

Civil engineering  
Statybos inžinerija

KONSTRUKCINIŲ BIM MODELIO VARIANTŲ VERTINIMO RODIKLIŲ  
REIŠMINGUMŲ TYRIMAS

Tomas SINKEVIČ \*

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2021 m. gegužės 27 d.; priimta 2021 m. lapkričio 30 d.

**Santrauka.** Straipsnyje analizuojami statinio informacinio modelio (angl. *Building Information Modeling* – BIM) konstrukcinių variantų vertinimo rodikliai. Tyrimui atlikti sumodeliuoti skirtingi daugiabučio pastato informacinio modelio konstrukciniai variantai, remiantis jais vertinimui išskirti svarbiausi rodikliai, lemiantys BIM technologijų taikymą statybos projekte. Tyrimui buvo sudaryta apklausos anketa ir apklausus 22 respondentus surinkti BIM ekspertų vertinimai. Gauti tyrimo duomenys išanalizuoti analitiniu hierarchijos procese esančiu porinio palyginimo metodu. Pasielkus ekspertinio porinio palyginimo metodo iteracijas nustatyti tiriamų rodiklių reikšmingumai BIM technologijų taikymo srityje bei BIM technologijų taikymo nauda.

**Reikšminiai žodžiai:** AHP, BIM, MCDM, daugiakriterių sprendimų priėmimo metodika, porinio palyginimo metodas, konstrukcinio modelio vertinimo rodikliai.

## Įvadas

Spartūs ekologijos pokyčiai įpareigoja žmoniją maksimaliai tausoti gamtą bei racionaliai naudoti žemės išteklius, o vis didėjantys nulinio pastato energinio naudingumo reikalavimai priverčia ieškoti pastatams vis naujų konstrukcinių sprendimų. Atsiradusios naujausios statinio informacinio modeliavimo (angl. *Building Information Modeling* – BIM) technologijos leidžia atlikti analizes, kurios palengvina konstrukcinių sprendimų pasirinkimus bei skaičiavimus (Tafraout et al., 2019). BIM technologijos jau dabar kuria didžiulę pridėtinę vertę, sudarydamos galimybę projektuotojams ir darbų rangovams tiksliai įvertinti sąnaudas – tai užtikrina darbų kokybę ir mažina bendrąsias projekto išlaidas. Tačiau manoma, kad nėra tikslinga taikyti BIM technologijas nedideliuose statybos projektuose dėl didelių pradinų investicijų bei didelės projekto pėnningumo rizikos lyginant su galima nauda.

## 1. Literatūros analizė

Sėkmingam BIM pritaikymui statybų sektoriuje labai svarbus vyriausybės vaidmuo propaguojant ir skatinant diegti pažangias technologijas. Tam, kad statybos įmonės savo darbe galėtų pradėti taikyti BIM technologijas, reikia, kad valdžios institucijoms rekomenduotų apsvaustyti galimybę

steigti pradinę finansavimą šioms technologijoms diegti, pavyzdžiui, įvairias subsidijas. Daugeliui statybos įmonių valstybės paskata diegti BIM technologijas galėtų padėti plėsti verslą ir tobulinti kasdienius darbo procesus, taip pat padėtų užtikrinti geresnę darbų kokybę (Chan et al., 2019) bei suteiktų galimybę įvertinti investicijų naudingumą pagal BIM technologijų taikymo rodiklius.

Norėdami išspręsti sunkias sprendimų priėmimo problemas, mokslininkai sukūrė įvairias daugiakriterių sprendimų priėmimo metodikas (angl. *Multiple-Criteria Decision-Making* – MCDM). Analitinio hierarchijos proceso metodas (angl. *Analytic Hierarchy Process* – AHP) yra pagrindinis ir plačiai taikomas MCDM matematinis metodas, kurį 1970-aisiais sukūrė Thomas Saaty (1987). Pagal apibrėžimą AHP yra sprendimų priėmimo įrankis, kuris panaudoja porinius palyginimus, kad gautų sudėtingų kriterijų ir suvaržymų prioritetas skales, pagrįstas tiesine algebra (Tan et al., 2021).

Dažnai remiantis analizuojamų duomenų palyginimo uždavinio specifika, pasirenkamas AHP porinio palyginimo metodas, nes iš visų lyginamųjų metodų tik vienintelis AHP naudoja hierarchinę uždavinio struktūrą, kuri leidžia nagrinėjamą problemą skaidyti į mažesnes ir aiškesnes dalis ir taip lengviau ją analizuoti (Poškas et al., 2012). Tai labai svarbu nagrinėjant inžinerines daugiakriterių sprendimų

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [tomas.sinkevic@stud.vilniustech.lt](mailto:tomas.sinkevic@stud.vilniustech.lt)

analizės problemas. Todėl manoma, kad, taikant rodiklių porinio palyginimo metodą, užtikrinus ekspertų nuomonių suderinamumo koeficientą, AHP tiksliausiai nustato pagrįstas rodiklių reikšmes (Pavlovskis et al., 2017).

Mokslininkai analizuoja MCDM metodų taikymą BIM statybos praktinėms problemoms spręsti, dažnai akcentuodami tvarų vystymąsi skirtingiems konstrukcijų variantams ir pertvarkymo koncepcijoms (Pavlovskis et al., 2019). Buvo nustatytos pagrindinės taikymo sritys: tvarumas, gamyba (Zhao et al., 2019), modifikavimas, tiekėjų pasirinkimas (Wang et al., 2017), saugumas ir konstrukcijų pasirinkimas (Tafraout et al., 2019). BIM apima informacijos rinkimą, skirstymą į kategorijas, modifikavimą, atnaujinimą ir analizę. Pavyzdžiui, galima sukurti sąsajas tarp BIM įrankio ir MCDM analizės įrankio, kuriant papildinius, kurie palengvintų informacijos apdorojimą ir sprendimų priėmimą. BIM gali veikti kaip informacijos tarpininkas, padedantis konvertuoti formatus ir keisti informacija. Pavyzdžiui, Ahmad ir Thaheem išplėtė BIM galimybes naudodamiesi *Application Programming Interface* (API), kad integruotų BIM su MCDM modeliu tam, kad galima būtų sklandžiau keisti informacija linijinio taikymo būdu (Tan et al., 2021).

Pastebėta, kad MCDM metodai kartu su BIM technologijomis yra tinkami efektyviai priimti sprendimą, ir siūloma taikyti BIM metodiką, kad būtų palaikomas daugiakriterio pasirinkimo ir tolesnio projekto įgyvendinimo procesas, o tuomet – viso objekto absoliutaus tarnavimo laiko valdymo strategija, kuri remiasi virtualių prototipų modeliavimu su priskirta statine ir dinamine informacija (Zhao et al., 2019).

Toliau šiame straipsnyje atliekamas tyrimas, kurio tikslas – nustatyti svarbiausius BIM technologijų taikymo rodiklius, kurie daro didžiausią įtaką statybos projektuose ir BIM technologijų diegimui.

## 2. Tyrimo metodologija

Remiantis sumodeliuotais skirtingais daugiabučio pastato informacinio modelio konstrukciniais variantais buvo nustatyti svarbiausi BIM konstrukcinių modelių rodikliai. Tyrimo duomenys buvo renkami nuo 2021 m. kovo 24 d. iki balandžio 3 d. nuotolinės apklausos būdu, apklausiant 22 statybų srityje dirbančius ir BIM taikančius ekspertus, jiems el. paštu buvo išsiųsta nuoroda į 25 klausimų (4 bendro pobūdžio klausimai, skirti nustatyti ekspertų tinkamumui dalyvauti apklausoje, ir 21 klausimą sudaro vertinamų rodiklių tarpusavio palyginimai) anketą, kuri buvo pateikta *Google* formose. Atlikus apklausą, vykdomas BIM ekspertų apklausos rezultatų apdorojimas, apskaičiuojamos matricos pasitelkiant *Excel* ir *BPMSG's AHP Online System* (Goepel, 2018) programas. Toliau apdorojami pradiniai skaičiavimo duomenys, vykdomas ekspertų vertinimų nesuderinamumą valdymas (iteracijos) ir gautami rodiklių tyrimo rezultatai.

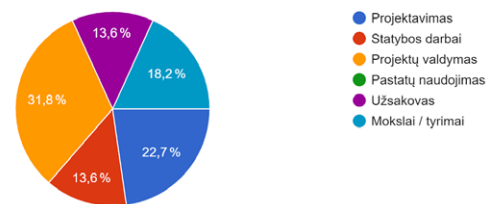
Norint geriau suprasti BIM technologijų taikymo naudas ir rizikas bei BIM technologijų efektyvumą, reikia išsiryntinti labiausiai rūpimus BIM technologijų taikymo

rodiklius. Nustatyti atliekamo tyrimo rodikliai: konstrukcinio varianto statybos kaina, konstrukcinio varianto statybos trukmė, laikas, skirtas sudaryti konstrukcinį modelį (modelio projektavimo kaštai), konstrukcijos technologinis paprastumas, naudingas pastato plotas, sklypo užstatymo plotas ir pardavimo pelnas.

## 3. Tyrimo rezultatai

Keli pradiniai klausimai buvo sudaryti tam, kad būtų gautas kiekvieno respondento vertinimo patikimumas ir siekiant suprasti, kokią įtaką jo veiklai daro BIM technologijos. Papildomai respondentų buvo klausta, kokioje statybų srityje jie dirba (žr. 1 paveikslą).

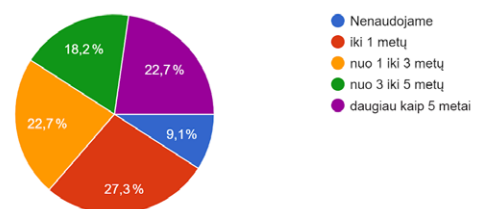
Kokia yra pagrindinė Jūsų įmonės veikla?  
22 atsakymai



1 paveikslas. Apklaustų BIM ekspertų veiklos sritys  
Figure 1. Respondents activity areas using BIM technologies

Nustatyta, kad 7 (31,8 %) respondentai dirba projektų valdymo srityje, 5 apklaustųjų (22,7 %) pagrindinė profesinė veikla yra projektavimas. Mažesnę dalis, t. y. 4 atsakiusieji, dirba mokslo srityje. Po lygiai pasiskirstė apklaustieji, iš kurių dalis užsiima statybos darbais ir kita dalis priklauso užsakovų grupei, t. y. atitinkamai po 3 respondentus (13,6 %). Taip pat respondentai atsakė, kiek metų patirties turi BIM technologijų taikymo srityje (žr. 2 paveikslą).

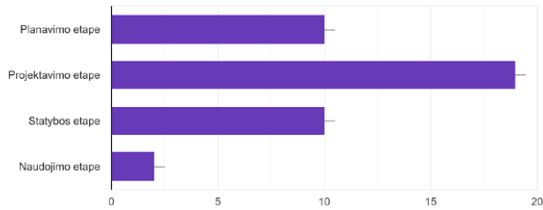
Kiek laiko turite patirties dirbdami su BIM technologijomis?  
22 atsakymai



2 paveikslas. Apklausos ekspertų BIM taikymo patirtis  
Figure 2. Respondents experience in the application of BIM

Daugiau negu ketvirtadalis visų apklaustųjų (27,3 %) BIM technologijas taiko iki 1-ų metų. Kiek mažiau negu ketvirtadalis (22,7 %) turi nuo 1-ų iki 3-jų metų patirties bei daugiau kaip 5-eri metai patirties dirbant su BIM technologijomis (taip pat 22,7 %). Maždaug penktadalis (18,2 %) respondentų turi nuo 3-jų iki 5-ių metų patirties. Taip pat yra du žmonės (9,1 %), kurie savo profesinėje veikloje netaiko BIM technologijų. Kitas klausimas, kaip dažnai ekspertai taiko BIM technologijas savo įmonės projektuose bei kokiuose projektų etapuose (žr. 3 paveikslą).

Jeigu taikote BIM technologijas, tai kokiose projekto įgyvendinimo etapuose Jūsų įmonė taiko? 22 atsakymai



3 paveikslas. Projekto etapai, kuriuose respondentai taiko BIM technologijas

Figure 3. Stages of the project in which the respondents apply BIM technologies

Dažniausiai, apklausos duomenimis, respondentai naudojami BIM technologijomis projektavimo etape, tai nurodė 86,4 % apklaustųjų. Po lygiai, t. y. po 45,5 % respondentų, pažymėjo, kad taiko BIM planavimo ir statybos etapuose, bei 9,1 % – naudojimo etape.

Atlikus apklausą, gauti duomenys įvesti į programą *BPMMSG's AHP Online System*. Iš sudarytos pradinės duomenų matricos apskaičiuotas CR (angl. *Consistency ratio*) = 16,9 % > 10 %, ekspertų nuomonių suderinamumas nepakankamas (Saaty, 1987). Pagal programos algoritmus buvo pasiūlyta atlikti 3 skirtingas iteracijas, norint suderinti vertinimo duomenis. Iš siūlomų variantų buvo pasirinkta viena iteracija su mažiausiu svorio skirtumu tarp pradinių įvesties duomenų ir programos rekomenduojamų parinkčių. Tuomet iš eilės buvo atliekami 4-ių žingsnių iteracijų pakeitimai, kaskart perskaičiuojant naują CR suderinamumo koeficientą. Iteracijos buvo atliekamos tol, kol visi eksperto vertinimo atsakymai buvo suderinti ir gautas CR mažesnis negu 10 % (žr. 4 paveikslą).

Iš programos skaičiavimų buvo nustatytas CR suderinamumo koeficientas = 9,2 % < 10 % – ekspertų suderinamumas pakankamas. Tuomet taikant programą skaičiuojamos rodiklių reikšmingumo skaitinės vertės ir sudarytas jų eiliškumas, kurių rezultatas pateiktas 1-oje lentelėje.

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?
1	<input checked="" type="radio"/> Statybos kaina	<input type="radio"/> Statybos trukmė	O1 <input checked="" type="radio"/> 2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9
2	<input checked="" type="radio"/> Statybos kaina	<input type="radio"/> Sunaudotas laikas, Projektuojant BIM modelį	O1 O2 O3 O4 O5 O6 <input checked="" type="radio"/> 7 O8 O9
3	<input checked="" type="radio"/> Statybos kaina	<input type="radio"/> Konstruktinis technologinis paprastumas	O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 <input checked="" type="radio"/> 8 O9
4	<input checked="" type="radio"/> Statybos kaina	<input type="radio"/> Naudingas pastato plotas	O1 O2 O3 O4 <input checked="" type="radio"/> 5 O6 O7 O8 O9
5	<input checked="" type="radio"/> Statybos kaina	<input type="radio"/> Sklypo užstatymo plotas	O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 <input checked="" type="radio"/> 9
6	<input type="radio"/> Statybos kaina	<input checked="" type="radio"/> Pardavimo pelnas	O1 O2 <input checked="" type="radio"/> 3 O4 O5 O6 O7 O8 O9
7	<input checked="" type="radio"/> Statybos trukmė	<input type="radio"/> Sunaudotas laikas, Projektuojant BIM modelį	O1 O2 O3 O4 O5 O6 <input checked="" type="radio"/> 7 O8 O9
8	<input checked="" type="radio"/> Statybos trukmė	<input type="radio"/> Konstruktinis technologinis paprastumas	O1 O2 O3 O4 O5 <input checked="" type="radio"/> 6 O7 O8 O9
9	<input checked="" type="radio"/> Statybos trukmė	<input type="radio"/> Naudingas pastato plotas	O1 <input checked="" type="radio"/> 2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9
10	<input checked="" type="radio"/> Statybos trukmė	<input type="radio"/> Sklypo užstatymo plotas	O1 O2 O3 O4 O5 O6 <input checked="" type="radio"/> 7 O8 O9
11	<input type="radio"/> Statybos trukmė	<input checked="" type="radio"/> Pardavimo pelnas	O1 O2 O3 O4 <input checked="" type="radio"/> 5 O6 O7 O8 O9
12	<input type="radio"/> Sunaudotas laikas, Projektuojant BIM modelį	<input checked="" type="radio"/> Konstruktinis technologinis paprastumas	O1 O2 O3 <input checked="" type="radio"/> 4 O5 O6 O7 O8 O9
13	<input type="radio"/> Sunaudotas laikas, Projektuojant BIM modelį	<input checked="" type="radio"/> Naudingas pastato plotas	O1 O2 O3 O4 O5 O6 <input checked="" type="radio"/> 7 O8 O9
14	<input checked="" type="radio"/> Sunaudotas laikas, Projektuojant BIM modelį	<input type="radio"/> Sklypo užstatymo plotas	<input checked="" type="radio"/> 1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 O9
15	<input type="radio"/> Sunaudotas laikas, Projektuojant BIM modelį	<input checked="" type="radio"/> Pardavimo pelnas	O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 <input checked="" type="radio"/> 8 O9
16	<input type="radio"/> Konstruktinis technologinis paprastumas	<input checked="" type="radio"/> Naudingas pastato plotas	O1 O2 O3 O4 <input checked="" type="radio"/> 5 O6 O7 O8 O9
17	<input checked="" type="radio"/> Konstruktinis technologinis paprastumas	<input type="radio"/> Sklypo užstatymo plotas	O1 O2 <input checked="" type="radio"/> 3 O4 O5 O6 O7 O8 O9
18	<input type="radio"/> Konstruktinis technologinis paprastumas	<input checked="" type="radio"/> Pardavimo pelnas	O1 O2 O3 O4 <input checked="" type="radio"/> 5 O6 O7 O8 O9
19	<input checked="" type="radio"/> Naudingas pastato plotas	<input type="radio"/> Sklypo užstatymo plotas	O1 O2 O3 O4 O5 <input checked="" type="radio"/> 6 O7 O8 O9
20	<input type="radio"/> Naudingas pastato plotas	<input checked="" type="radio"/> Pardavimo pelnas	O1 O2 <input checked="" type="radio"/> 3 O4 O5 O6 O7 O8 O9
21	<input type="radio"/> Sklypo užstatymo plotas	<input checked="" type="radio"/> Pardavimo pelnas	O1 O2 O3 O4 O5 O6 O7 O8 <input checked="" type="radio"/> 9
CR = 9.2% OK			
<input type="button" value="Calculate"/>		<input type="button" value="Download_(.csv)"/> <input type="checkbox"/> dec. comma	

4 paveikslas. Suderinamumo rodiklio CR apskaičiavimas, atlikus ketvirtą iteraciją

Figure 4. Calculation of the compatibility indicator CR after the fourth iteration

1 lentelė. Įvertintų rodiklių rezultatai  
Table 1. Results of evaluated indicators

Nr.	Rodiklis	Reikšmingumas	Eiliškumas
7	Pardavimo pelnas	37,50 %	1
1	Statybos kaina	26,10 %	2
2	Statybos trukmė	15,40 %	3
5	Naudingasis pastato plotas	11,70 %	4
4	Konstrukcinis technologinis paprastumas	4,70 %	5
3	Sunaudotas laikas, projektuojant BIM modelį	2,30 %	6
6	Sklypo užstatymo plotas	2,20 %	7

### Išvados

Visi 22 ekspertų apklausos rezultatai buvo išanalizuoti AHP ekspertinio porinio palyginimo metodu. Daugiausiai apklaustieji ekspertai savo profesinėje srityje BIM technologijas taiko projektavimo etape, o mažiausiai eksploatacijos etape. Nustatyta, kad svarbiausias rodiklis yra „pardavimo pelnas“, jo reikšmingumas siekia 37,50 %. O mažiausią reikšmingumą – 2,20 % – turi rodiklis „sklypo užstatymo plotas“. „Statybos kaina“ užima antrą poziciją pagal reikšmingumą ir, ekspertų nuomone, yra šiek tiek mažiau svarbus už „pardavimo pelną“. Galima teigti, jog BIM technologijų taikymas gali būti naudingas ne tik užsakovui, vertinant statybos projekto sąnaudas ir numatant ateities pelną, bet ir duoda naudos rangovui tiksliau numatant atliekamą darbų savikainą. 3–4 pozicijas užima ne ką mažiau svarbūs rodikliai: „statybos trukmė“, „naudingas pastato plotas“. Prieš paskutinę poziciją ekspertai priskyrė „Laikui projektuojant BIM modelį“.

Galima daryti galutinę išvadą, kad BIM technologijų taikymo nauda turėtų atspindėti sunaudojant daugiau laiko projektavimo etapu, bet ateityje tiksliau būtų nustatoma statybos kaina ir gaunamas didesnis pardavimo pelnas.

### Literatūra

- Chan, D. W. M., Olawumi, T. O., & Ho, A. M. L. (2019). Perceived benefits of and barriers to Building Information Modeling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong. *Journal of Building Engineering*, 25, 100764. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100764>
- Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3), 469–487. <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Pavlovskis, M., Antucheviciene, J., Migilinskas, D. (2017). Assessment of buildings redevelopment possibilities using MCDM and BIM techniques. *Procedia Engineering*, 172, 846–850. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.083>

Pavlovskis, M., Migilinskas, D., Antucheviciene, J., & Kutut, V. (2019). Ranking of heritage building conversion alternatives by applying BIM and MCDM: A case of Sapieha Palace in Vilnius. *Symmetry*, 11(8), 973.

<https://doi.org/10.3390/sym11080973>

Poškas, G., Poškas, P., Sirvydas, A. ir Šimonis, A. (2012). Daugiakriterinės analizės metodo taikymas parenkant Ignalinos AE V1 pastato įrengimų išmontavimo būdą. 2. Daugiakriterinės analizės metodika ir jos taikymo rezultatai. *Energetika*, 58(2), 86–96. <https://doi.org/10.6001/energetika.v58i2.2341>

Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

Tafraout, S., Bourahla, N., Bourahla, Y., & Mebarki, A. (2019). Automatic structural design of RC wall-slab buildings using a genetic algorithm with application in BIM environment. *Automation in Construction*, 106, 102901.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102901>

Tan, T., Mills, G. R., Papadonikolaki, E., & Liu, Z. (2021). Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review. *Automation in Construction*, 121, 103451.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103451>

Wang, T., Zhang, Q., Chong, H., & Wang, X. (2017). Integrated supplier selection framework in a resilient construction supply chain: An approach via Analytic Hierarchy Process (AHP) and Grey Relational Analysis (GRA). *Sustainability*, 9(2), 289. <https://doi.org/10.3390/su9020289>

Zhao, L., Liu, Z., & Mbachu, J. (2019). Optimization of the supplier selection process in prefabrication using BIM. *Buildings*, 9(10), 222. <https://doi.org/10.3390/buildings9100222>

### RESEARCH OF EVALUATION SIGNIFICANCE CRITERIA FOR BIM STRUCTURAL MODEL VARIANTS

T. Sinkevič

Abstract

The article analyzes of evaluation criteria for the construction variants of the Building Information Model (BIM). The article analyzes the evaluation criteria of the construction variants of the Building Information Modeling (BIM). Based on the different construction variants of the multistorey building information model, the most important criteria have been identified for the evaluation of BIM technologies in the construction project. A survey questionnaire was created and after interviewing 22 respondents the evaluations of BIM experts were collected. The obtained research data were analyzed with the help of the analytical pairwise comparison method in the hierarchy process. The significance of the criteria and the benefits of the application of BIM technologies were determined with the help of using iterations by the expert pairwise comparison method.

**Keywords:** AHP, BIM, MCDM, multi-criteria decision-making, pairwise comparison method, evaluation criteria for structural model.