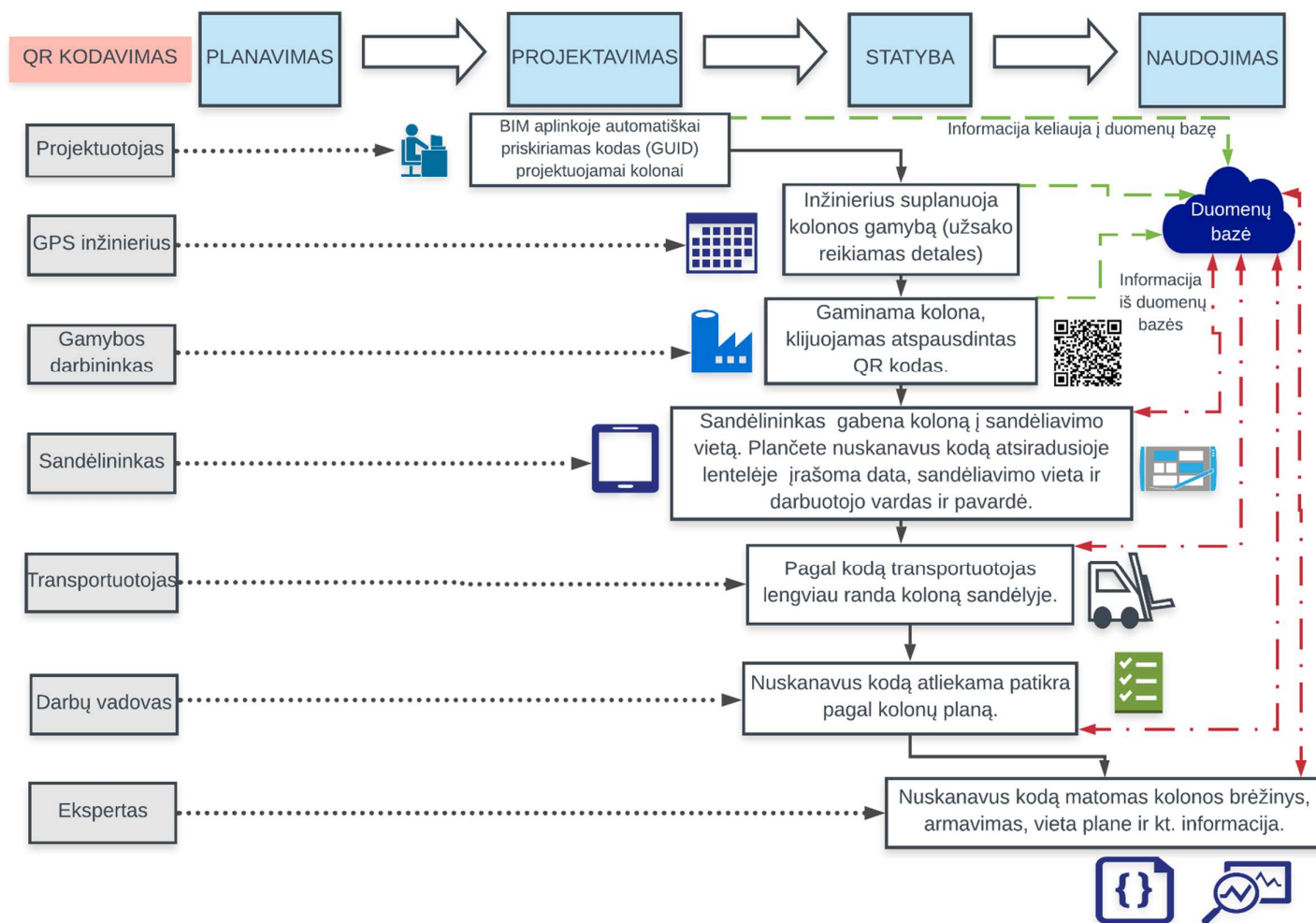
8 lentelė. Statybos projekto etapai ir išmaniųjų technologijų taikymo būdai

Projekto etapai		Planavimas		Projektavimas			Statyba		Naudojimas
Išmanioji technologija statybos procesų valdymui	Taikymo būdai (8 lentelė)	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
		Galimybių studija	Projekto programa	Koncepcinis projektas	Techninis projektas	Darbo projektas	Statyba	Statybos užbaigimas	Priežiūra ir naudojimas
BIM programinė įranga	Visi taikymo būdai								
3D spausdinimas	Statybos technologijos ir montavimo eigos simuliacijos; Statybos procesų modeliavimas ir valdymas								
3D lazerinis skenavimas	Esamų sąlygų analizė; Funkcinis, tūrinis, planinis vertinimas; Inžineriniai skaičiavimai ir analizė								
RFID sekimo sistema	Turto valdymas								
Robotizuoti gamykliniai įrenginiai	3D koordinavimas; Konstrukcinė-technologinė analizė; Statybos technologijos ir montavimo eigos simuliacijos								
Statybos proceso valdymo aplikacijos	10 taikymo būdų*								
Automatinė technika	Statybos technologijos ir montavimo eigos simuliacijos; Statybos procesų modeliavimas ir valdymas								
QR kodavimas	Statybos technologijos ir montavimo eigos simuliacijos; Statybos procesų modeliavimas ir valdymas								
Vizualinis duomenų rinkimas	18 taikymo būdų**								
Išmanioji darbo apranga	Apšvietimo analizė; Avarijų prevencija;								

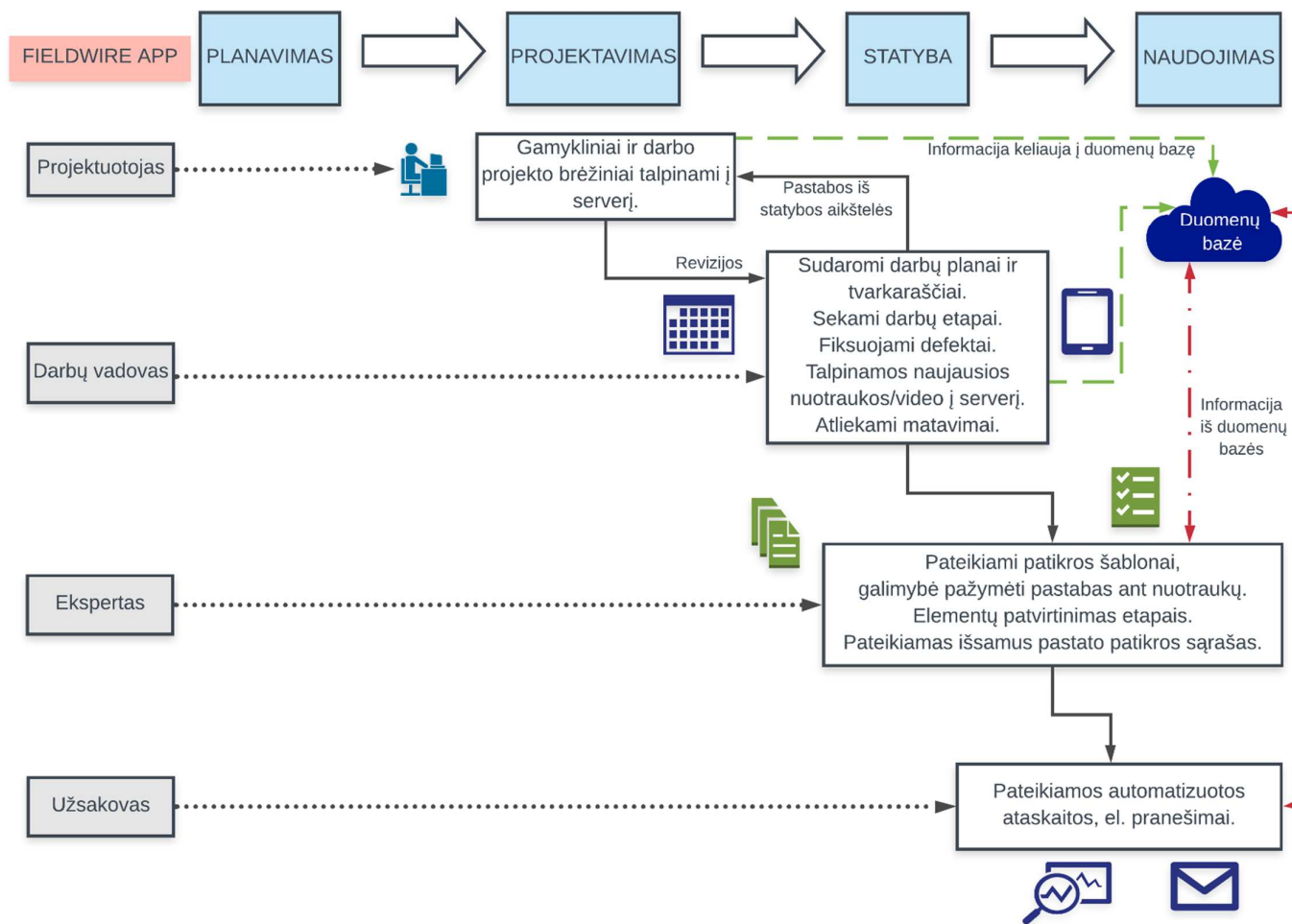
Projekte pasirinkimui rekomenduojamas aukštas prioritetas

10 taikymo būdų* Ekonominiai/kiekių ir kainos skaičiavimas; Esamų sąlygų analizė; Projekto etapų planavimas; Sveikatos ir saugos priemonių planavimas; Statybos technologijos ir montavimo eigos simuliacijos; Statybos logistikos planavimas; Statybos procesų modeliavimas ir valdymas; Statybos darbų techninė priežiūra; Statinio priežiūros planavimas; Turto valdymas.

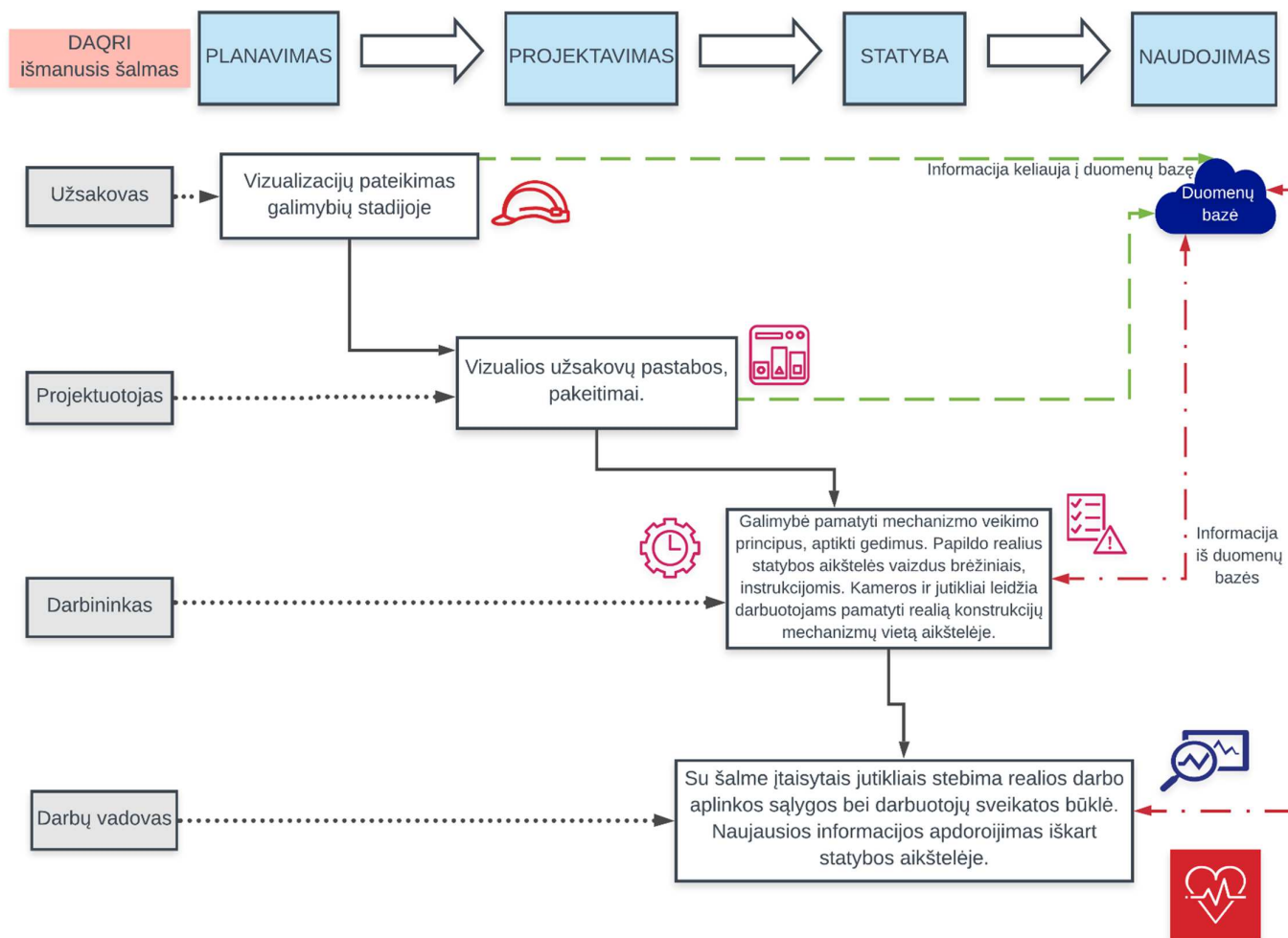
18 taikymo būdai**Ekonominiai/kiekių ir kainos skaičiavimas; Esamų sąlygų analizė; Projekto etapų planavimas; Sklypo analizė; Funkcinis, tūrinis, planinis vertinimas; Projekto vizualizavimas ir peržiūra; Projektavimas/ modeliavimas; Inžineriniai skaičiavimai ir analizė; Konstrukcijų analizė ir projektavimas; Inžinerinių sistemų analizė; 3D koordinavimas; Statyb vietės planavimas; Statybos procesų modeliavimas ir valdymas; Statybos darbų techninė priežiūra; Išpildomasis modelis; Duomenų modelis; Statinio priežiūros planavimas; Turto valdymas.



8 pav. QR kodavimo naudojimo schema (Darbų koordinavimas/Kontrolė)



9 pav. „Fieldwire App“ naudojimo schema (Kontrolė/ Darbų koordinavimas).



10 pav. DAQRI naudojimo schema (Sauga/Darbų koordinavimas).

3.2. Alternatyvų pradiniai duomenys

Šiame poskyryje pateikiami pradiniai išmaniųjų technologijų rodiklių duomenys – kaina, poveikis proceso trukmei, technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle (9 lentelė), mokymų poreikis bei suderinamumas (10 lentelė).

9 lentelė. Statybos projekto etapai ir išmaniųjų technologijų kainos

Eil. Nr.	Sistema/įrenginys	Konkretus pavyzdys	Projekto gyvavimo ciklas	Kaina
1	BIM programinė įranga	„Tekla Structure“	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas	21 000 Eur
2	3D spausdintuvas	„The BOD“	Statyba	91 000 Eur
3	3D lazerinis skaneris	„FARO Focus“	Planavimas/Projektavimas/Statyba	35 000 Eur
4	Dronai	„KERSPY Drones“	Statyba/Naudojimas	38 500 Eur
5	Statybos koordinavimo programėlės	„Jitsi-meet“, „Fieldwire“	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas	1 000
6	QR kodavimas	„QR Code Generator Pro“	Statyba	600
7	Nuolatinio stebėjimo kameros	„Brinno“	Statyba/Naudojimas	400 Eur
8	Išmanieji telefonai	„The CAT S60“	Statyba	1 000 Eur
9	Išmanioji apranga (pirštinės, megztinis, batai)	„SmartBoots“, „DEWALT 20V MAX“	Statyba	150 Eur
10	Išmanieji akiniai	„Smart XOi Technologies“	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas	10 000 Eur
11	Išmanieji šalmai	„DAQRI“	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas	20 000 Eur
12	Įrankių/įrenginių sekimas	„GAO RFID“	Statyba	6 500 Eur
13	Egzoskeletas	„EksoZeoG“, „Noonee“	Statyba	4 450 Eur
14	Robotai	„MULE“, „SAM“	Statyba	-
15	Armatūros ryšimo mašina	„TyBot“	Statyba	-
16	Gamybos lazeris	„LAP laser“	Statyba	-

Pastaba: dauguma šių išmaniųjų technologijų nėra naudojamos Lietuvoje, todėl visų kainų nebuvo galimybės rasti. Pateiktos kainos yra netikslios.

Kadangi išmaniųjų technologijų labai daug, taip pat nežinome visų jų kainų, tolimesniai analizei pasirenkame tik 10 dažniausiai naudojamų technologijų. Suderinamumas vertintas atsižvelgiant į literatūroje aprašytus taikymo pavyzdžius.

10 lentelė. Technologijų suderinamumas

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10		
A1		+	+	-	+	+	-	+	+	+	A1	BIM programinė įranga
A2	+		-	-	-	-	-	+	-	-	A2	3D spausdintuvas
A3	+	-		+	+	-	+	-	+	+	A3	3D lazerinis skaneris
A4	-	-	+		+	-	+	+	+	+	A4	Dronai
A5	+	-	+	+		+	+	+	+	+	A5	Statybos koordinavimo programėlės
A6	+	-	-	-	+		-	+	+	+	A6	QR kodavimas
A7	-	-	+	+	+	-		+	+	+	A7	Nuolatinio stebėjimo kameros
A8	+	+	-	+	+	+	+		+	+	A8	Išmanieji telefonai
A9	+	-	+	+	+	+	+	+		+	A9	Išmanieji akiniai
A10	+	-	+	+	+	+	+	+	+		A10	Išmanieji šalmai
Σ	7	2	6	6	8	5	6	8	8	8		

0-3 mažas suderinamumas

4-6 vidutinis suderinamumas

7-9 didelis suderinamumas

Dažniausiai taikomos išmaniosios technologijos sugrupuojamos į atitinkamas grupes pagal jau anksčiau nustatytą technologijų panaudojimo sritį: kokybės kontrolė (11 lentelė), darbų sauga (12 lentelė) ir statybos procesų koordinavimas (13 lentelė).

11 lentelė. Išmaniosios technologijos kokybės kontrolei

Kokybės kontrolė	Išmanioji technologija
1	3D lazerinis skaneris
2	Dronai
3	Statybos koordinavimo programėlės
4	QR kodavimas
5	Išmanieji telefonai
6	Išmanieji akiniai
7	Išmanieji šalmai

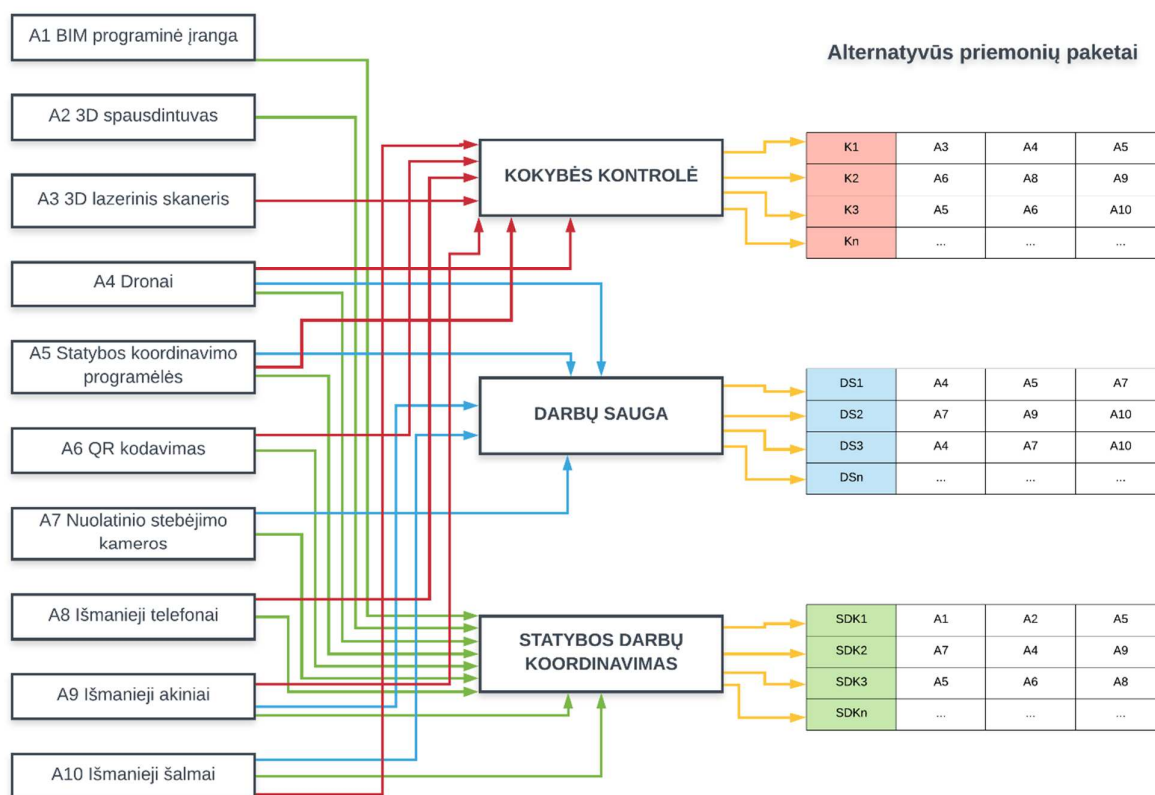
12 lentelė. Išmaniosios technologijos darbų saugai

Darbų sauga	Išmanioji technologija
1	Dronai
2	Statybos koordinavimo programėlės
3	Nuolatinio stebėjimo kameros
4	Išmanieji akiniai
5	Išmanieji šalmai

13 lentelė. Išmaniosios technologijos statybos procesų koordinavimui

Statybos procesų koordinavimas	Išmanioji technologija
1	BIM programinė įranga
2	3D spausdintuvas
3	Dronai
4	Statybos koordinavimo programėlės
5	QR kodavimas
6	Nuolatinio stebėjimo kameros
7	Išmanieji telefonai
8	Išmanieji akiniai
9	Išmanieji šalmai

Išmaniosios technologijos (A1-A10) sugrupuojamos pagal naudojimą kokybės kontrolei, darbų saugai ir statybos darbų koordinavimui. Tuomet alternatyvos (A) suskirstomos į paketus pagal suderinamumus (K, DS, SDK) (11 pav.). Galima sudaryti daug įvairių variantų (Kn, DSn, SDKn), tačiau nagrinėsime tik po 3 paketus kiekvienoje grupėje.



11 pav. Alternatyvių priemonių paketai

14 lentelė. Lyginamos alternatyvos

Alternatyvų grupės pagal darbų paskirtis	Lyginami alternatyvių priemonių paketai
Kokybės kontrolė	K1, K2, K3
Darbų sauga	DS1, DS2, DS3
Statybos darbų koordinavimas	SDK1, SDK2, SDK3

Į kokybės kontrolei skirtą priemonių paketą K1 įtrauktos A3, A4 ir A5 išmanios technologijos. Į kokybės kontrolei skirtą priemonių paketą K2 įtrauktos A6, A8 ir A9 išmanios technologijos. Į kokybės kontrolei skirtą priemonių paketą K3 įtrauktos A5, A6 ir A10 išmanios technologijos.

Į darbų saugos priemonių paketą DS1 įtrauktos A4, A5 ir A7 išmanios technologijos. Į darbų saugos priemonių paketą DS2 įtrauktos A7, A9 ir A10 išmanios technologijos. Į darbų saugos priemonių paketą DS3 įtrauktos A4, A7 ir A10 išmanios technologijos.

Į statybos darbų koordinavimui skirtą priemonių paketą SDK1 įtrauktos A1, A2 ir A5 išmanios technologijos. Į statybos darbų koordinavimui skirtą priemonių paketą SDK2 įtrauktos A4, A7 ir A9 išmanios technologijos. Į statybos darbų koordinavimui skirtą priemonių paketą SDK3 įtrauktos A5, A6 ir A8 išmanios technologijos.

10 dažniausiai naudojamų technologijų A1-A10 rodiklių (R1–R5) duomenys, naudojami daugiakriteriam lyginimui, pateikiami 15-24 lentelėse.

15 lentelė. A1 – BIM programinė įranga

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	21 000 Eur	Programinė įranga, licenzijos
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	10	Žymiai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	4	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas

Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	10	Reikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

16 lentelė. A2 – 3D spausdintuvas

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	91 000 Eur	Spausdintuvas, programinė įranga, užpildai
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	5	Minimaliai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	1	Statyba
Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	10	Reikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	5	Minimaliai suderinama su kitomis technologijomis

17 lentelė. A3 – 3D lazerinis skaneris

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	35 000 Eur	Skaneris, programinė įranga
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	5	Minimaliai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	3	Planavimas/Projektavimas/Statyba

Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	10	Reikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

18 lentelė. A4 – Dronai

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	38 500 Eur	Programinė įranga, dronai
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	5	Minimaliai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	2	Statyba/Naudojimas
Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	10	Reikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

19 lentelė. A5 – Statybos koordinavimo programėlės

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	1 000 Eur	Nuomuoama programinė įranga
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	10	Žymiai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	4	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas

Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	1	Nereikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

20 lentelė. A6 – QR kodavimas

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	600 Eur	Spausdintuvas, etiketės
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	10	Žymiai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	1	Statyba
Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	1	Nereikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

21 lentelė. A7 – Nuolatinio stebėjimo kameros

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	400 Eur	Kamera, programinė įranga
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	5	Minimaliai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	2	Statyba/Naudojimas

Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	1	Nereikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

22 lentelė. A8 – Išmanieji telefonai

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	1 000 Eur	Telefonas
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	5	Minimaliai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	1	Statyba
Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	1	Nereikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	5	Minimaliai suderinama su kitomis technologijomis

23 lentelė. A9 – Išmanieji akiniai

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	10 000 Eur	Akiniai, programinė įranga
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	10	Žymiai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	4	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas

Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	10	Reikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

24 lentelė. A10 – Išmanieji šalmai

Rodiklių grupė		min/max	Mato vienetai	Reikšmės	Pastabos
Kiekybiniai rodikliai					
R1	Kaina	Min	Eur	20 000 Eur	Šalmas, programinė įranga
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	10	Žymiai sutrumpina procesą.
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	4	Planavimas/Projektavimas/Statyba/Naudojimas
Kokybiniai rodikliai					
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	10	Reikalingi mokymai
R5	Suderinamumas	Max	Balai	10	Suderinama su kitomis technologijomis

3.3. Kriterijų reikšmingumų nustatymas.

Ekspertų apklausai yra sudaryta penkiolikos ekspertų komanda. Šiam tyrimui atlikti yra parinkti ekspertai, turintys aukštąjį išsilavinimą ir ne mažesnę kaip trejų metų patirtį statybos inžinerijos srityje. Ekspertų darbo patirtis ir užimamos pareigos pateiktos 25 lentelėje.

25 lentelė. Ekspertų charakteristikos

Ekspertai	Darbo patirtis statybos inžinerijos srityje	Užimamos pareigos
Ekspertas Nr.1	6	Vadovaujantis inžinierius
Ekspertas Nr.2	6	Inžinierius
Ekspertas Nr.3	5	Inžinierius
Ekspertas Nr.4	3	Jaunesnysis inžinierius

25 lentelės pabaiga

Ekspertas Nr.5	4	Inžinierius
Ekspertas Nr.6	3	Statybos inžinierius
Ekspertas Nr.7	4	Statybos inžinierius
Ekspertas Nr.8	3	Statybos inžinierius
Ekspertas Nr.9	3	Statybos inžinierius
Ekspertas Nr.10	3	Jaunesnysis inžinierius
Ekspertas Nr.11	4	Inžinierius
Ekspertas Nr.12	3	Jaunesnysis inžinierius
Ekspertas Nr.13	5	Inžinierius
Ekspertas Nr.14	6	Vadovaujantis inžinierius
Ekspertas Nr.15	5	Inžinierius

Kriterijų reikšmingumus nustato ekspertai vertindami svarbą skaitinėje skalėje nuo 0 iki 5 (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu). Ekspertų užpildytos anketos pateiktos B priede. Kriterijų svoriai nustatyti ekspertiniais metodais rodo, kiek vienas kriterijus svarbesnis už kitą. Užpildytos anketos apdorojamos, ekspertų atsakymai surašomi į bendrą 26 lentelę. Nustatomas ekspertizės patikimumas apskaičiuojant konkordacijos koeficientą, išreiškianti ekspertų nuomonių suderinamumą.

26 lentelė. Ekspertų nuomonės vieningumo skaičiavimas

	Kaina	Poveikis procesų trukmei	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Mokymų poreikis	Suderinam umas	
Ekspertas Nr.1	1	2	5	3	4	
Ekspertas Nr.2	1	3	5	2	4	
Ekspertas Nr.3	1	3	2	4	5	
Ekspertas Nr.4	2	1	4	3	5	
Ekspertas Nr.5	1	3	2	4	5	
Ekspertas Nr.6	2	5	1	3	4	
Ekspertas Nr.7	2	1	5	3	4	
Ekspertas Nr.8	3	1	2	5	4	
Ekspertas Nr.9	1	2	3	4	5	
Ekspertas Nr.10	1	2	4	3	5	
Ekspertas Nr.11	1	2	4	5	3	
Ekspertas Nr.12	1	2	5	3	4	
Ekspertas Nr.13	2	1	5	3	4	
Ekspertas Nr.14	1	2	3	4	5	
Ekspertas Nr.15	1	2	4	3	5	
t	1,400	2,133	3,600	3,467	4,400	Σ15
q	0,093	0,142	0,240	0,231	0,293	
Konkordacijos koeficientas, W	0,585					
Rangų sumos	21	32	54	52	66	Σ225

Rangų sumų vidurkis	45,00
Nuokrypio kvadratų suma, S	1316,00
Ekspertų skaičius, r	15
Rodiklių skaičius, n	5
Konkordacijos koeficiento reikšmingumas, χ^2	35,093
Norminis konkordacijos koeficiento reikšmingumas, χ^2_{lent}	$\vartheta = n - 1 = 5 - 1 = 4; \chi^2_{lent} = 13, 28;$ $\chi^2 = 35,093 \geq \chi^2_{lent} = 13, 28.$

Apskaičiavus kriterijų svorius ekspertinių įverčių metodu gauta, kad $\chi^2 = 35,093 \geq \chi^2_{lent} = 13, 28$. Tai reiškia, kad norminis konkordacijos koeficiento reikšmingumas, kai laisvės laipsnių skaičius lygus keturiems, o reikšmingumo lygmuo – 0,01 %, yra mažesnis už apskaičiuotą konkordacijos koeficiento reikšmingumą. Todėl pasikliovus skaičiavimo rezultatais, galima teigti, kad ekspertų nuomonė yra vieninga ir rodiklių reikšmingumas apskaičiuotas teisingai.

3.4. Alternatyvų daugiakriteris vertinimas

Alternatyvų daugiakriteriam vertinimui sudarau pradinių duomenų lenteles (27-29 lentelės). Visų pakete esančių technologijų kaina yra sudedama. Skiltyje technologijų naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle imamas maksimalus pakete esančių technologijų naudojimo etapų skaičius. Skiltyse poveikis procesų trukmei, mokymų poreikis ir suderinamumas yra skaičiuojamas trijų technologijų rodiklių vidurkis.

27 lentelė. Lyginamų alternatyvių paketų naudojamų kokybės kontrolei suvestiniai duomenis

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1				K2				K3			
					3D lazerinis skaneris	Dronai	Stat. darbų koord. prog.		QR kodai	Išmanieji telefonai	Išmanieji akiniai		Stat. darbų koord. prog.	QR kodai	Išmanieji šalmai	
Kiekybiniai rodikliai																
R1	Kaina	Min	Eur	0.093	35 000	38 500	1 000	74500	600	1 000	10 000	11 600	1 000	600	20 000	21 600
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0.142	5	5	10	6.67	10	5	10	8.33	10	10	10	10
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0.240	3	2	4	4	1	1	4	4	4	1	4	4
Kokybiniai rodikliai																
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0.231	10	10	1	7	1	1	10	4	1	1	10	4
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0.293	10	10	10	10	10	5	10	8.33	10	10	10	10

28 lentelė. Lyginamų alternatyvių paketų naudojamų darbų saugai suvestiniai duomenis

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	DS1				DS2				DS3			
					Dronai	Stat. darbų koord. prog.	Nuolatinio stebėjimo kamos		Nuolatinio stebėjimo kamos	Išmanieji akiniai	Išmanieji šalmai		Dronai	Nuolatinio stebėjimo kamos	Išmanieji šalmai	
Kiekybiniai rodikliai																
R1	Kaina	Min	Eur	0.093	38 500	1 000	400	39 900	400	10 000	20 000	30 400	38 500	400	20 000	58 900
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0.142	5	10	5	6,67	5	10	10	8,33	5	5	10	6,67
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0.240	2	4	2	4	2	4	4	4	2	2	4	4
Kokybiniai rodikliai																
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0.231	10	1	1	4	1	10	10	7	10	1	10	7
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0.293	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

29 lentelė. Lyginamų alternatyvių paketų naudojamų statybos darbų koordinavimui suvestiniai duomenis

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	SDK1				SDK 2				SDK 3			
					BIM program. įranga	3D spausdint uvas	Stat. darbų koord. prog.		Nuolatinio stebėjimo kamos	Dronai	Išmanieji akiniai		Stat. darbų koord. prog.	QR kodai	Išmanieji telefonai	
Kiekybiniai rodikliai																
R1	Kaina	Min	Eur	0.093	21 000	91 000	1 000	113000	400	38 500	10 000	10 400	1 000	600	1 000	2 600
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0.142	10	5	10	8.33	5	5	10	6.67	10	10	5	8,33
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0.240	4	1	4	4	2	2	4	4	4	1	1	4
Kokybiniai rodikliai																
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0.231	10	10	1	7	1	10	10	7	1	1	1	1
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0.293	10	5	10	8.33	10	10	10	10	10	10	5	8.33

3.4.1. TOPSIS metodų vertinimo rezultatai

Atliekama alternatyvų analizė TOPSIS metodu. Pirmiausia iš 27 lentelės duomenų yra apskaičiuojama normalizuotų reikšmių matrica, gauti rezultatai pateikiami 30 lentelėje.

30 lentelė. TOPSIS metodo normalizuotų reikšmių matrica

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1	K2	K3
Kiekybiniai rodikliai							
R1	Kaina	Min	Eur	0,093	0,950	0,148	0,275
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0,142	0,456	0,570	0,684
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0,240	0,577	0,577	0,577
Kokybiniai rodikliai							
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0,231	0,778	0,444	0,444
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0,293	0,609	0,508	0,609

Pasverta normalizuotų reikšmių matrica gaunama kiekvieną stulpelio narį dauginant iš to stulpelio rodiklio reikšmingumo. Nustačius alternatyvų santykinę atstumą iki idealaus atvejo, surašoma priortitetų eilutė. TOPSIS metodo galutinių reikšmių matrica pateikta 31 lentelėje.

31 lentelė. TOPSIS metodo pasverta normalizuotoji matrica

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1	K2	K3	A_i^+	A_i^-
Kiekybiniai rodikliai									
R1	Kaina	Min	Eur	0,093	0,089	0,014	0,026	0,014	0,089
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0,142	0,065	0,081	0,097	0,097	0,065
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0,240	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139
Kokybiniai rodikliai									
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0,231	0,180	0,103	0,103	0,103	0,180

R5	Suderinamumas	Max	Balai	0,293	0,179	0,149	0,179	0,179	0,149
L_i^+					0,112	0,034	0,012		
L_i^+					0,030	0,109	0,109		
C_i					0,210	0,762	0,901		
Z_t					0,233	0,845	1,000		
Prioritetų eilutė					III	II	I		

3.4.2. COPRAS metodų vertinimo rezultatai

Atliekama alternatyvų analizė COPRAS metodu. Pirmiausia iš 27 lentelės duomenų yra apskaičiuojama normalizuotų reikšmių matrica, gauti rezultatai pateikiami 32 lentelėje.

32 lentelė. COPRAS metodo normalizuotų reikšmių matrica

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1	K2	K3
Kiekybiniai rodikliai							
R1	Kaina	Min	Eur	0,093	0,065	0,010	0,019
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0,142	0,038	0,047	0,057
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0,240	0,080	0,080	0,080
Kokybiniai rodikliai							
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0,231	0,108	0,062	0,062
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0,293	0,104	0,086	0,104

Paversta normalizuotų reikšmių matrica gaunama kiekvieną narį dauginant iš to stulpelio rodiklio reikšmingumo. Nustačius alternatyvos naudingumo laipsnį surašoma prioritetų eilutė. COPRAS metodo galutinių reikšmių matrica pateikta 33 lentelėje.

33 lentelė. COPRAS metodo pasverta normalizuotoji matrica

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1	K2	K3
Kiekybiniai rodikliai							
R1	Kaina	Min	Eur	0,093	0,065	0,010	0,019
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0,142	0,038	0,047	0,057
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0,240	0,080	0,080	0,080
Kokybiniai rodikliai							
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0,231	0,108	0,062	0,062
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0,293	0,104	0,086	0,104
P _j					0,221	0,214	0,240
R _j					0,172	0,072	0,080
Q _j					0,253	0,245	0,271
N					93,01%	90,15%	100,00%
Prioritetų eilutė					II	III	I

3.4.3. SAW metodų vertinimo rezultatai

Atliekama alternatyvų analizė SAW metodu. Pirmiausia iš 27 lentelės duomenų yra apskaičiuojama normalizuotų reikšmių matrica, gauti rezultatai pateikiami 34 lentelėje.

34 lentelė. SAW metodo normalizuotų reikšmių matrica

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1	K2	K3
Kiekybiniai rodikliai							
R1	Kaina	Min	Eur	0,093	0,16	1,00	0,54
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0,142	0,67	0,83	1,00
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0,240	1,00	1,00	1,00
Kokybiniai rodikliai							
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0,231	0,57	1,00	1,00
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0,293	1,00	0,83	1,00

Galutinių reikšmių matrica gaunama kiekvieną stulpelio narį dauginant iš stulpelio rodiklio reikšmingumo. Nustačius reikšmių sumas, surašoma prioritetų eilutė. SAW metodo galutinių reikšmių matrica pateikta 35 lentelėje.

35 lentelė. SAW metodo galutinių reikšmių matrica

Rodiklių grupė		min/ max	Mato vienetai	Rodiklio svoris	K1	K2	K3
Kiekybiniai rodikliai							
R1	Kaina	Min	Eur	0,093	0,015	0,093	0,050
R2	Poveikis procesų trukmei	Max	Balai	0,142	0,095	0,119	0,142
R3	Max techn. naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Max	Vnt.	0,240	0,240	0,240	0,240
Kokybiniai rodikliai							
R4	Mokymų poreikis	Min	Balai	0,231	0,132	0,231	0,231
R5	Suderinamumas	Max	Balai	0,293	0,293	0,244	0,293
Σ					0,775	0,927	0,957
Prioritetų eilutė					III	II	I

Analogiškai apskaičiuojamos darbų saugos ir statybos darbų koordinavimo alternatyvių priemonių paketų prioritetinės eilutės. Duomenys pateikiami 36 lentelėje.

3.5. Daugiakriterio vertinimo rezultatai

3.4.1, 3.4.2 ir 3.4.3 poskyriuose gautos prioritetų eilutės surašomos į 36 lentelę.

36 lentelė. Lyginamų alternatyvių priemonių paketų prioritetinės eilutės

Prioritetų eilutė		I	II	III
Kokybės kontrolė	TOPSIS	K3	K2	K1
	COPRAS	K3	K1	K2
	SAW	K3	K2	K1
Darbų sauga	TOPSIS	DS1	DS2	DS3
	COPRAS	DS2	DS1	DS3
	SAW	DS1	DS2	DS3
Statybos darbų koordinavimas	TOPSIS	SDK3	SDK2	SDK1
	COPRAS	SDK2	SDK1	SDK3
	SAW	SDK3	SDK2	SDK1

Daugiakriteris vertinimas buvo atliekamas trimis alternatyvių priemonių paketams įvertinti.

Kokybės kontrolės technologijų grupėje vertinant TOPSIS, COPRAS ir SAW metodais vieningai naudingiausi išrinktas **K3 paketas (statybos darbų koordinavimo programėlių, QR kodavimo ir išmaniųjų šalmų derinys)**. Antroje vietoje vertinant TOPSIS ir SAW metodais gautas K2 paketas (QR kodavimo, išmaniųjų telefonų ir išmaniųjų akinių derinys), COPRAS metodu – K1 paketas (3D lazerinio skanerio, dronų ir statybos darbų koordinavimo programėlių derinys). Ir trečioje prioritutinės eilutės vietoje vertinant TOPSIS ir SAW metodais gautas K1 paketas ir COPRAS metodu – K2 paketas.

Darbų saugos technologijų grupėje vertinant TOPSIS ir SAW metodais naudingiausi išrinktas **DS1 paketas (dronų, statybos darbų koordinavimo programėlių ir nuolatinio stebėjimo kamerų derinys)**, vertinant COPRAS metodu – DS2 paketas (nuolatinio stebėjimo kamerų, išmaniųjų akinių ir išmaniųjų šalmų derinys). Antroje vietoje vertinant TOPSIS ir SAW metodais gautas DS2 paketas, COPRAS metodu – DS1 paketas. Ir trečioje prioritutinės eilutės vietoje vertinant TOPSIS, COPRAS ir SAW metodais vieningai gautas DS3 paketas (dronų, nuolatinio stebėjimo kamerų ir išmaniųjų šalmų derinys).

Statybos darbų koordinavimo technologijų grupėje vertinant TOPSIS ir SAW metodais naudingiausi išrinktas **SDK3 paketas (statybos darbų koordinavimo programėlių, QR kodavimo ir išmaniųjų telefonų derinys)**, vertinant COPRAS metodu – SDK2 paketas (nuolatinio stebėjimo kamerų, dronų ir išmaniųjų akinių derinys). Antroje vietoje vertinant TOPSIS ir SAW metodais gautas SDK2 paketas, COPRAS metodu – SDK1 paketas (BIM programinės įrangos, 3D spausdintuvo ir statybos darbų koordinavimo programėlių derinys). Ir trečioje prioritutinės eilutės vietoje vertinant TOPSIS ir SAW metodais gautas SDK1 paketas ir COPRAS metodu – SDK3 paketas.

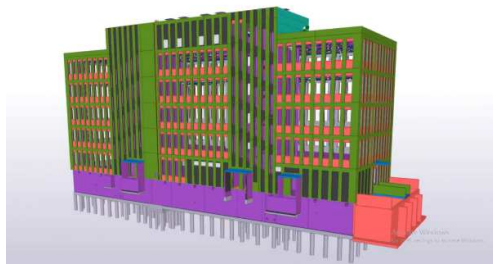
Gauti rezultatai parodė, kad pirmosios prioritutinės eilutės pozicijos nedaug skyrėsi nuo antrosios, o trečiosios, mažiausiai palankios, skirtumas buvo didžiausias. Todėl galima daryti išvadą, kad atliktas vertinimas yra teisingas ir nustatytos prioritutinės eilutės yra patikimos.

Taip pat reiktų pastebėti, kad visose geriausiai vertinamose alternatyvose - priemonių paketuose įtrauktos statybos darbų koordinavimo programėlės, kurios turi labai didelį suderinamumą su kitomis technologijomis ir sąlyginai nedidelę kainą lyginant su kitomis technologijomis. Taip pat nebrangus ir populiarus QR kodavimas, nuolatinio stebėjimo

kameros ir išmanieji telefonai. Išvardyti privalumai gali turėti įtakos šių technologijų panaudojimui ateityje.

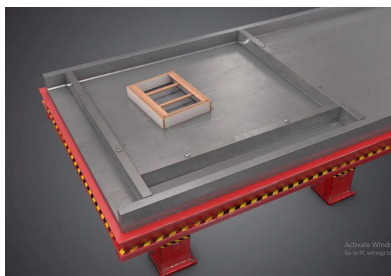
3.6. Išmaniųjų technologijų taikymo Lietuvos statybos projektuose pavyzdžiai

Puikus išmaniųjų technologijų panaudojimo Lietuvoje pavyzdys yra „INHUS Group“ administracinio pastato statybos Vilniuje. Konstrukcijų projekto dalis, įskaitant konstrukcijų projektavimą, gamybą, logistiką ir statybas, buvo įgyvendinta „Tekla Structures“ aplinkoje ir visa informacija buvo laikoma viename modelyje (12 pav.).



12 pav. Administracinio pastato BIM modelis

Gelžbetoninių konstrukcijų gamybai panaudoti projektoriai, kurie sukuria keičiamo dydžio lazerines projekcijas, naudojamas tiksliai išdėstyti elementus ant padėklų ar stalų (13 pav.).



13 pav. „LAP laser“ naudojimas surenkamųjų gelžbetoninių konstrukcijų gamybai
QR kodai taikomi konstrukcijų techninės informacijos rinkimui ir sekimui (14 pav.).



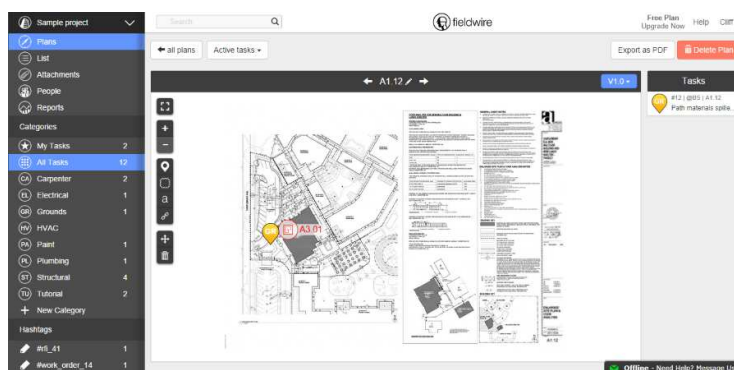
14 pav. QR kodų naudojimas

Projekto pažangai, įrangai ir atsargoms sekti, darbų saugai užtikrinti buvo naudojamos nuolatinio stebėjimo kameros (15 pav.).



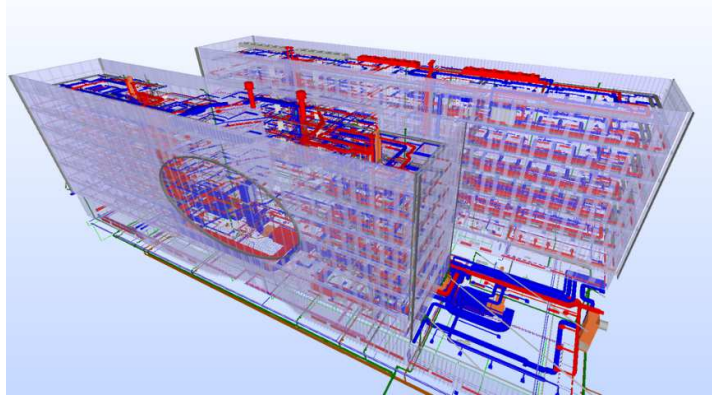
15 pav. Nuolatinio stebėjimo kamerų naudojimas

Naudojantis „Fieldwire“ programėle buvo atliekami statybos darbų koordinavimo, planavimo ir kokybės kontrolės užtikrinimo darbai (16 pav.).



16 pav. „Fieldwire“ programėlės naudojimas

Kita išmaniąsias technologijas naudojanti įmonė Lietuvoje yra „Panevežio Statybos Trestas“. Bendradarbiaujant su „Cloud Architektais“ verslo centro U219 konstrukcijų projektavimui buvo pasirinkta BIM programinės įrangos paketai (17 pav.).



17 pav. Verslo centro U219 BIM modelis

Statybų priežiūrai, kokybės užtikrinimui, darbų saugai ir neatitikimų bei defektų registravimui naudojama „Dalux Field“ programėlė.



18 pav. „Dalux Field“ programėlės naudojimas

Statybos proceso valdymui įmonė sukūrė mobiliąjam įrenginiui pritaikytą programėlę „PST Scanner“ ir kiekvienam gaminiui sukūrė QR kodus. Programėlė kiekviename proceso etape – gamyboje, tiekime ir montavime – skenuoja konstrukcinius elementus. Tuomet kiekvieno elemento būklė realiu laiku atvaizduojama modelyje.

Bendram projekto koordinavimui įmonė naudoja „Bitrix24“ programą, kuri palengvina darbų planavimą, užduočių ir ataskaitų sudarymą, dokumentų apdorojimą ir kitus su projekto valdymu susijusius darbus.

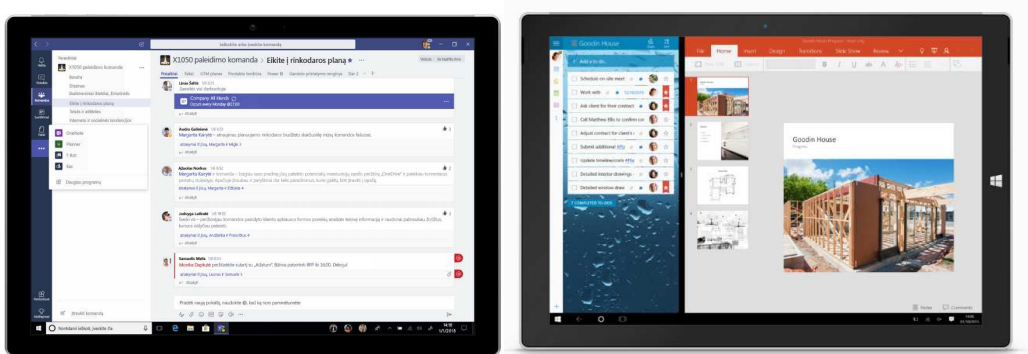
„KG Constructions“ savo naujausiems projektams įgyvendinti taip pat naudoja išmaniąsias technologijas. Įmonė administracinio pastato G. Baravyko g. 4 apžiūrai naudoja dronus.

Įrankių ir mechanizmų valdymui naudoja „Hilti Connect“ programėlę, kuri veikia kartu su radijo dažnio sekimo etiketėmis (19 pav.).



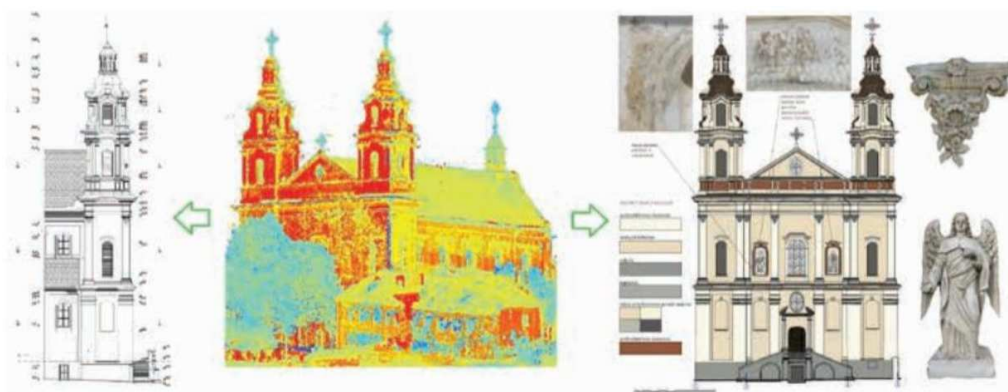
19 pav. „Hilti Connect“ programėlė

Komandiniam darbui pagerinti naudojama „Microsoft Teams“ programėlė, konkrečių užduočių paskirstymui „Wunderlist“ programėlė (20 pav.).



20 pav. „Microsoft Teams“ ir „Wunderlist“ programėlės

Išmaniąsias technologijas taip pat galima taikyti ir istorinių, kultūros paveldo ir senų rekonstruojamų pastatų projektuose. Kaip išmaniųjų technologijų taikymo pavyzdį galima įvardinti Šv. arkangelo Rapolo bažnyčios tvarkymo darbų projektą (21 pav.).



21 pav. Vilniaus Šv. arkangelo Rapolo bažnyčios tvarkymo darbų projekto vaizdai

Tvarkymo darbams reikalingų duomenų surinkimui ir apdorijimui buvo naudojamas stabilus lazerinis skeneris, pozicijuoti dronai ir aukštos raiškos fotografavimo priemonės. Sukurtas esamo istorinio pastato laikomųjų konstrukcijų geometrinis HBIM (angl. Historic/Heritage Building Information Modeling) modelis, kuris skirtas patikrinti ir pataisyti esamo istorinio pastato ir naujų sprendinių sankirtas (Migiliskas, 2019).

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

1. Šiame darbe atliktas išmaniųjų technologijų panaudojimo ir suderinamumo galimybių tyrimas. Atlikta mokslinių tyrimų analizė, daugiatislo vertinimo metodų apžvalga.
2. Remiantis kitų šalių patirties analize nustatyta išmaniųjų technologijų nauda statybos procesų valdymui. Dažniausiai minimos naudos – trumpesnis statybos procesas, geresnė darbų kokybė, efektyvesnis darbų kokybės kontrolės procesas, sklandesnis statybos darbų organizavimas, geresnis darbų saugos užtikrinimas, tinkamesnis resursų valdymas ir darnesnis komandinis darbas. Skirtingi statybų dalyviai įvairiai vertina išmaniųjų technologijų naudą. Pavyzdžiui, užsakovai vertina išmaniuosius šalumus, projekto vadovai, darbų vadovai ir techniniai prižiūrėtojai labiau vertina išmaniąsias programėles, kuriomis galima sekti statybos procesą ir formuoti ataskaitas, statybininkai ir gamybos darbuotojai vertina robotus, kurie padeda darbą atlikti greičiau ir su mažesniu nuovargiu.
3. Darbe lyginamos trys technologijų panaudojimo grupės: statybos darbų koordinavimui naudojamos išmaniosios technologijos, kokybės kontrolei naudojamos išmaniosios technologijos ir darbų saugai naudojamos išmaniosios technologijos.
4. Šios trys alternatyvų grupės panaudotos sudaryti išmaniųjų technologijų deriniams pagal jų naudojimo paskirtį bei suderinamumą (11 pav.). Atliktas išmaniųjų technologijų kainos, poveikio procesų trukmei, technologijos naudojimo etapų skaičiaus pastato gyvavimo cikle, mokymų poreikio ir suderinamumo vertinimas.
5. Atlikus vertinimus paaiškėjo, kad dauguma analizuojamų išmaniųjų technologijų yra naudojamos statybos darbų etape. Didžioji dalis technologijų skirtos kokybės kontrolei, darbų saugai bei darbų koordinavimui užtikrinti.
6. Kokybės kontrolės technologijų grupėje, vertinant TOPSIS, COPRAS ir SAW metodais, vieningai naudingiausias gautas K3 paketas (statybos darbų koordinavimo programėlių, QR kodavimo ir išmaniųjų šalmų derinys).
7. Darbų saugos technologijų grupėje, vertinant TOPSIS ir SAW metodais, kaip naudingiausias gautas DS1 paketas (dronų, statybos darbų koordinavimo programėlių ir nuolatinio stebėjimo kamerų derinys), vertinant COPRAS metodu – DS2 paketas (nuolatinio stebėjimo kamerų, išmaniųjų akinių ir išmaniųjų šalmų derinys).

8. Statybos darbų koordinavimo technologijų grupėje, vertinant TOPSIS ir SAW metodais, kaip naudingiausias gautas SDK3 paketas (statybos darbų koordinavimo programėlių, QR kodavimo ir išmaniųjų telefonų derinys), vertinant COPRAS metodu – SDK2 paketas (nuolatinio stebėjimo kamerų, dronų ir išmaniųjų akinių derinys).
9. Taip pat reikėtų pastebėti, kad visose geriausiai vertinamose alternatyvose - priemonių paketuose įtrauktos statybos darbų koordinavimo programėlės, kurios turi labai didelį suderinamumą su kitomis technologijomis ir sąlyginai nedidelę kainą, lyginant su kitomis technologijomis. Taip pat nebrangus ir populiarus QR kodavimas, nuolatinio stebėjimo kameros ir išmanieji telefonai. Išvardyti privalumai gali turėti įtakos šių technologijų panaudojimui ateityje.
10. Tyrimas atskleidė, kad pasaulyje yra daugybė projektavimo ir statybos įmonių, kurios savo darbams atlikti naudoja išmaniąsias technologijas. Puiku ir tai, kad Lietuva neatsilieka nuo kitų pasaulio šalių. Turime modernių ir kokybiškai darbus atliekančių įmonių, kurios taiko didžiąją dalį darbe aprašytų technologijų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Cat phones (2019). The CAT Smartphone features. Prieiga per internetą: <https://www.catphones.com/en-us/features/>.
- Business.com staff (2017). „Why your construction company needs a smart helmet“. *Business.com*, 1. Prieiga per internetą <https://www.business.com/articles/smart-helmet-construction/>.
- Bohn, J.S. and Teizer, J. (2010). Benefits and Barriers of Construction Project Monitoring Using High-Resolution Automated Cameras. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136, 1-6. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/245283803_Benefits_and_Barriers_of_Construction_Project_Monitoring_Using_High-Resolution_Automated_Cameras.
- Chen, S. J., & Hwang, C. L. 1992. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, New York. 536 p
- Construction Robotics (2019). MULE 135. Prieiga per internetą <https://www.construction-robotics.com/mule/>.
- Construction Robotics (2019). SAM 100. Prieiga per internetą <https://www.construction-robotics.com/sam100/>.
- Entrop, A. G., and Vasenev A. (2017). Infrared drones in the construction industry: designing a protocol for building thermography procedures. *Energy Procedia*, 132, 63-68. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217347835>
- Fard, M. G. and Pena-Mora, F. (2007). Application of Visualization Techniques for Progress Monitoring. *Research Gate*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/228370278_Application_of_Visualization_Techniques_for_Construction_Progress_Monitoring
- Fard, M. D., Sridharan, A., Lee, S. and Pena-Mora, F. (2007). Visual Representation of Construction Progress Monitoring Metrics on Time-Lapse Photographs. *Research Gate*. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/267374796_Visual_Representation_of_Construction_Progress_Monitoring_Metrics_on_Time-Lapse_Photos.
- Fieldwire (2018). Field Management Software for Construction Teams. Prieiga per internetą <https://www.fieldwire.com/>.

Fox, M., Coley, D., Goodhew, S. and Wilde, P. D. (2015). Time-lapse thermography for building defect detection. *Energy and Buildings*, 92, 95-106. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815000274>

Gaydhani, N. (2017). The Daqri Smart Helmet – A closer look. Prieiga per internetą <https://www.linkedin.com/pulse/daqri-smart-helmet-closer-look-nathan-gaydhani>.

Grayson, W. (2017). Autonomous Track Loader performs low-level excavation, grading tasks to boost jobsite productivity. Prieiga per internetą <https://www.equipmentworld.com/built-robotics-autonomous-track-loader/>.

Hager, I., Golonka, A., and Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering*, 151, 292-299. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816317453>.

Higgins, A., (2017). Beginner's Guide to Using Drones for Construction Management. Prieiga per internetą: <https://connect.bim360.autodesk.com/drones-for-construction-management>.

Hottner, L., Bachlmair, E., Zeppetzauer, M., Wirth, C. and Ferscha, A. (2017). Design of a smart helmet. Proceedings of the Seventh International Conference on the Internet of Things (IoT'17). ACM digital library, New York, NY, USA.

Huber, D., Member, IEEE, Akinci, B., Tang, P., Adan, A., Okorn, B., and Xiong, X. (2010). Using Laser Scanners for Modeling and Analysis in Architecture, Engineering, and Construction. In „44th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)“ (1-6). IEEE, Princeton, NJ, USA.

Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981). Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications. *A State of the Art Survey*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Illumagear (2019). The Halo Lights. Prieiga per internetą <https://www.illumagear.com/store/halos/halo>.

Yang, J., Park, M.W., Vela, P. A. and Fard, M. G. (2015). Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future. *Advanced Engineering Informatics*, 29, 211-224. Prieiga per internetą: <https://experts.illinois.edu/en/publications/construction-performance-monitoring-via-still-images-time-lapse-p>.

Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Raslanas, S., Ginevicius, R., Komka, A. and Malinauskas, P. (2006). Selection of low-e windows in retrofit of public building by applying multiple criteria COPRAS. A Lithuanian case *Energy and Buildings*, 38(5), 454-462.

Kespry (2018). Earthworks Project Management. Prieiga per internetą: <https://www.kespry.com/earthworks-management/>.

Kochovski, P., and Stankovski, V. (2018). Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications. *Automation in Construction*, 85, 182-192. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517304776>.

Kurien, M., Kim, M., Kopsida, M., and Brilakis, I. (2018). Real-time simulation of construction workers using combined human body and hand tracking for robotic worker system. *Automation in Construction*, 86, 125-137. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580517300493>.

LAP (2018). Laser Projectors for the Precast Concrete Parts Industry. Prieiga per internetą <https://www.lap-laser.com/industry/concrete>.

Lorenzo, T. M., Benedetta, B., Manuele, C. and Davide, T. (2014). BIM and QR-code. A Synergic Application in Construction Site Management. *Procedia Engineering*, 85, 520-528. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814019456>

MacCrimmon, K. R. 1968. Decision making among multiple–attribute alternatives: A Survey and Consolidated Approach. RAND Memorandum, RM-4823-ARPA.

Migilinskas, D. (2019). BIM technologijų taikymas istorinių ir kultūros paveldo pastatų projektuose. *Skaitmeninė statyba 2019 /BIM ir kultūros paveldas*, 5, 40-41. Prieiga per internetą: <https://skaitmeninestatyba.lt/almanachas-skaitmenine-statyba-2019/>

Pauley Creative (2015). 10 ways construction companies can use QR codes. Prieiga per internetą: <http://www.pauleycreative.co.uk/2011/04/10-ways-construction-companies-can-use-qr-codes/>.

Pettitt, J. (2017). This start-up is designing work boots that can charge devices and track a worker's every move. Prieiga per internetą: <https://www.cnbc.com/2017/05/09/solepowers-smart-work-boots-generate-power-with-each-footstep.html>.

Roberti, M. (2013). How Is RFID Being Used in the Construction Industry? Prieiga per internetą <https://www.rfidjournal.com/blogs/experts/entry?10604>.

Rutkauskaitė R. (2018). INHUS grupė įsikurs po vienu stogu – stato administracinį pastatą. *Verslo žinios*, Pramonė. Prieiga per internetą: <https://www.vz.lt/pramone/2018/05/04/inhus-grupe-isikurs-po-vienu-stogu--stato-administracini-pastata>

Sakin, M., and Kiroglu, Y. C. (2017). 3D Printing of buildings: Construction of the Sustainable Houses of the Future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702-711. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217346969>.

Simanavičienė, R. (2016). TOPSIS metodo jautrumas normalizavimo taisyklių atžvilgiu. *Lietuvos matematikų draugijos darbai*, 57,71-76. Prieiga per internetą: http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/926/3/1973_Simanaviciene_Disertacija_WEB.pdf .

Skaitmeninė statyba (2017). Statybos projekto etapai ir BIM taikymo būdai. Prieiga per internetą: <https://skaitmeninestatyba.lt/produktas/statybos-projekto-etapai-ir-bim-taikymo-budai/>.

Song, K., Pollalis, S. and Pena-Mora, F. (2005). Project Dashboard: Concurrent Visual Representation Method of Project Metrics on 3D Building Models. Proc. of Int. Conference on Computing in Civil Engineering, ASCE, Cancun, Mexico.

South Bay Construction (2017). 7 gadgets that are changing construction industry. Prieiga per internetą <http://www.sbc.com/7-gadgets-changing-construction-industry/>.

Swedberg, C. (2013). DPR Construction Uses RFID building-Security Solution. *RFID Journal*, 1-3. Prieiga per internetą <https://www.rfidjournal.com/articles/view?10471>.

Sweet, K. (2015). Resurrecting the master builder: A pedagogical strategy for robotic construction. *Automation in Construction*, 72, 33-38. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580516301443>.

Technopedia, (2019). Technopedia explains Smart Device. Prieiga per internetą: <https://www.techopedia.com/definition/31463/smart-device>

The Tech Terms Computer Dictionary, (2019). Hardware Terms: SMART definition. Prieiga per internetą: <https://techterms.com/definition/smart>

Thilmany, J. (2019). Exoskeletons for Construction Workers Are Marching On-Site. Prieiga per internetą <https://constructible.trimble.com/construction-industry/exoskeletons-for-construction-workers-are-marching-on-site>.

TyBot, LLC (2018). Why TyBot . Prieiga per internetą <https://www.tybotllc.com/why-tybot>.

Trupp, S. (2013). Glove shows its true color. *Fraunhofer*, 5-6. Prieiga per internetą: https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/press-media/2013/may/zip/rn5_2013_MAI.pdf.

Zavadskas, E. K., & Kaklauskas, A. (1996). *Multicriteria Evaluation of Building (Pastatų sistemos techninis įvertinimas)*. Vilnius: Technika.

XOi technologies (2018). How Machine Learning Works in the Field. Prieiga per internetą <http://www.xoi.io/blog/machine-learning-works-field/>.



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS
UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS

P R O G R A M A

22-osios
Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos

“MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS” STATYBA

SEKCIJA
**STATYBOS VALDYMAS IR
NEKILNOJAMASIS TURTAS**

*2019 m. kovo 19 d. 9:00 val.
SRK-I 301 aud.*

VILNIUS

Kontaktiniai asmenys:
N.Lepkova, tel. +370 5 2745236;
el. p. natalija.lepkova@vgtu.lt,
A.Liubertienė, tel. +370 5 2745232,
el. p. aldona.liubertiene@vgtu.lt

Išsamesnė informacija internete adresu:
[http://jmk.statyba.vgtu.lt/index.php/statyba/index/pages/
view/pradzia2019](http://jmk.statyba.vgtu.lt/index.php/statyba/index/pages/view/pradzia2019)

KONFERENCIJOS DALYVIAI

Konferencija skirta doktorantams, dirbantiems statybos srityje ir magistrantams, aktyviai dalyvaujantiems mokslinėje veikloje.

KONFERENCIJOS PROGRAMA

9:00 – Dalyvių registracija **9:10–9:15** –

Sveikinimo žodis konferencijos dalyviams.

9:15–14:00 – Posėdis **12:15–12:30** – Pertrauka

1. Vaida Lukšaitė. „Municipalinio nekilnojamojo turto valdymo modelis“.
2. Valentinas Čiesiūnas. „Antrinės rinkos gamybos ir pramonės paskirties patalpų Lietuvoje pardavimo kainų matematinė-statistinė analizė“.
3. Giedrė Virbickaitė. „Rangos įmonių pasiūlymų vertinimas ir rangovo atranka, taikant daugiakriterį vertinimą“.
4. Liepa Glinskaitė. „Makroekonominės aplinkos veiksnių įtakos, nekilnojamojo turto rinkai Lietuvoje, analizė“.
5. Gabrielė Jasevičiūtė, Ieva Cataldo. „PropTech“ supratimas, naujovės ir kliūtys“.
6. Laura Sketerskytė, Gabrielė Jasevičiūtė. „Auros technologijų taikymas nekilnojamojo turto valdyme“.
7. Eglė Ciunytė. „Statybos proceso valdymo modelių taikant BIM technologijas analizė“.

8. Eglė Rudinskaitė. Baltijos šalių būsto rinkos darnumo daugiakriteris vertinimas.
9. Lukas Vasiliauskas. „Transporto sistemos įtaka nekilnojamojo turto rinkai“.
9. Miglė Lapeikytė. "Bendrastatybinius darbus atliekančių darbininkų darbo vietos rizikos vertinimas".
10. Laura Paškevičiūtė. „Statybos projekto įgyvendinimo efektyvumo analizė ir optimizavimas“.
11. Viktorija Ralytė. "Pastatų reitingavimo sistemų kriterijų aktualumo kitimas. Pastatų vertinimo sistema WELL".
12. Justas Matačiūnas. "Šilumos vartojimo efektyvumo didinimas Lietuvoje".
13. Giedrius Fugalis. „Statybos tiekimo grandinės sąvoka ir reikšmė“.
14. Tomas Starta. „Vizualiniai statybos planavimo ir kontrolės metodai“.
15. Justė Makaravičienė. „Bendrosios vertės kūrimas Lietuvos įmonės pavyzdžiu“.

12:10-12:30 Pertrauka

16. Vesta Sinušaitė–Petreikienė. „Sodininkų bendrijų teritorijų urbanizacija Vilniaus mieste“.
17. Karolina Čepulytė. „Išmaniųjų technologijų taikymas statybos proceso valdymui“.
18. Gitana Jarmalavičiūtė. „Makroprudencinės politikos įtaka Lietuvos ir kitų Baltijos šalių nekilnojamojo turto rinkoms“.

19. Ignas Čepulkovskis. „Pastatų fasadų šiltinimo ir apdailos daugiakriterė analizė“.
20. Ieva Lopšaitytė. „Modelių efektyviai ir darniai pastatų renovacijai analizė“.
21. Živilė Gasparavičiūtė. „Kokybės užtikrinimo analizė tvariuose ir tradiciniuose komerciniuose pastatuose Lietuvoje ir užsienyje“.
22. Ignas Rimkevičius. "Statybos procesų organizavimo tobulinimas taikant BIM ir LEAN metodologijas".
23. Greta Saulytė. „Naujų gyvenamųjų namų statybos projektų darnumo daugiakriteris vertinimas“.
24. Edvinas Rapolavičius. "Stiklo-aliuminio" fasadų efektyvaus varianto parinkimo algoritmo kūrimas"

Pastaba: Pranešimui skiriamos 5 min.

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	6
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Vadovaujantis inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	5
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	6
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	3
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	5
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	2
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	5
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	3
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	2
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	4
R5	Suderinamumas	Balai	5

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalauras, magistras, daktaras)	Bakalauras
Jūsų pareigos	Jaunesnysis inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	2
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	1
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	4
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	5

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	4
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalauro, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	3
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	2
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	4
R5	Suderinamumas	Balai	5

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Statybos inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	2
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	5
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	1
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	4
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalauro, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Statybos inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	2
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	1
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	5
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Statybos inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	3
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	1
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	2
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	5
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Statybos inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	3
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	4
R5	Suderinamumas	Balai	5

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalauras, magistras, daktaras)	Bakalauras
Jūsų pareigos	Jaunesnysis inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	4
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	5

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	4
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	4
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	5
R5	Suderinamumas	Balai	3

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalauras, magistras, daktaras)	Bakalauras
Jūsų pareigos	Jaunesnysis inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniąją technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	5
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	2
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	1
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	5
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	4

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	3
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalauro, magistras, daktaras)	Daktaras
Jūsų pareigos	Vadovaujantis inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniają technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	3
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	4
R5	Suderinamumas	Balai	5

Ekspertų apklausos anketa

Anketa skirta projektavimo ir statybos įmonėse dirbantiems vadovams, statybos vadovams, jų asistentams ir inžinieriams. Ekspertinės apklausos tikslas – nustatyti pasirinkimo rodiklių reikšmingumus. Apklausos rezultatai bus panaudoti magistro baigiamajame darbe. Ekspertinę anketa parengė Vilniaus Gedimino technikos universiteto statybos technologijų ir valdymo programos studentė Karolina Čepulytė (el. paštas karolina.cepulyte@stud.vgtu.lt).

Kokia Jūsų darbo patirtis statybų inžinerijos srityje? (metai)	5
Kvalifikacijos arba mokslo laipsnis (bakalaurs, magistras, daktaras)	Magistras
Jūsų pareigos	Inžinierius

Rodiklių reikšmingumai yra nustatomi rangavimo metodu. Naudojama realiųjų skaičių skalė – nuo 1 iki 5. Renkantis išmaniąją technologiją svarbiausias rodiklis įgyja 1 balo reikšmę, o kiti rodikliai proporcingai yra mažiaus svarbūs (1 balų – labai svarbu, 2 – svarbu, 3 – dažniausiai svarbu, 4 – dažniausiai nesvarbu, 5 – nesvarbu).

Rodiklių grupė		Mato vienetai	Įvertinimas
Kiekybiniai rodikliai			
R1	Kaina	Eur	1
R2	Poveikis procesų trukmei	Balai	2
R3	Technologijos naudojimo etapų skaičius pastato gyvavimo cikle	Vnt.	4
Kokybiniai rodikliai			
R4	Apmokymų poreikis	Balai	3
R5	Suderinamumas	Balai	5