

Civil engineering
Statybos inžinerija

**BIM IR MCDM INTEGRAVIMO PROJEKTAVIMO, GAMYBOS IR
STATYBOS ETAPUOSE ANALIZĖ**

Viačeslav ZIGMUND *

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

Gauta 2021 m. gegužės 17 d.; priimta 2021 m. lapkričio 30 d.

Santrauka. Straipsnyje analizuojamos daugiakriterių sprendimų priėmimo metodų MCDM (angl. *Multi Criteria Decision Making*) ir statinio informacinio modeliavimo BIM (angl. *Building Information Modeling*) technologijų sinergijos galimybės, siekiant nustatyti pranašesnį integravimo būdą ir pasiūlyti MCDM ir BIM integravimo strategiją. Atlikus literatūros analizę, nustatyti du integravimo būdai: tiesinis ir integruotas. Aptarti integravimo strategijos etapai ir nustatyta esminė MCDM ir BIM sinergijos tobulinimo strategija, skirta apdailos mūro ir mūrinių konstrukcijų sprendimams projektavimo, gamybos ir statybos etapuose priimti.

Reikšminiai žodžiai: BIM, MCDM, daugiakriterių sprendimų priėmimas, statinio informacinis modeliavimas, MCDM ir BIM integravimas.

Įvadas

Per pastarąjį dešimtmetį BIM (angl. *Building Information Modeling*) technologija ir MCDM (angl. *Multi Criteria Decision Making*) metodai buvo pradėti taikyti kartu įvairiems pastato gyvavimo ciklo uždaviniams spręsti. Projektavimo, gamybos ir statybos grandinės efektyvumas priklauso nuo sprendimų priėmimo kiekviename etape. Apdailos plytos ir mūro komponentai yra atskiri dizaino elementai, išreiškiantys fasado viziją, tačiau dėl gausaus mūro elementų kiekio, apdailos mūro ir jo komponentų projektavimo, gamybos ir statybos technologijų etapai pakankamai tobulėjo BIM aplinkoje (Zigmund et al., 2021). Taigi, tobulėjant apdailos mūro fasadų BIM technologijoms ir projekto sudėtingumui, informacija tarp projektavimo, gamybos ir statybos etapų yra greitai prieinama. Tačiau naudojant BIM technologijas statybų projektams reikia turėti pagrįstą informaciją bet kuriame statybos projekto įgyvendinimo etape ir priimti teisingus sprendimus (Khalasi et al., 2020). Išanalizavus literatūrą matyti, kad taikomi įvairūs daugiakriterių sprendimų priėmimo metodai ir yra skirtingais būdais integruojami į BIM. Skirtingoms problemoms taikomi įvairūs daugiakriterių sprendimų priėmimo metodai kartu su BIM. Jau akivaizdu, kad MCDM atlieka svarbų vaidmenį skaitmeninant AEC (angl. *Architecture, Engineering and Construction*) sektorių. Metodai

taikomi pasirinkti efektyviam projektavimo būdai, tvarumo įvertinimui, sąnaudų analizei, medžiagų pasirinkimui ir t. t. Tačiau atlikus literatūros analizę nustatyta, kad nėra daug tyrimų apie praktinį MCDM ir BIM integravimą. Todėl šiuo tyrimu siekiama išnagrinėti MCDM metodų ir BIM technologijų integravimo galimybes projektavimo, gamybos ir statybos etapuose. Pagrindinis tyrimo tikslas yra apibendrinti MCDM ir BIM integravimo būdus bei taikymo sritis ir nustatyti pranašesnį būdą.

1. MCDM ir BIM integravimas: literatūros analizė

Atlikę literatūros analizę, publikacijas sugrupavome pagal sprendimo priėmimo metodų taikymą skirtinguose pastato gyvavimo ciklo etapuose.

Naujo pastato statybų ir projektavimo alternatyvoms pasirinkti integruojami SWARA (angl. *Step-wise Weight Assessment Ration Analysis*), TOPSIS (angl. *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), AHP (angl. *Analytic Hierarchy Process*) metodai. Jalaei et al. (2015) pasiūlė metodiką, integruojančią BIM su sprendimų priėmimo metodu TOPSIS, siekiant efektyviai optimizuoti tvary pastato komponentų pasirinkimą koncepcinio modelio projektavimo etape. Statybinių elementų tvarumo

*Autorius susirašinėti. El. paštas viaceslav.zigmund@vilniustech.lt

vertinimo kriterijai turi įtakos BIM elementų pasirinkimui iš BIM bibliotekos. Nustatyti trys pagrindiniai kriterijai, turintys didžiausią įtaką pastato projekto tvarumui. Wang et al. (2017) pasiūlė tiekėjų pasirinkimo sistemą, kuri pritaikyta efektyviai integruoti tiekimo grandinės valdymo informaciją. Siūloma pasirinkimo sistema veikia integruojant pastato informacinį modeliavimą (BIM) ir geografinės informacinės sistemas GIS (angl. *Geographic Information System*). Nustatyta, kad BIM ir GIS kartu pateikia skaidrią informaciją apie statybines medžiagas, patobulintą tiekimo grandinės būklės vizualizavimą ir lengvai prieinamą informaciją tiekėjui pasirinkti, taikant analitinės hierarchijos metodą AHP ir pilkųjų skaičių metodiką. Khalesi et al. (2020) sujungė SWARA metodą ir BIM technologiją, siekdami nustatyti ir sumažinti laiko vėlavimą, kurį sukelia nenumatyti papildomi darbai statybų projektuose. Nustatyta, kad naudojant BIM technologijas nenumatytų darbų kiekis sumažinamas iki 4,6 % ir padidinamas projekto tvarumas. Zhao et al. (2019) pateikė metodą, kuris palengvina surenkamųjų konstrukcijų rangovo pasirinkimą. Siūlomas metodas susideda iš trijų etapų: alternatyvių tiekėjų tinkamumo vertinimo kriterijų sąrašo nustatymo, BIM projekto modelio reikalavimų tiekėjams, kriterijų svarbos nustatymo bei alternatyvių tiekėjų įvertinimo. Tyrime taikomas analitinės hierarchijos metodas AHP. Nustatyta, kad BIM, įtrauktas į sprendimų priėmimą, skatina automatizavimą ir informatizavimą AEC sektoriuje. Marzouk ir Al Daour (2018) pateikė sistemą, padedančią rangovams planuoti darbo saugą vykdant statybininkų evakuaciją iš statybų aikštelės, naudojant pastatų informacinį modeliavimą BIM. Siūlomoje sistemoje įvertinamas statybų laikas, bendros išlaidos ir evakuacijos laikas. Modeliuojamas ir imituojamas statybos darbuotojų elgesys avarinės evakuacijos metu esant įvairioms sąlygoms. Optimaliam evakuacijos modeliui nustatyti taikomas TOPSIS metodas.

Projektavimo alternatyvoms pasirinkti, pertvarkant seną pastatą, integruojami WASPAS-G (angl. *Weighted Aggregated Sum Product Assessment method with grey attributes scores*), Rough WASPAS, AHP metodai. Pavlovskis et al. (2017a) nagrinėjo pastato pertvarkymo variantų eiliškumą taikant MCDM metodiką. Nustatyta, kad pramoninių pastatų pertvarkymas yra problema, akcentuojant tvarų vystymą skirtingomis pertvarkymo koncepcijomis, todėl MCDM metodai yra tinkami sprendimui efektyviai priimti. Pasiūlyta 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. Pavlovskis et al. (2017b) ištyrė pastatų informacijos modeliavimo BIM metodikos taikymą rekonstrukcijos projektams, siekiant užkirsti kelią rekonstrukcijos metu kylančioms problemoms. Kiekvienas problemos poveikis projektui apibrėžiamas taikant ekspertų porinio palyginimo AHP metodą. Pastato pertvarkymo variantams vertinti Pavlovskis et al. (2017a) pasiūlė taikyti kompleksinę kriterijų sistemą, susidedančią iš trijų posis-

temių: technologinių, ekonominių ir aplinkos kriterijų. Pasirenkant geriausią alternatyvą, taikomas svorinės agreguotos sumos metodas su pilkaisiais skaičiais WASPAS-G. Pavlovskis et al. (2019) esant neapibrėžtumui pasiūlė taikyti daugiakriterių sprendimų priėmimo metodą su grubiosiomis aibėmis Rough WASPAS. Nustatyta, kad šiuolaikinių skaitmeninių technologijų ir sprendimų priėmimo modelių integracija padeda pateikti racionalų sprendimą remiantis aukšto tikslumo duomenimis.

Medžiagoms pasirinkti integruojami ENSCBO (angl. *Enhanced Non-Dominated Sorting Colliding Bodies Optimization*), DEA (angl. *Data Envelopment Analysis*), VIKOR (serbų k. *Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*), TOPSIS, Fuzzy TOPSIS, AHP, VAHP (angl. *Votting Analytic Hierarchy Process*) metodai. Ahmadian et al. (2017) pasiūlė statybinių medžiagų tiekimo sprendimų priėmimo modelį integruoti į BIM LCA (angl. *Life Cycle Assessment*), taikant TOPSIS metodą. Siūloma trijų kriterijų sistema: ekonominių, socialinių ir aplinkos poveikio su subkriteriniais sprendimais pastato gyvavimo ciklo metu. Gbadamosi et al. (2018) pristatė racionalių pastato atitvarų pasirinkimo sistemą, taikant VAHP metodą, ja siekiama nustatyti kiekvieno vertinimo kriterijaus svarbą. Sukurti vertinimo kriterijai atskiriems statybiniams elementams ir medžiagoms klasifikuoti, jie padėjo ekspertams įvertinti kiekvieną statybinių medžiagų alternatyvą. Khanzadi et al. (2018) pasiūlė medžiagų pasirinkimo sistemą, BIM aplinkoje leidžiančią projekto suinteresuotosioms šalims pasirinkti kuo geresnį statybinių komponentų derinį su minimalia žmogaus intervencija AEC pramonėje. Projekto dalyviai gali pritaikyti ir įvertinti statybinių elementų ir medžiagų BIM šeimos bylas per konceptualų projektavimo etapą ir būtent taip pasirinkti geriausią variantą. Siūloma sistema skirta išsirinkti norimą ir optimalų pastato komponentų derinį, atsižvelgiant į darnų vystymą BIM aplinkoje. Sistema susideda iš keturių pagrindinių etapų: pradinis pasirengimas, optimizavimas, eksploatacinių savybių vertinimas ir daugiakriteris sprendimų priėmimas. Tyrimo metu taikomi keli metodai: ENSCBO, DEA ir VIKOR. Tyrime, pasirenkant racionaliausią medžiagų derinį, naudojami trys etapai. Pirmasis etapas – optimizavimas taikant ENSCBO metodą, kai randami deriniai, kurie yra nedominuojantys. Antrasis etapas – efektyvių derinių paieška taikant DEA metodą ir trečiasis etapas – reitingavimo, taikant VIKOR metodą, atsižvelgiant į vartotojo pasirinkimą paskutiniajame etape. Šis metodas yra naudingas projekto suinteresuotosioms šalims pasirenkant racionaliausią derinį tarp galimų alternatyvų. Fazeli et al. (2019) pasiūlė metodiką, kuri integruotų BIM ir sprendimų priėmimo metodą Fuzzy TOPSIS, siekiant efektyviai optimizuoti tvarių pastato komponentų pasirinkimą pagal koncepcinį projektą statybos projekto etapui. Nustatyta, kad, norint pasirinkti racionalius pastato komponentus, pagal daugiakriterių sprendimų paramos sistemos metodiką yra įvertinamas kiekvienas elementas, atsižvelgiant į tris pagrindinius sprendimo kriterijų požymius: projektavimo, ekonominius ir kokybės

veiksnius. Šis integruotas BIM procesas yra susietas su Matlab (angl. *Matrix Laboratory*) su pritaikytomis Fuzzy funkcijomis pagal vartotojų prioritetus siekiant automatiškai pasiūlyti idealius sprendimus. Jalilzadehazhari et al. (2019) pritaikė BIM ir AHP integraciją kaip daugiakriterį sprendimo priėmimo metodą, sumažinant pastatų energijos suvartojimą ir pagerinant komfortą patalpose. Optimizavimo kintamieji – pasirinkti trijų skirtingų langų tipai ir penkios skirtingos išorinės sienos, stogų konstrukcijos tipai ir pirmo aukšto grindų mazgas. Visos projektavimo alternatyvos įvertintos atsižvelgiant į vizualinį ir šiluminį komfortą, energijos suvartojimą ir gyvavimo ciklo kainą.

2. Analizės rezultatai: integravimo būdai ir taikymas

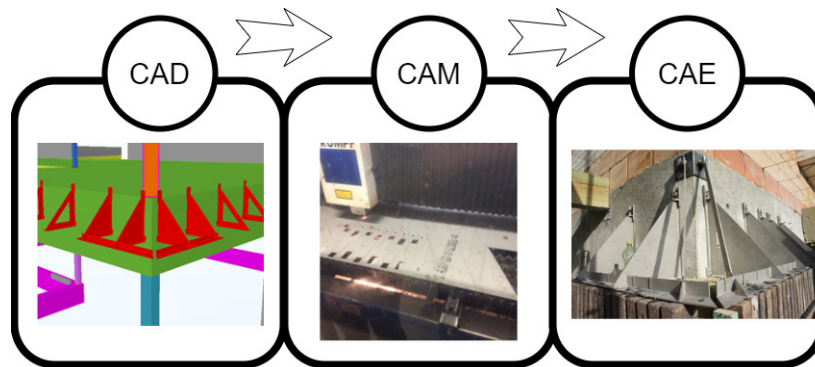
Tyrimą sudaro 13 mokslinių publikacijų, tiesiogiai susijusių su MCDM integracija į BIM. Publikacijų apžvalga parodė integracijos būdą. BIM pirmiausia veikia kaip MCDM duomenų apdorojimas, o MCDM generuoja rezultatus, kurie yra eksportuojami į BIM platformą (Tan et al., 2021). Tačiau nėra daug literatūros apie MCDM praktinį sujungimą su BIM ir kaip tai atlikti efektyviai. Siūlomi du integravimo būdai: tiesinis ir integruotas (Tan et al., 2021). Tačiau, koks būdas yra pranašesnis, nenustatyta. Apžvalgos rezultatai sugrupuojami į lentelę, kuri pa-

rodo dažniausiai taikomus integracijos būdus (1 lentelė).

Integravimas MCDM į BIM taikomas įvairiose AEC srityse: pasirenkant naujo pastato projektavimo alternatyvas ir pertvarkant seną pastatą, pasirenkant statybines medžiagas ir elementus, pasirenkant medžiagas gamybai, pasirenkant tiekėjus, simuliacijoms. Dažniausiai integruojant į BIM taikomi MCDM metodai yra WASPAS, SWARA, AHP, TOPSIS, ENSCBO, DEA ir VIKOR. Nors dažniausiai taikomas tiesinis integracijos būdas, tačiau integruotas būdas padėtų visapusiškai įgyvendinti BIM technologijos ir MCDM metodologijos privalumus. Tam, kad būtų visapusiškai išnaudotos BIM galimybės, geriau taikyti integruotą MCDM su BIM jungimo būdą projektavimo etape (angl. *Computer Aided Design – CAD*), gamybos etape (angl. *Computer Aided Engineering – CAM*) ir statybos etape (angl. *Computer Aided Engineering – CAE*). Tačiau tam reikalinga integravimo strategija. Remiantis atlikta analize, siūloma MCDM ir BIM integravimo strategija, kurią perspektyvoje numatyta pritaikyti pagerinant MCDM integraciją ir BIM modelį, kuris skirtas apdailos mūro trisluoksniams fasadams, mūrinių konstrukcijų, vidinių mūrinių pertvarų ir objektų, susijusių su mūru, įtraukiant suinteresuotus projekto dalyvius ir užtikrinant keitimąsi informacija projektavimo etape CAD su galimybe perduoti informaciją į kitus gyvavimo ciklo etapus, t. y. į gamybos CAM ir statybos CAE etapus, sprendimams priimti (1 pav.).

1 lentelė. MCDM ir BIM integravimo būdai
Table 1. MCDM and BIM integration structure

MCDM metodas	Pritaikytas / panaudotas	Integracijos būdas	Autorius
WASPAS-G	Metodas taikytas pasirenkant racionaliausią sprendimą pertvarkant apleistą pastatą, nes rodiklių reikšmės pateiktos intervaline išraiška	Integruotas	Pavlovskis et al. (2017a)
ENSCBO, DEA, VIKOR	Metodai taikyti pasirenkant statybinių elementų derinį statant naują pastatą	Integruotas	Khanzadi et al. (2018)
AHP	Metodas taikytas pasirenkant statybinių elementų tiekėją	Tiesinis	Zhao et al. (2019)
Rough WASPAS	Metodas taikytas nustatyti galimas pastato pertvarkymo alternatyvas	Integruotas	Pavlovskis et al. (2019)
AHP-GRA	Medžiagų tiekėjo pasirinkimo procesas	Tiesinis	Wang et al. (2017)
SWARA	Siekiant sumažinti laiko vėlavimą, kurį sukelia nenumatyti papildomi darbai statybų projektuose, palyginant tradicinį projektavimą su BIM	Tiesinis	Khalesi et al. (2020)
TOPSIS	Nustatomas evakuacijos laikas skirtingiems statybos scenarijams pasirenkant racionaliausią statybos būdą	Tiesinis	Marzouk and Al Daour (2018)
AHP	Remiantis tyrimų rezultatais nustačius pagrindines problemas pateikiami pasiūlymai, susiję su BIM naudojimu įgyvendinant rekonstrukcijos projektus	Tiesinis	Pavlovskis et al. (2017b)
Fuzzy TOPSIS	Racionaliam statybinių elementų pasirinkimui	Tiesinis	Fazeli et al. (2019)
TOPSIS	Taikytas pasirenkant racionaliausias medžiagas gamyboje	Tiesinis	Ahmadian et al. (2017)
VAHP	Statybinių medžiagų pasirinkimas projektavimo etape	Tiesinis	Gbadamosi et al. (2018)
TOPSIS	Statybinių medžiagų pasirinkimas	Integruotas	Jalaei et al. (2015)
AHP	Projektavimo alternatyvų pasirinkimas	Tiesinis	Jalilzadehazhari et al. (2019)



1 paveikslas. CAD, CAM, CAE etapai
Figure 1. CAD, CAM, CAE stages

Išvados

1. Nustatyta, kad mokslininkai taiko MCDM metodus kartu su BIM technologijomis dėl potencialių modelio galimybių, nes duomenų modelis yra informacijos bazė racionaliam sprendimui priimti ir yra tiesiogiai susijęs su informacijos pateikimo kokybe ir jos valdymu.
2. MCDM ir BIM integravimo strategija tiesiogiai priklauso nuo pradinių duomenų BIM duomenų modelyje ir duomenų panaudojimo galimybių neapibrėžtoje informacinėje aplinkoje, pasirenkant tinkamą metodą.
3. Nustatytos keturios esminės MCDM ir BIM integravimo tobulinimo strategijos:
 - 3.1. Nustatyta, kad naujausių duomenų rinkimas turi vykti realiuoju laiku iš BIM.
 - 3.2. Nustatytas MCDM ir BIM bendros duomenų aplinkos trūkumas.
 - 3.3. Rekomenduojama taikyti integruotą MCDM ir BIM sąveikos būdą.
 - 3.4. Siūlomas kitų duomenų integravimas, pvz., GIS, norint užbaigti integruotą BIM ciklą.

Literatūra

- Ahmadian, F. F. A., Rashidi, T. H., Akbarnezhad, A., & Waller, S. T. (2017). BIM-enabled sustainability assessment of material supply decision. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(4), 668–695. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2015-0193>
- Fazeli, A., Jalaei, F., Khanzadi, M., & Banihashemi, S. (2019). BIM integrated Topsis-Fuzzy framework to optimize selection of sustainable building components. *International Journal of Construction Management*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1686836>
- Gbadamosi, A., Mahamadu, A., Manu, P., Akinade, O., Sierra, F., Lam, T. T., & Alzaatreh, A. (2018, June–July). *A BIM based approach for optimization of construction and assembly through material selection* [Conference presentation]. The Creative Construction Conference, Ljubljana, Slovenia.
- Jalaei, F., Jrade, A., & Nassiri, M. (2015). Integrating decision support system (DSS) and building information modeling (BIM) to optimize the selection of sustainable building components. *Journal of Information Technology in Construction*, 20, 399–420.
- Jalilzadehazhari, E., Vadiie, A., & Johansson, P. (2019). Achieving a trade-off construction solution using BIM, an optimization algorithm, and a multi-criteria decision-making method. *Buildings*, 9(4), 81. <https://doi.org/10.3390/buildings9040081>
- Khalesi, A., Balali, A., Valipour, A., Antucheviciene J., Migilinskas, D., & Zigmund, V. (2020). Application of hybrid SWARA–BIM in reducing reworks of building construction projects from the perspective of time. *Sustainability*, 12(21), 8927. <https://doi.org/10.3390/su12218927>
- Khanzadi, M., Kaveh, A., Rastegar, M., & Pourbagheri, S. M. (2018). Optimization of building components with sustainability aspects in BIM environment. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1), 93–103. <https://doi.org/10.3311/PPci.12551>
- Marzouk, M., & Al Daour, I. (2018). Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. *Safety Science*, 109, 174–185. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023>
- Pavlovskis, M., Antucheviciene, J., & Migilinskas, D. (2017a). 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., Antuchevičienė, J., Urba, I., & Zigmund, V. (2017b). Problems in reconstruction projects, BIM uses and decision-making: Lithuania case studies. *Procedia Engineering*, 208, 125–128. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.029>
- 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>
- Tan, T., Mills, G., Papadonikalaki, 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>

Zigmund, V., Antuchevičienė, J. ir Migilinskas, D. (2021). BIM-M duomenų modelio taikymo analizė [Analysis of the BIM-M data model application]. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania, 13*, 1–4.
<https://doi.org/10.3846/mla.2021.13797>

ANALYSIS OF BIM AND MCDM INTEGRATION IN DESIGN, MANUFACTURING AND CONSTRUCTION STAGES

V. Zigmund

Abstract

The article analyses the possibilities of synergy between MCDM (Multi Criteria Decision Making) methods and BIM (Building Information Modeling) technologies in order to identify a better integration way and propose a strategy for integrating MCDM and BIM. The two ways of integration were identified after performing literature analysis – the linear one and integrated one. The stages of the integration strategy were discussed and a key strategy for improving the synergy between MCDM and BIM was found. The key strategy intended for masonry veneer and masonry structures in design, manufacture and construction stages to make a decision.

Keywords: BIM, MCDM, multi-criteria decision-making, building information modeling, MCDM and BIM integration.