

# KRANO PARINKIMAS WEB APLINKOJE GRINDŽIAMAS MATOMUMO ANALIZE

## SELECTION OF CRANE IN WEB ENVIRONMENT BASED ON VISIBILITY ANALYSIS

### **Danylo Shkundalov**

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra, doktorantas. E-mail: [danylo.shkundalov@vilniustech.lt](mailto:danylo.shkundalov@vilniustech.lt)*

*Doctoral student in the Department of Construction Management and Real Estate; Faculty of Civil Engineering; Vilnius Gediminas technical University; Sauletekio ave. 11, 10223 Vilnius. E-mail: [danylo.shkundalov@vilniustech.lt](mailto:danylo.shkundalov@vilniustech.lt)*

### **Tatjana Vilutienė**

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos valdymo ir nekilnojamojo turto katedra, docentė. E-mail: [tatjana.vilutiene@vilniustech.lt](mailto:tatjana.vilutiene@vilniustech.lt)*

*Department of Construction Management and Real Estate; Faculty of Civil Engineering; Vilnius Gediminas technical University; Sauletekio ave. 11, 10223 Vilnius. Associated Professor, Dr. E-mail: [tatjana.vilutiene@vilniustech.lt](mailto:tatjana.vilutiene@vilniustech.lt)*

### **Abstract**

Any large-scale construction project is inconceivable without the use of a crane for lifting heavy items. The selection of the tower cranes and finding the best position for each crane saves time and money and improves work safety. Performing such an intensive analysis manually, comparing different cranes using many criteria is tedious, time-consuming work. This paper presents an original approach for crane selection based on visibility analysis in the BIM model integrated with the Web environment. The described decision support algorithm involves analysis of crane positioning in the condition of real-world representation model, analysis of crane operator viewport based on the line-of-sight in GIS analysis, crane jib reach analysis. The presented approach allows analysing movable and static crane types, calculate the percentage of the visible and reachable parts of the building, compare crane alternatives and different crane positions.

### **Keywords**

Crane selection; Buildings; BIM model; BIM use case; Visibility analysis; Web environment

## **Įvadas**

Norint pasirinkti racionalų kraną arba kranų variantus, svarbu pateikti pakankamą ir išmatuojamą informaciją apie alternatyvias kranų/u pastatymo vietas, atsižvelgti į kiekvieną kraną parametru, palyginti skirtingus kranų tipus ir jų darbo ir judėjimo aikštelėje variantus. Esami tyrimai nagrinėja kelis kranų pasirinkimo būdus. Pavyzdžiui, Alkriz ir Mangin (2005) sukūrė sprendimų paramos priemonę, skirtą nustatyti optimalią kraną vietą ir sumažinti persidengiančių darbo vietų plotą. Pagrindinė tyrimų apimtis yra susijusi su optimizavimo užduotimis, susijusiomis su kranu ir sandėliavimo vietos optimizavimu, optimalaus kranų skaičiaus ir jų tipų parinkimu (Al Hattab, Zankoul, Barakat ir Hamzeh, 2017; Younes & Marzouk, 2018; Al Hattab, Zankoul ir Hamzeh, 2017), ir kranų darbo zonų persidengimu (Al Hattab, Zankoul ir Hamzeh, 2017, 2014). Reikėtų pabrėžti, kad kranų parinkimo uždavinys gali apimti daugiau kintamųjų nei vien kranu ir statybvietsės parametrai, nes statybos projektas apima tiekimo grandinės valdymą, kas turi įtakos kranu operacijų kalendoriniam grafikui ir lemia ekonominį veiksni. Pavyzdžiui, Irizarry, Karan, & Jalaei (2013) ištyrė tiekimo valdymą integruojant BIM ir GIS technologijas, kad būtų galima analizuoti išteklių prieinamumą vizualizacijos požiūriu. Tokio tipo tyrimai leidžia sukurti GIS žemėlapi su objektais, kuris yra labai naudingas planuojant procesus, nes vizualiai perteikia informaciją apie jų prieinamumą ir atstūmus. Tokie tyrimai nors ir laikomi papildomais parenkant kraną, tačiau jie gali turėti didelės įtakos statybos procesų valdymui.

Šiuo tyrimu siekiama apibrėžti parametrus, kaip tiksliai nustatyti skirtumą tarp alternatyvių kranų ir kelių kranų junginių. Siūlomas metodas sujungia naujas duomenų rinkimo ir analizės metodus, pagrįstus BIM, GIS ir žiniatinklio (toliau – Web) aplinkos integravimu, ir leidžia sumažinti kranu pasirinkimo proceso išlaidas ir laiką. Pagrindinis tyrimo klausimas: Kokie parametrai gali apibrėžti tikslų alternatyvių kranų variantų ir kranų derinių skirtumus ir kaip galima nustatyti šiuos parametrus? Kiti tyrimo klausimai:

- Kaip išanalizuoti BIM modelį Web aplinkoje nepriklausomai nuo BIM modelio geometrijos tipo?
- Kaip tiksliai nustatyti matomą objekto dalį BIM modelyje esančiame Web aplinkoje?
- Kaip tiksliai nustatyti pasiekiamą pastato dalį BIM modelyje esančiame Web aplinkoje?

Šis straipsnis prisideda prie šios srities žinių šiais aspektais:

- Pateikia BIM modelio analizės metodą Web aplinkoje, kuris nesiremia BIM modelio geometrija.
- Pateikia būdą kaip tiksliai nustatyti kranu operatoriui matomąją pastato dalį analizuojant BIM modelį Web aplinkoje.
- Pateikia būdą kaip tiksliai nustatyti kranu strėlės pasiekiamą pastato dalį analizuojant BIM modelį Web aplinkoje.

## **Ankstesni tyrimai**

Kranu parinkimas yra viena iš svarbiausių statybų projekto užduočių (Marzouk & Abubakr, 2016), pavyzdžiui, sunkių konstrukcinių elementų kėlimas ir perkėlimas iš sandėliavimo vietos į montavimo vietą (Tam & Tong, 2003). Svarbą taip pat lemia ir ekonominės priežastys (Zavichi, Madani, Xanthopoulos, & Oloufa, 2014). Tinkamas kranas, parinktas pagal keliamąją galią, strėlės siekį ir kitus parametrus, turi būti taip pat ir nebrangus, nes kranų kaina turi didelę įtaką visai projekto kainai (Moussavi Nadoushani, Hammad, & Akbarnezhad, 2016). Norėdami sumažinti kranu nuomos kainą projektui dažniau naudojami du kranai (Hornaday & Haas, 1993). Kranų tipas ir skaičius daro įtaką darbų našumui ir trukmei, taip pat svarbu įvertinti, kad kranų darbo vieta laikoma pavojinga zona (Shapiro, Shapiro, & Shapiro, 2011). Kranu parinkimo procedūra yra sudėtingas procesas, apimantis įvairių veiksnių analizę. Tokie veiksniai apima, pavyzdžiui, tinkamiausio kranu tipo nustatymą atsižvelgiant į reikalaujamas specifikacijas, į statybos projekto poreikius (Abdelmegid, Hawki, & Abdel-Khalek, 2015), vertinant kranu pastatymo vietą ir judėjimo kryptis, atsižvelgiant į objekto kitus parametrus (Lewis & Bejczy, 1973; Wang et al., 2011), krovinių kėlimo trajektoriją (Lozano-Perez & Wesley, 1979), pavojingos zonos parametrus (Goldobina, Demenkov, & Trushko, 2019).

Decades ago, the crane selection process was performed by hand-written calculations that required much time consumption. Because of a human factor, such calculations had many mistakes and losses comparable to automated processes. Within the usage of computers, the crane selection process became much easier, faster, and more accurate. To perform the analysis, the building information, its surroundings, and crane specifications should be presented. The most suitable way of how the real-world data can be analysed is to present it in the three-dimensional (3D) space rather than in two-dimensional (2D). Therefore, the 3D models of construction sites and cranes are created more often (Han, Bouferguene, Al-Hussein, & Hermann, 2017; Han, Hasan, Bouferguène, Al-Hussein, & Kosa, 2015). Nonetheless, it should be highlighted that there are researches that still use 2D space for the crane selection process and mathematical calculations of the crane location optimisation based on construction site boundaries (Safouhi, Mouattamid, Hermann, & Hendi, 2011).

The use of Building Information Modelling (BIM) tools for presenting facility information brings many benefits. There is no significant difference between the BIM model and the 3D model for visualisation purposes (Pan, Guo, & Li, 2017). However, for analysis purposes, the BIM model suits much better because of attributive information that is presented inside the model (Bosche & Haas, 2018). Such an approach allows analysing the building and simulate the crane operations, calculate the crane required capacity or length of the boom (Hermann, Hendi, Olearczyk, & Al-Hussein, 2010). The researches can be categorised as follows: selection of a suitable crane type, optimisation of crane location, lifting path planning, coordination of multiple cranes, crane operation visualisation and simulation (Zhou, Guo, Ma, Zhang, & Skitmore, 2021). Wang et al. (2015) developed a system that uses BIM model representation for optimisation of the number of cranes and their types as well as their location. Dutta et al. (2020) investigated in optimisation of the lifting path of an element by the collision detection based on the elevation data presented in the BIM model. Astour and Franz (2014) focused their research on simulation-based layout planning by analysing the possible behaviour of the elements on the construction site. Karan & Irizarry (2015) integrated BIM, GIS and semantic web technology to calculate the crane movement based on geospatial analysis. Irizarry et al. (2012) integrated GIS and BIM environments to optimise locations of multiple cranes to reduce the workspace areas overlapping. However, the presented approach cannot identify the best suitable type of crane.

The existing studies present multiple approaches for crane selection. However, the methods are barely enough to present accurate results comparable not just visually but mathematically. For the crane selection, it is important to provide sufficient and measurable information on alternative crane locations, consider each parameter of the crane, different types of cranes and possible combinations of the cranes. This study aims to define the parameters for the accurate determination of the difference between alternative cranes and crane combinations. The proposed approach combines new technologies and methods for data gathering and analysis based on BIM, GIS and Web environments integration and allows reducing the cost and time for the crane selection process.

## **Preparations and data gathering**

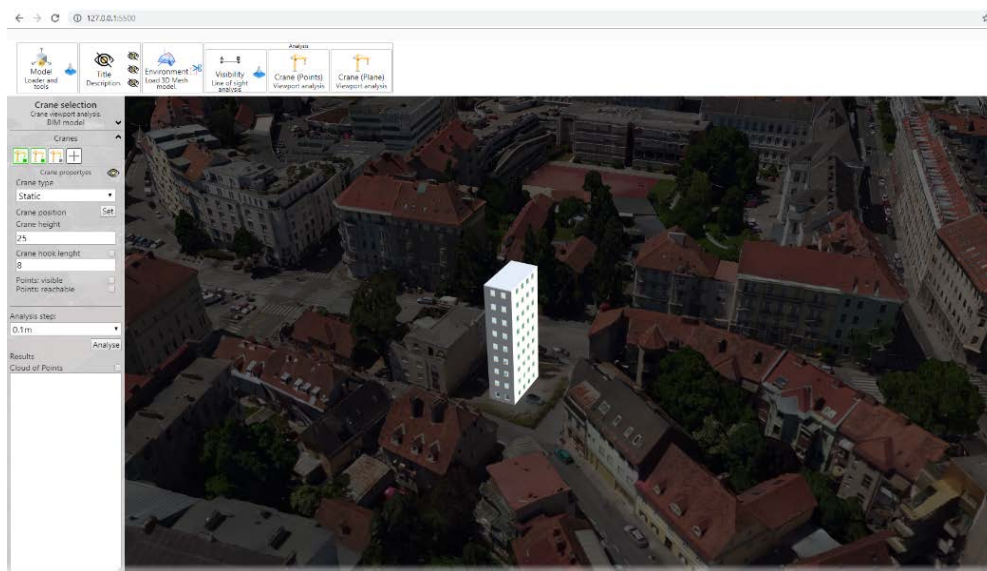
### **BIM, GIS and Web integration**

The starting point of each practical implementation is the development of the environment in which all logic is carried. There are two ways how such an environment can be presented, installable software on the computer or Web-based application. The number of Web-based applications is incredibly small because the set of technologies that allows building 3D web applications was invented just ten years ago. From the perspective of easy access and collaboration, it is clear that Web-based applications have a long list of advantages; therefore, the Web environment has been selected as a base for project development.

As has been highlighted above, the best way to analyse real-world objects is to present them in 3D space. For this purposes, the WebGL (Khronos Group – WebGL, 2021) technology was used. It allows drawing the canvases with the 3D data inside the Web environment. The web-based 3D application can be developed by the WebGL Application Programming Interface (API) itself or by using web libraries that allows to speed up the development process. For this research, the Three.js (three.js, 2021) library has been selected due to sufficient manuals and high community support.

Tyrimė „Three.js“ vaizdo vienetai naudojami vietos nustatymui ir koordinatų konvertavimui. Pagrindinio „Three.js“ vaizdo kūrimo kodas šiame straipsnyje nebus pateiktas, nes jį lengvai galima rasti oficialioje svetainėje. Reikėtų pabrėžti, kad matomumo analizei naudojamas duomenų perteikimo technika *raycasting*, skirta sukurti 3D perspektyvą 2D žemėlapyje. Šis įrankis tiesia liniją iš vieno taško į kitą 3D erdvėje. GIS aplinkoje šis įrankis vadinamas regėjimo linija (angl. line-of-sight). GIS ir Web aplinkas galima integruoti įvairiais būdais, tokiais kaip žemėlapių sąsajos, taškų debesies vaizdavimas, GIS sluoksnių naudojimas, aukščio paviršiaus modeliavimas ir kt. Paprastai statybvietėje informacijai apie realaus pasaulio būseną rinkti naudojamas lazerinis skenavimas. Siekiant sumažinti darbo sąnaudas ir laiko sąnaudas, galima naudoti 3D modeliavimą grįsta fotogrametrija.

BIM modelio integravimas į interneto aplinką yra sudėtingesnis. To priežastis yra ta, kad BIM aplinka nebuvo sukurta naudoti kartu su interneto aplinka, be to, visi BIM modeliai yra kuriami nuosavybinėje programinėje įrangoje, tokioje kaip „Autodesk Revit“ ir „Bentley Solidworks“. Tokia patentuota programinė įranga neleidžia tikrinti BIM modelio failų struktūros, nes ji yra užšifruota, todėl atnaujinti nuosavybinio tipo BIM failai išlieka nepalaikomi Web aplinkoje ir negali būti apdorojami už patentuotos programinės įrangos, kurioje jie buvo sukurti, ribų (Shkundalov, 2017). Norint turėti galimybę apdoroti BIM modelį Web aplinkoje, BIM modelį reikia konvertuoti į Web palaikomą failo tipą (Niu, Pan ir Zhao, 2015). Reikėtų pabrėžti, kad plačiai naudojamo IFC failo tipo taip pat negalima apdoroti ir be konversijos. Baigus konversiją, BIM modelio atvaizdavimą galima įkelti į Web aplinką. Rezultate gauta aplinka pateikta 1 paveiksle.



Paveikslas 1. Integruota BIM, GIS ir Web aplinka. Image 1. Integrated BIM, GIS and Web environments

## Objekto parametrizavimas

Norint atlikti analizę, reikia surinkti objekto paviršiaus geometrinius parametrus. Dažniausiai informacijai apie pastatą statybvietėje rinkti naudojamas lazerinis skenavimas. Tačiau toks būdas netaikomas naujai statomiems pastatams, todėl geometrinę informaciją reikia surinkti iš BIM modelio. Informacija apie BIM modelio ir bet kokio 3D objekto geometriją gali būti saugoma įvairiais būdais: kaip geometriniai elementai, pavyzdžiui, trikampiai ar kvadratai, kaip paviršiai, kaip kieti objektai, sujungimo taškai, matematiškai apibrėžti objektai ir kt. Šie metodai turi skirtingus tipus, briaunų ilgį, daugiakampių dydžius, o tai lemia skirtingus pranašumus ir trūkumus, tačiau visi jie turi tą patį trūkumą - jie remiasi geometrija, kurią sukūrė BIM modeliavimo programinė įranga arba konversijos įrankis, kuris buvo pritaikytas konvertuoti BIM modelį į Web palaikantį failo formatą. Be to, BIM modelis turi nepertraukiamą geometriją ir, konvertuojamas, dažniausiai keičiamas į „Boundary Representation“ (B-Rep) geometriją, nes Web sprendimai daugiausia orientuoti į šio tipo geometriją. Dėl to neįmanoma sukurti vieningo sprendimo, kuris analizuos visų tipų geometrinę informaciją.

To solve the issue of geometric information collecting from the BIM model a new approach has been developed that is based on the generation of a cloud of points from the BIM model surface. The generation of the points can be done in multiple ways: by using geometry joining points, by generating points on the geometry edges, by a complex algorithm of defining points on the surfaces. However, none of these methods allows generating the cloud of points with equal distance between the points that is necessary for further accurate analysis. Therefore, it was decided to generate points by the detection of the intersection points of the GIS analysis line-of-sight (line) and BIM model surface.

The geometry of the BIM model can be presented in any way; however, the intersection of this geometry with the line always will return only one point. To generate the points for all object surfaces such intersection lines should be generated to all surface of the BIM model, starting from the lowest coordinates of the BIM model in each direction and ending with the highest coordinates. The coordinate increment step can be defined in any range, and it represents the distance between the points. For this article, the span of 10 cm between the points has been defined. It should be highlighted, that a smaller distance between the points increases the accuracy of the analysis; however, it significantly influences the duration of calculations.

As a result, the cloud of points that represents the surface of the BIM model is generated. The advantage of this method is that it does not rely on the type of the BIM model geometry, and each point in the cloud of points has an equal distance with the adjacent points.

### **Crane specification**

The position of the crane needs to be specified to perform the analysis of the crane location. By default, each object in the 3D environment has coordinates in the local coordinate system. The Web-based GIS applications use Mercator coordinate system; therefore, it is necessary to convert local coordinates into Mercator coordinate system. However, as this article is not aiming to present the conversion process of coordinate systems, this algorithm is not presented. More information about such conversion can be found in Shkundalov & Vilutiene (2020) article.

For safety, the check of the distance to the nearest objects needs to be performed. In the present approach, the distance check is done automatically while placing or moving the crane. To check the distance, the same approach of line interruption is used: from the position of the crane, the lines are created in all directions and the distance from the crane position to the nearest objects is checked. In case the distance is smaller than is defined by the system operator, the alert will be shown. The same procedure can be repeated multiple times by changing the height of the casting point to perform a check for all crane body. The advantage of this approach is that it allows checking the distance to any type of the objects presented by any source, such as distance to the building presented by the BIM model, distance to the real world objects presented by 3D mesh model or distance to any other loaded objects.

After the crane location is defined and it suits the minimum required distance to the adjacent objects, the height of the crane and length of the boom can be defined. In case the system operator does not define the specific height of the crane, the minimum required crane height will be automatically calculated based on the height of the building presented in the BIM model. The same logic is applied to the length of the boom: in case the operator did not specify it then the distance from the crane position to the farthest point of the generated cloud of points will be considered as the required length of the boom. In most cases, cranes with long boom cost more than cranes with shorter boom, so it is necessary to keep the proposed value as a reference and not use automatic crane boom length adjustment, but perform an analysis to obtain the optimal length. Moreover, the methodology presented in this article allows to analyse an infinite number of cranes, and this can be considered as an additional advantage of the study. As Lin & Haas (1996) stated, there is a big chance that the usage of two or more cranes will be much more efficient compared to a single crane.

After the location and the height of the crane as well as the length of the boom are defined, the crane workspace area is created. This area is used to analyse the overlapping of the workspace areas in case several cranes are analysed that is useful for safety as has been highlighted in previous studies analysed in this manuscript.

Paskutinis parametras, kuris yra labai svarbus kranų pasirinkimo procesui, yra kranų keliamoji galia. Šiam parametrai nustatyti informaciją galima paimti iš BIM modelio, nes jame pateikiama įvairiapusė informacija apie visus pastato elementus. Tačiau reikia pažymėti, kad konvertuojant BIM modelio nuosavybės tipo bylas, ne visada tinkamai perkeliama susijusi informacija apie konstrukcijos, elemento ir medžiagos parametrus. Šiam straipsniui reikalinga kranų keliamoji galia apibrėžiama pagal sunkiausią BIM modelyje pateiktą elementą. Toks elementas yra betoninė  $10.76 \text{ m}^3$  plokštė, kuri sveria 25.42 tonas. Kadangi atliekant analizę šis parametras nebus keičiamas, jo nereikia niekur pabrėžti, išskyrus kranų pasirinkimo reikalavimus.

## Rezultatai

Integravus BIM modelį realaus pasaulio vaizde kaip 3D tinklo modelį, sistema yra pasirengusi atlikti analizę.

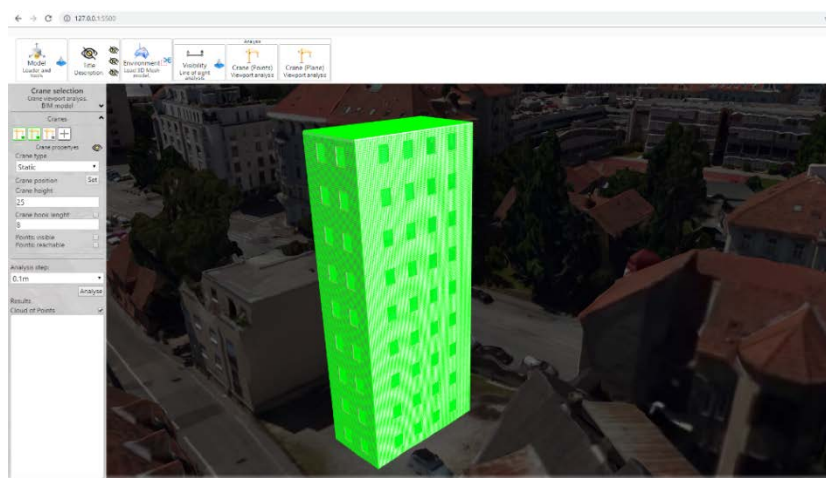
Pateikta analizė pagrįsta linijų iš kranų kabinos ar kranų operatoriaus matymo lauko generavimu, įvertinus kranų vietą ir kranų aukštį, iki taškų, kurie saugomi sudarytame analizuojamo objekto taškų debesyje. Kai linijos sugeneruotos, jos naudojamos paskesnei analizei. Jei kranas buvo pašalintas iš modelio, jis nebus analizuojamas ir neturės jokios įtakos gautiems skaičiavimams. Kaip buvo pabrėžta aukščiau, informacija apie kiekvieną tašką yra saugoma, todėl nėra problemų atlikti analizę kiekvieno atskiro taško atžvilgiu.

Šios analizės pabaigoje kiekvienam kranui paskaičiuojami su kranų darbu ir konkrečiu BIM modeliu susiję matomumo (angl. *visibility rate*) ir pasiekiamumo (angl. *reachability rate*) rodikliai. Kadangi atstumas tarp šalia esančių taškų yra fiksuotas ir žinomas, kitame analizės žingsnyje galima paskaičiuoti matomo paviršiaus plotą taikant Herono formulę (Heron's formula, 2021) be klaidų (Kahan, 2014) ir padidinti rezultato tikslumą.

## BIM modelio parametrizavimas

Pirmasis analizės žingsnis yra taškų debesies generavimas pagal objekto paviršius pateiktus BIM modelyje. Pritaikius skyriuje „Objekto parametrizavimas“ pateiktą logiką, sudaromas taškų debesis su žingsniu 10 cm (2 paveikslas.). Bendras taškų skaičius priklauso nuo objekto dydžio ir apibrėžto žingsnio. Pateiktame projekte bendras taškų skaičius yra 81415, t. y.  $808.5 \text{ m}^2$ . Informacija apie kiekvieną tašką saugoma tolesnei analizei.

Atstumas tarp taškų yra fiksuotas, todėl kiekvienam analizės žingsniui bus apskaičiuojamas taškų debesies plotas. Taškų debesies generavimas visam pastatui užtrunka 27 sekundes. Šis žingsnis reikalingas vieną kartą analizės pradžioje ir nebus kartojamas tolesnėje analizėje, nebent BIM modelis bus atnaujintas. Jei BIM modelyje pateikiamos skirtingos statybų fazės arba jos yra įkeltos kaip atskiri BIM modelio atvaizdai, šis žingsnis turi būti kartojamas kiekvienam statybos etapui ir kiekvienam etapui bus sukurtas atskiras taškų debesis.



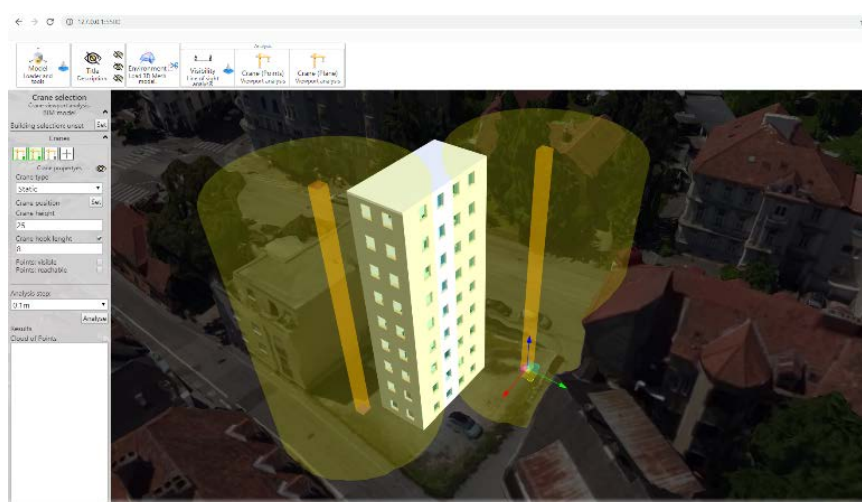
Paveikslas 2. Taškų debesis generuotas iš BIM modelio. Image 2. Cloud of points generated from BIM model



### Crane location and workspace area

The next step is to specify the cranes inside the real-world representation. As has been highlighted above, in case the crane parameters such as height and length of the boom were not specified by the operator, they would be calculated automatically based on the information presented in the BIM model. In the presented project, the length of the crane boom is set to 8 meters for both cranes. With the help of workspace area representation that is built by the length of the boom, the cranes can be placed with no collision of the highlighted above areas that are presented in figure 3.

Based on calculated parameters, the crane can be selected. By entering crane parameters, different alternatives can be compared. The number of cranes that can be added to the project is unlimited; therefore, there is an opportunity to place as many cranes as needed and specify their unique parameters, compare different combinations of cranes and different locations. Alternative cranes can be excluded from analysis by toggling the relevant icon in the crane settings window.



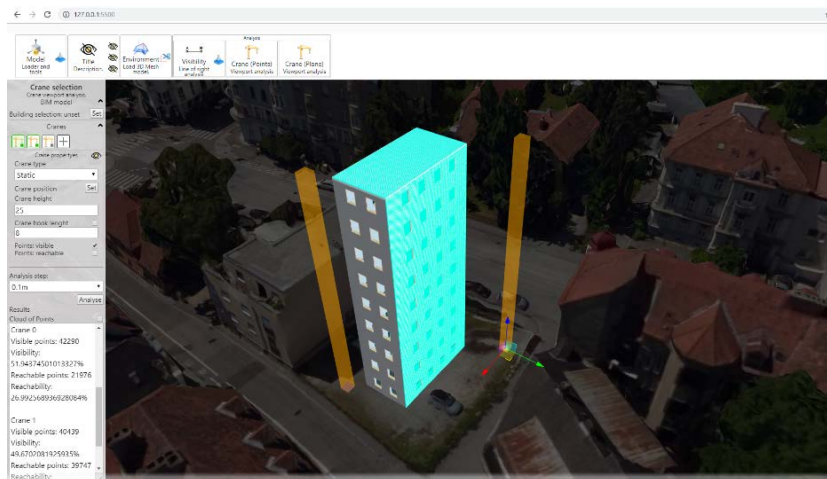
Paveikslas 3. Kranų padėties nustatymas ir darbo vietos zonų vaizdavimas. Image 3. Cranes positioning and workspace areas representation

### Crane visibility rate

Crane visibility rate is the parameter that represents the percentage of the building or any object under construction that can be visible from the crane cabin. To calculate this parameter, the detection of line interruptions (breaks) is made. In case the generated line has at least one interruption by any object presented in the 3D space, then the point on the building surface, to which the line was cast, is considered as invisible from the crane viewport. After all, points have been analysed, the sum of visible points is calculated. The result of this analysis is presented in figure 4.

This parameter can be useful in case there is a need to identify the optimal crane position from which the largest part of the building can be seen. For example, the optimum location of the crane for the instalment of the exterior walls can be determined by combining calculated visibility rate with the reachability rate. The calculation of visibility rate is made by comparing the total number of points that are stored in the cloud of points and the number of points that can be seen from a crane viewport.

In the presented project, the number of visible points for the first crane is 42290, and the visibility rate is equal to 51.95 %; the number of visible points for the second crane is 40439, and the visibility rate is equal to 49.67 %. The results of the analysis show that approximately equal parts of the facility can be seen from both crane locations; nonetheless, the difference is 2.28 % which means that from the first crane location the visible area of the building is 18.4 m<sup>2</sup> larger comparing to the second location.



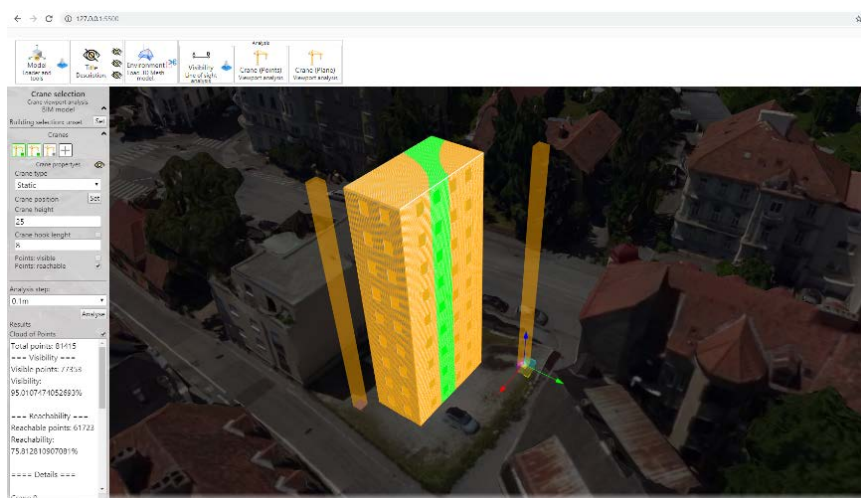
Paveikslas 4. Krano matomumo lygis: mėlyni taškai matomi iš pirmo krano. Image 4. Crane visibility rate: blue points are visible from the first crane

### Krano strėlės siekio rodiklis (Crane reachability rate)

Šiame tyrime nustatomas krano strėlės siekio rodiklis (angl. *reachability rate*) yra parametras, nurodantis procentinę pastato BIM modelio dalį, kurią galima pasiekti krano strėle iš nurodytos krano darbo vietos. Norint apskaičiuoti šį parametą, lyginamas nutiestos linijos ilgis su krano strėlės ilgiu: jei nutiestos linijos ilgis yra mažesnis arba lygus krano strėlės ilgiui, taškas ant objekto paviršiaus yra laikoma pasiekiamas. Bokštiniais kranams linija projektuojama ant lygaus paviršiaus, kad būtų išvengta vertikalios koordinatų įtakos, o projekcijos ilgis lyginamas su krano strėlės ilgiu. Atlikus visų taškų esančių debesyje analizę, apskaičiuojama pasiekiamų taškų suma. Šio analizės etapo rezultatas pateiktas 5 paveiksle.

Šis parametras naudingas atliekant užduotis, kurioms esant reikia vertinti strėlės siekį ne tik vizualiai, bet ir matematiškai. Toks metodas leidžia pakankamai tiksliai palyginti alternatyvias krano vietas ir skirtingus strėlės siekius ir tiksliai nustatyti skirtumus.

Pateiktame projekte pasiekiamų taškų skaičius nuo pirmojo krano yra 21976, o strėlės siekio rodiklis (angl. *reachability rate*) yra lygus 26.99 % arba 218,2 m<sup>2</sup>. Iš antrojo krano pasiekiamų taškų skaičius yra 39747, o strėlės siekio rodiklis yra lygus 48.82 % arba 394.7 kvadratiniais metrams. Analizės rezultatai rodo, kad tarp dviejų krano vietų yra reikšmingas skirtumas. Tai yra, antroji krano vieta yra 21.83 % efektyvesnė, palyginti su pirmąja vieta, o pasiekiamas plotas yra 176.5 m<sup>2</sup> didesnis.



Paveikslas 5. Krano siekio lygis: žaliųjų taškų negalima pasiekti; galima pasiekti oranžinius taškus. Image 5. Reachability rate: green points are not reachable; orange points can be reached.



### **Visibility rate of a building**

Visibility rate of a building is a parameter that represents the percentage of the BIM model surface that can be visible from at least one crane. The visibility rate of a building is calculated based on the number of visible points gathered for each analysed crane; coinciding points are considered as the same point.

The visibility rate of the presented building in the examined project is equal to 95.01 % that is 77353 points. Based on this parameter the alternative locations of the crane as well as different crane combinations can be compared to achieve the biggest visible surface of the building. Moreover, the usage of this method allows determining the invisible zones of the building in each construction phase in case they are analysed. This gives an opportunity to determine the phases when the crane need to be moved to have a better view.

### **Reachability rate of the building**

The last and the most significant result of the proposed analysis represents the reachability rate for all building surface. The reachability rate of a building is calculated in the same way as the visibility rate of a building, i.e. by summing the number of reachable points from each analysed crane.

The reachability rate for the examined building is 75.81 % that means that the cranes from the specified positions will not reach almost 25% of the building that will cause significant problems in the construction process. The suggestion is to change the positions of the cranes by the relocation of the cranes or rent the cranes with a longer boom. The proposed approach allows excluding the not suitable cranes from the analysis. It is possible to compare different combinations of cranes, for example, one crane with a long boom and a combination of two cranes with shorter booms. Another example is the splitting the working area for several cranes on different construction phases: cheaper crane can be rented for the beginning phases of the construction process, and when the reachable part of the building is larger, and the existing crane becomes unsuitable, then a more expensive crane can be rented.

## **Conclusions**

The crane selection is one of the important tasks in the construction project, as it has a big influence on the project budget, schedule, safety and other aspects of the construction project. To receive precise information about crane operations different crane parameters need to be considered analysing them mathematically and visually. The usage of Web environment allows easy collaboration of the project participants and becomes very popular as a basis for a common data environment. Therefore, the proposed methodology integrates BIM, GIS and Web environments and allows analysing a crane as well as combinations of cranes in the condition of a real-world environment, and based on the BIM model representation inside the Web environment. The results of the performed analysis shown high accuracy of the calculation and proved the usefulness of the developed methodology by comparison of crane alternatives.

The study proposes crane visibility and crane reachability rates that can be applied as additional to conventional parameters used in crane selection analyses. Based on crane visibility rate and crane reachability rate the locations of the cranes can be examined and compared more accurately, which allows determining the optimal locations. Those parameters allow us to not just visualise the difference of the crane specifications, but to understand how exactly they differ. Such an approach allows analysing different construction phases and finds optimal solutions for cranes operation and locations. This enables to reduce the budget of the crane operations and avoid the use of more expensive cranes. The visibility and reachability rates of a building proposed as complementary parameters allow determining how well the parts of a building are visible and reachable from the specific crane position.

The presented study has limitations. Specifically, the cost of crane rent is not considered, as well as the crane type needs to be defined by the system operator. Future investigation will be focused on development of the system that checks the distance to the adjacent objects, notify on insufficient distances and propose alternative positions automatically. To implement this functionality the GIS layer with adjacent objects, such as roads, red lines, communications, need to be connected.

## Išvados

Krano pasirinkimas yra viena iš svarbiausių statybos projekto užduočių, nes kranų naudojimas turi didelę įtaką projekto biudžetui, tvarkaraščiui, saugumui ir kitiems statybos projekto aspektams. Norint gauti tikslią informaciją apie kranų operacijas, reikia apsvarstyti skirtingus kranų parametrus, matematiškai ir vizualiai juos analizuojant. Web aplinkos naudojimas leidžia lengvai bendradarbiauti projekto dalyviams ir tampa labai populiarius kaip bendros duomenų aplinkos pagrindas. Todėl siūloma metodika integruoja BIM, GIS ir Web aplinką ir leidžia analizuoti vieną kraną, taip pat kranų kombinacijas realios aplinkos sąlygomis ir remiantis BIM modelio vaizdavimu interneto aplinkoje atlikti alternatyvų analizę. Atliktos analizės rezultatai parodė didelį skaičiavimo tikslumą ir įrodė sukurtos metodikos naudingumą lyginant kranų alternatyvas.

Tyrime siūlomi kranų matomumo (angl. *visibility rate*) ir kranų strėlės siekio (angl. *reachability rate*) rodikliai, kurie gali būti taikomi kaip papildomi kartu su kitais įprastais parametrais, naudojamais kranų parinkimo analizėje. Remiantis kranų matomumo rodikliu ir kranų strėlės siekio rodikliu, galima tiksliau išnagrinėti ir palyginti kranų vietas ir pasirinkti optimalias. Šie parametrai leidžia ne tik vizualizuoti kranų specifikacijų skirtumą, bet ir suprasti, kuo tiksliai jie skiriasi. Toks požiūris leidžia analizuoti įvairius statybos etapus ir rasti optimalius kranų ir jų darbo vietų sprendimus ir išvengti brangesnių kranų naudojimo. Pastato matomumas ir strėlės siekio rodikliai, siūlomi kaip papildomi parametrai, pastato BIM modelyje integruotame Web aplinkoje leidžia nustatyti, kaip gerai pastato dalys yra matomos ir pasiekiamos iš konkrečios kranų padėties.

Pateiktas tyrimas turi ir apribojimų. Šiame tyrime neatsižvelgiama į kranų nuomos kainą, taip pat kranų tipą turi apibrėžti sistemos operatorius. Ateityje tyrimas bus sutelktas į sistemos, kuri tikrina atstumą iki gretimų objektų, praneša apie nepakankamus atstumus ir automatiškai siūlo alternatyvias pozicijas, plėtrą. Norint įgyvendinti šią funkciją, reikia sujungti GIS sluoksnį su gretimais objektais, tokiais kaip keliai, raudonos linijos, komunikacijos.

## LITERATŪROS ŠALTINIAI/BIBLIOGRAPHY

- Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*, 61, 1-15., doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.008](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.008).
- Tam, C. M., & Tong, T. K. (2003). GA-ANN model for optimizing the locations of tower crane and supply points for high-rise public housing construction. *Construction Management and Economics*, 21(3), 257-266. doi: [www.doi.org/10.1080/0144619032000049665](http://www.doi.org/10.1080/0144619032000049665).
- Zavichi, A., Madani, K., Xanthopoulos, P., & Oloufa, A. A. (2014). Enhanced crane operations in construction using service request optimization. *Automation in construction*, 47, 69-77. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.011](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.011).
- Moussavi Nadoushani, Z. S., Hammad, A. W., & Akbarnezhad, A. (2017). Location optimization of tower crane and allocation of material supply points in a construction site considering operating and rental costs. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(1), 04016089. doi: [www.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001215](http://www.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001215).
- Hornaday, W. C., Haas, C. T., O'Connor, J. T., & Wen, J. (1993). Computer-aided planning for heavy lifts. *Journal of construction engineering and management*, 119(3), 498-515. doi: [www.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1993\)119:3\(498\)](http://www.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:3(498)).
- Shapiro, L.; Shapiro, J. and Shapiro, H. *Cranes and Derricks*. Mc Graw Hill, 2011, available: [www.ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/7371/1/Cranes%20and%20Derricks.pdf](http://www.ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/7371/1/Cranes%20and%20Derricks.pdf).
- Abdelmegid, M. A., Shawki, K. M., & Abdel-Khalek, H. (2015). GA optimization model for solving tower crane location problem in construction sites. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 519-526. doi: [www.doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.011](http://www.doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.011).
- Lewis, R. A., & Bejczy, A. K. Planning considerations for a roving robot with arm, *Proceedings of the 3rd International Joint Conference on Artificial Intelligence*, vol. 73, pp. 308-316, 1973, doi: [www.ijcai.org/Proceedings/73/Papers/033A.pdf](http://www.ijcai.org/Proceedings/73/Papers/033A.pdf).
- Wang, X., Zhang, Y. Y., Wu, D., & Gao, S. D. (2011). Collision-free path planning for mobile cranes based on ant colony algorithm. In *Key Engineering Materials* (Vol. 467, pp. 1108-1115). Trans Tech Publications Ltd. doi: [www.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.467-469.1108](http://www.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.467-469.1108).

- Lozano-Pérez, T., & Wesley, M. A. (1979). An algorithm for planning collision-free paths among polyhedral obstacles. *Communications of the ACM*, 22(10), 560-570. doi: [www.doi.org/10.1145/359156.359164](http://www.doi.org/10.1145/359156.359164)
- Goldobina, L. A., Demenkov, P. A., & Trushko, O. V. (2019) Ensuring the Safety of Construction Works During the Erection of Buildings and Structures. *Journal Of Mining Institute*, vol. 239, pp. 583-595. doi: [www.doi.org/10.31897/PMI.2019.5.583](http://www.doi.org/10.31897/PMI.2019.5.583)
- Al Hattab, M., Zankoul, E., Barakat, M., & Hamzeh, F. (2017). Crane overlap and operational flexibility: balancing utilization, duration, and safety. *Construction Innovation*. 18/1, 43–63. doi: [www.doi.org/10.1108/CI-11-2016-0062](http://www.doi.org/10.1108/CI-11-2016-0062)
- Younes, A., & Marzouk, M. (2018). Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts. *Automation in construction*, 93, 348-360. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.030](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.030)
- Al Hattab, M., Zankoul, E., & Hamzeh, F. R. (2017). Near-real-time optimization of overlapping tower crane operations: a model and case study. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(4), 05017001. doi: [www.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000666](http://www.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000666)
- Al Hattab, M., Zankoul, E., & Hamzeh, F. (2014). Optimizing joint operation of two tower cranes through look-ahead planning and process simulation. In *Proceedings 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Understanding and Improving Project Based Production*. p. 535–546. doi: [www.doi.org/10.13140/RG.2.1.3411.1520](http://www.doi.org/10.13140/RG.2.1.3411.1520)
- Han, S., Bouferguene, A., Al-Hussein, M., & Hermann, U. (2017). 3D-based crane evaluation system for mobile crane operation selection on modular-based heavy construction sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(9), 04017060. doi: [www.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001360](http://www.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001360)
- Han, S. H., Hasan, S., Bouferguène, A., Al-Hussein, M., & Kosa, J. (2015). Utilization of 3D visualization of mobile crane operations for modular construction on-site assembly. *Journal of management in engineering*, 31(5), 04014080. doi: [www.doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.000031](http://www.doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.000031)
- Safouhi, H., Mouattamid, M., Hermann, U., & Hendi, A. (2011). An algorithm for the calculation of feasible mobile crane position areas. *Automation in Construction*, 20(4), 360-367. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.006](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.11.006)
- Pan, Z., Guo, H., & Li, Y. (2017). Automated Method for Optimizing Feasible Locations of Mobile Cranes Based on 3D Visualization. *Procedia engineering*, 196, 36-44. doi: [www.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.170](http://www.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.170)
- Bosche, F., & Haas, C. T. (2008). Automated retrieval of 3D CAD model objects in construction range images. *Automation in Construction*, 17(4), 499-512. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2007.09.001](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2007.09.001)
- Hermann, U., Hendi, A., Olearczyk, J., & Al-Hussein, M. (2010). An integrated system to select, position, and simulate mobile cranes for complex industrial projects. In *Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice* (pp. 267-276). doi: [www.doi.org/10.1061/41109\(373\)27](http://www.doi.org/10.1061/41109(373)27)
- Zhou, Y., Guo, H., Ma, L., Zhang, Z., & Skitmore, M. (2021). Image-based onsite object recognition for automatic crane lifting tasks. *Automation in Construction*, 123, 103527. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103527](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103527)
- Wang, J., Zhang, X., Shou, W., Wang, X., Xu, B., Kim, M. J., & Wu, P. (2015). A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. *Automation in Construction*, 59, 168-178. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.05.006](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.05.006)
- Dutta, S., Cai, Y., Huang, L., & Zheng, J. (2020). Automatic re-planning of lifting paths for robotized tower cranes in dynamic BIM environments. *Automation in Construction*, 110, 102998. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102998](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102998)
- Astour, H., & Franz, V. (2014). BIM-and simulation-based site layout planning. In *Computing in Civil and Building Engineering* (2014) (pp. 291-298). doi: [www.refhub.elsevier.com/S0926-5805\(15\)00201-0/rf9600](http://www.refhub.elsevier.com/S0926-5805(15)00201-0/rf9600)
- Alkriz, K., & Mangin, J. C. (2005). A new model for optimizing the location of cranes and construction facilities using genetic algorithms. In *Proceedings 21st Annual ARCOM Conference*. London, UK: Springer (pp. 981-91). [www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2005-0981-0991\\_Alkriz\\_and\\_Mangin.pdf](http://www.arcom.ac.uk/-docs/proceedings/ar2005-0981-0991_Alkriz_and_Mangin.pdf).

- Karan, E. P., & Irizarry, J. (2015). Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services. *Automation in Construction*, 53, 1-12. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.012](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.012)
- Irizarry, J., Karan, E. P., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in construction*, 31, 241-254. doi: [www.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005](http://www.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005)
- Irizarry, J., & Karan, E. P. (2012). Optimizing location of tower cranes on construction sites through GIS and BIM integration. *Journal of information technology in construction (ITcon)*, 17(23), 351-366. doi: [www.itcon.org/papers/2012\\_23.content.06091.pdf](http://www.itcon.org/papers/2012_23.content.06091.pdf)
- Khronos Group – WebGL”, 2021, Available: [www.khronos.org/webgl](http://www.khronos.org/webgl).
- Three.js, 2021, Available: [www.threejs.org/docs/index.html#manual](http://www.threejs.org/docs/index.html#manual).
- Shkundalov, D. (2017). Development of visualization and manipulation methods for BIM and digital city models using Web graphic library. In *Proceedings of the 20th Conference for Junior Researchers “Science–Future of Lithuania”:*“Civil Engineering and Geodesy, pp. 1-6. doi: [www.jmk.msk.vgtu.lt/index.php/geodezija/2017/paper/view/146](http://www.jmk.msk.vgtu.lt/index.php/geodezija/2017/paper/view/146)
- Niu, S., Pan, W., & Zhao, Y. (2015). A BIM-GIS integrated web-based visualization system for low energy building design. *Procedia Engineering*, 121, 2184-2192. doi: [www.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.091](http://www.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.091)
- Shkundalov, D., & Vilutienė, T. (2020). Building Management System in WebBIM Environment. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE (Vol. 11, pp. 1-5)*. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property. doi: [www.doi.org/10.3846/enviro.2020.725](http://www.doi.org/10.3846/enviro.2020.725)
- Lin, K. L., & Haas, C. T. (1996). Multiple heavy lifts optimization. *Journal of construction engineering and management*, 122(4), 354-362. doi: [www.trid.trb.org/view/481784](http://www.trid.trb.org/view/481784)
- Heron's formula, 2021, Available: [www.en.wikipedia.org/wiki/Heron%27s\\_formula](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Heron%27s_formula).
- Kahan, W. (2014). Miscalculating area and angles of a needle-like triangle. *Lecture Notes for Introductory Numerical Analysis Classes*, pp. 1-23, doi: [www.cs.berkeley.edu/~wkahan/Triangle.pdf](http://www.cs.berkeley.edu/~wkahan/Triangle.pdf).