



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



RESEARCH in BUILDING ENGINEERING
INVESTIGANDO en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

EXCO'18



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESQUILA TÈCNICA SUPERIOR DE INGENIERIA DE EDIFICACIÓN

INVESTIGANDO en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING

EXCO'18

RESEARCH in BUILDING ENGINEERING EXCO'18

INVESTIGANDO

en INGENIERÍA de EDIFICACIÓN EXCO'18

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ETS de INGENIERÍA de EDIFICACIÓN

EDITORS Editores:

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón
MEDINA RAMÓN, Francisco Javier

Universitat Politècnica de València
Universitat Politècnica de València

MAKING Maquetación:

ALBIOL IBÁÑEZ, José Ramón
MARTÍNEZ BENLLOCH, J. Javier

Universitat Politècnica de València
BYPRINT PERCOM, S.L.

PUBLISHER Edita:

edita.me

ACKNOWLEDGMENTS Agradecimientos:



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



ISBN: 978-84-17098-63-6

©2018, ETS de Ingeniería de Edificación, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Cover image: pitatatu/bigstock.com

XXXII**SALÓN TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN EXCO 2018**

XXXII CONSTRUCTION TECHNOLOGY EXHIBIT – EXCO 2018

SALÓN INTERNACIONAL CEVISAMA 2018

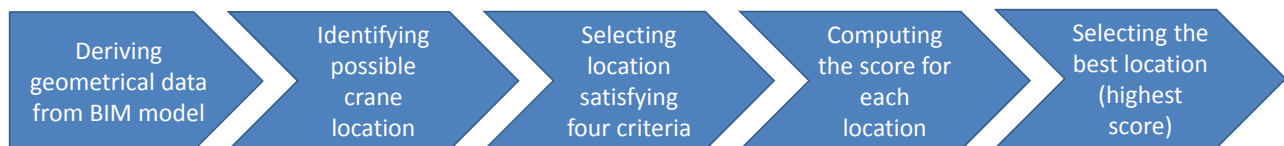
INTERNATIONAL EXHIBITION FAIR - CEVISAMA 2018 - Valencia SPAIN

SCELTA DELLA POSIZIONE OTTIMALE DELLE GRU IN CANTIERE**CHOOSING OPTIMAL CRANE POSITION IN A CONSTRUCTION SITE**Fulvio Re Cecconi¹
Department ABC / Politecnico di Milano¹Sebastiano Maltese²
Department ABC / Politecnico di Milano²Giuseppe Di Giuda³
Department ABC / Politecnico di Milano³

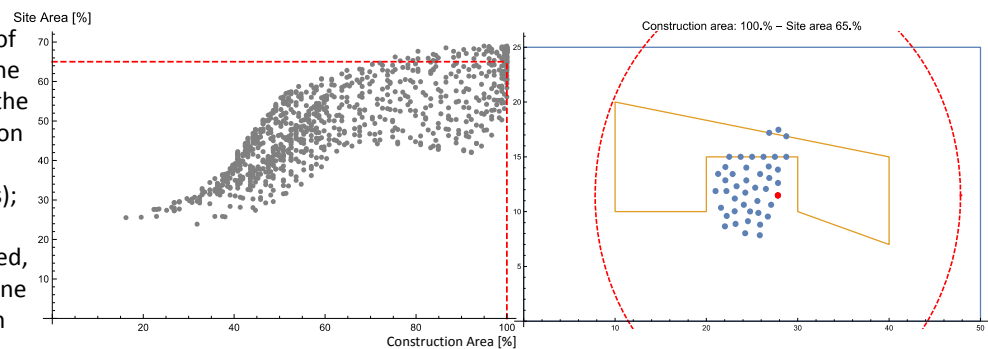
Nowadays **cranes**, despite their types, **are the cornerstone of productive construction sites**. In particular, tower cranes, the most commonly used, hoist and transport any kind of loads in a building site, being often on the critical path of construction projects. **Identifying the ideal number and position of tower cranes in a construction site is of paramount importance** because it can save time and thus money. Moreover, it can reduce conflicts among different cranes, thus avoiding clashes and improving site safety.

Focusing on productivity and safety, an algorithm to **optimize** the positions of tower cranes in a construction site have been defined **according to four criteria** (Maximizing the area of the future building under cranes' boom; Maximizing the site area under the cranes' boom; Minimizing cranes overlapping; Minimizing the area outside the construction site but under cranes' boom). The relative importance of these has been assessed with interviews with experts using pairwise comparison.

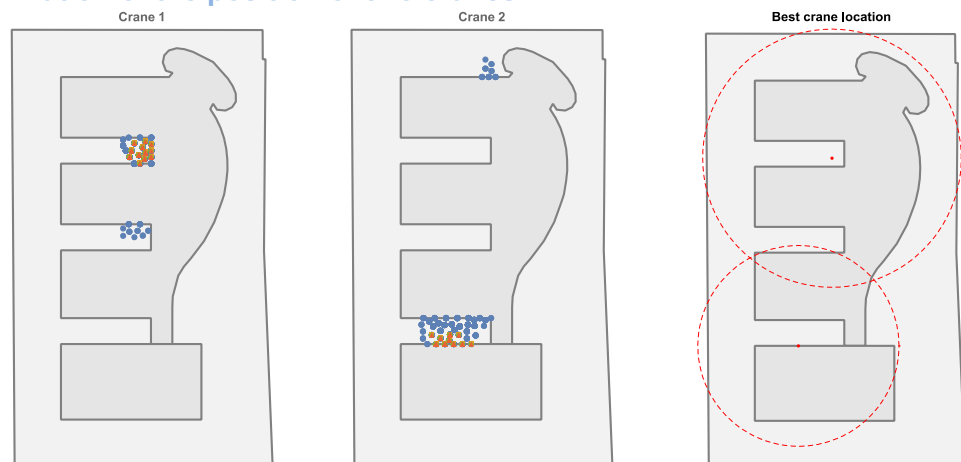
Two case studies proved that the proposed algorithm allows to choose cranes optimal positions in order to maximize site productivity and safety. Moreover, the case studies showed that the optimization process can be easily integrated in a BIM based design and construction process. Further work on the optimization process would allow to consider other optimizing criteria and widen the scope of the algorithm.

WORKFLOW**CASE STUDY #1: Optimization of the position of a single crane**

The two figures show: (left) the percentage of the area of the future building and of the area of the site covered by the crane according to its location (dashed red lines are the minimum acceptable values); (right) all the points that satisfy the criteria and, in red, the best location for the crane (location with the maximum score).

**CASE STUDY #2: Optimization of the position of two cranes**

The three figures show: (left) the acceptable positions for crane one in each of the four steps (criteria); (middle) the acceptable positions for crane two in each of the four steps (criteria); (right) the best location for the two cranes (location with the maximum score).



Scelta della posizione ottimale delle gru in cantiere

Choosing optimal crane position in a construction site

Fulvio Re Cecconi

Department ABC / Politecnico di Milano / fulvio.receconi@polimi.it

Sebastiano Maltese

Department ABC / Politecnico di Milano / sebastiano.maltese@polimi.it

Giuseppe Martino Di Giuda

Department ABC / Politecnico di Milano / giuseppe.digiuda@polimi.it

Abstract

Nowadays cranes, despite their types, are the cornerstone of productive construction sites. In particular, tower cranes, the most commonly used, hoist and transport any kind of loads in a building site, being often on the critical path of construction projects.

Identifying the ideal number and position of tower cranes in a construction site is of paramount importance because it can save time and thus money. Moreover, it can reduce conflicts among different cranes, thus avoiding clashes and improving site safety.

Focusing on productivity and safety, an algorithm to optimize the positions of tower cranes in a construction site have been defined according to four criteria. The relative importance of these has been assessed with interviews with experts using pairwise comparison.

Two case studies proved that the proposed algorithm allows to choose cranes optimal positions in order to maximize site productivity and safety. Moreover, the case studies showed that the optimization process can be easily integrated in a BIM based design and construction process.

Further work on the optimization process would allow for considering other optimizing criteria and widening the scope of the algorithm.

Keywords

Tower crane position, construction site productivity, multi-criteria optimization, AHP.

Introduzione

Le gru sono ampiamente utilizzate nei cantieri edili e, sebbene ne esistano diversi tipi (Shapira, Lucko, & Schexnayder, 2007), le più utilizzate sono quelle a torre (Kim, Kim, Lee, & Ryu, 2011) perché spesso offrono la migliore combinazione tra altezza e capacità di sollevamento. La loro importanza in un cantiere è legata alla necessità di trasportare materiali e attrezzature differenti nel minor tempo possibile (Abdelmegid, Shawki, & Abdel-Khalek, 2015). È noto infatti che la minimizzazione dei movimenti di materiali aiuta a raggiungere uno dei principali obiettivi della pianificazione del cantiere, ovvero la riduzione dei costi del progetto (Mawdesley, Al-jibouri, & Yang, 2002). Inoltre, la scelta del posizionamento ottimale delle gru può migliorare notevolmente la sicurezza delle operazioni. Ricerche effettuate dai Responsabili per la salute e la sicurezza sul lavoro degli Stati Uniti d'America (OSHA) e dal *Construction Industry Research and Policy Center* (CIRPC) dell'Università del Tennessee hanno dimostrato che una delle principali cause di mortalità durante la costruzione è l'uso di gru o torri durante le operazioni di sollevamento (Beavers, Moore, Rinehart, & Schriver, 2006). La stessa fonte riferisce che il 24% degli incidenti relativi alla gru esaminati si verifica durante il sollevamento e la movimentazione di attrezzature e materiali. Simili conclusioni sono tratte a Singapore, dove, secondo il Ministero del Lavoro, la mancanza di pianificazione e di supervisione è una delle cause principali degli incidenti legati alle gru (Peng & Chua, 2017), e in Corea, dove le gru sono al quarto posto tra gli oggetti coinvolti in incidenti, dietro le strutture temporanee (es. ponteggi), le macchine da costruzione (es. escavatori) e i mezzi da costruzione (Shin, 2015).

Scopo della ricerca

La pianificazione dei cantieri è un compito ricorrente che deve essere svolto nelle fasi iniziali di ogni progetto edilizio (Marzouk & Abubakr, 2016). In quanto parte importante della pianificazione del cantiere, la scelta ottimale di una gru è stata studiata da molti studiosi con diversi scopi. I ricercatori (Shapira & Goldenberg, 2007) suggeriscono una classificazione dei modelli esistenti per la selezione e il posizionamento delle macchine e dei mezzi di cantiere:

- Modelli di ottimizzazione;
- Modelli grafici;
- Modelli basati su database;
- Sistemi esperti;
- Programmazione dinamica;
- Modelli basati sul processo decisionale multi-attributo;
- Tecniche di intelligenza artificiale.

Ogni modello e ogni studio classificato ha alcuni limiti, i più comuni evidenziati da (Shapira & Goldenberg, 2007) sono il numero di gru in gioco (molti sono limitati ad una) e l'assenza di considerazioni sistematiche su fattori intangibili, come ad esempio la sicurezza. Al fine di evitare questi due importanti limiti gli autori hanno definito un nuovo modello multi-attributo. Oltre ad alcune limitazioni che ancora permangono e sono discusse nelle conclusioni, il metodo di ottimizzazione proposto è adatto per i cantieri con qualsiasi numero di gru e tiene conto della sicurezza nella scelta della posizione ottimale delle gru, ovvero consente di scegliere le posizioni delle gru al fine di minimizzare le sovrapposizioni e il rischio di caduta del carico al di fuori del sito.

Introduction

Cranes are widely used in construction sites and, although there are different types of crane (Shapira et al., 2007), the most used are tower cranes (Kim et al., 2011) because they often provide the best combination of height and lifting capacity. Their importance in a construction site is related to the need of transporting different materials and equipment in a short period (Abdelmegid et al., 2015). It is, indeed, recognized that the minimization of movements of materials helps in achieving some of the main objectives of site planning, namely a reduction in the project cost (Mawdesley et al., 2002).

Moreover, choosing optimal cranes positions can highly improve safety of operations. Researches made by the United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) Compliance Safety and Health Officers (CSHOs) and by the Construction Industry Research and Policy Center (CIRPC) at the University of Tennessee proved that one of the major causes of fatalities during construction is in the use of cranes or derricks during lifting operations (Beavers et al., 2006). The same source reports that 24% of the examined crane-related incidents occurs when lifting/moving equipment and materials. Similar conclusions are drawn in Singapore where, according to the Ministry of Manpower, lack of planning and supervision is one of the primary causes for crane-related accidents (Peng & Chua, 2017), and in Korea, where cranes rank fourth as objects involved in accidents, behind temporary structures (e.g. scaffolding), construction machines (e.g., back-hoes), and construction vehicles (Shin, 2015).

Research scope

Construction site layout planning is a routine task that needs to be performed at early stages of each construction project (Marzouk & Abubakr, 2016). As an important part of construction site planning, the optimal choice of a crane has been deeply studied by many scholars with different scopes. Researchers (Shapira & Goldenberg, 2007) suggest a classification of existing models for selection and positioning of construction equipment:

- Optimization models;
- Graphics models;
- Database-based models;
- Expert systems;
- Dynamic programming;
- Multi-attributes decision-making based models;
- Artificial intelligence techniques.

Every model and every study classified has some limitations, the most common highlighted by (Shapira & Goldenberg, 2007) are the number of cranes (many are limited to one) and the absence of systematic considerations of intangible factors (like safety). In order to avoid these two main limits, a multi-attributes model has been defined. Besides some limitations that still remain and are discussed in the conclusions, the proposed optimization method is suitable for construction sites with any number of cranes and takes into account safety in choosing the optimal position of cranes, namely it chooses cranes positions in order to minimize overlapping and the risk of load falling outside of the construction site.

Algoritmo di ottimizzazione multi-attributo

Per costruire il sistema di supporto decisionale multi-attributo sono stati utilizzati quattro criteri, selezionati tra i tanti utilizzati nella pianificazione dei cantieri edili e presenti nella letteratura scientifica:

- C1 - Massimizzazione dell'area del futuro edificio sotto il braccio delle gru;
- C2 - Massimizzazione dell'area di cantiere sotto il braccio delle gru;
- C3 - Minimizzazione della sovrapposizione delle gru;
- C4 - Minimizzazione dell'area esterna al cantiere ma sotto il braccio delle gru;

Il primo criterio, chiamato "area di costruzione" e misurato in percentuale, è abbastanza ovvio: se parte dell'edificio o dell'infrastruttura da costruire non è raggiungibile con la gru, o sarà impossibile costruirlo o costerà più denaro.

Il secondo, denominato "area di cantiere" e misurato in percentuale, misura quanta area di cantiere sia sottesa al braccio delle gru. Il layout del sito è dinamico a causa della natura sempre mutevole di un progetto, quindi è importante avere la maggior parte di esso sotto il braccio delle gru per una migliore movimentazione dei materiali.

Il terzo, che analizza la riduzione al minimo della sovrapposizione delle gru, qui chiamata "sovrapposizione" e misurata in percentuale, è riconosciuto come importante per la sicurezza del cantiere (Peng & Chua, 2017). Questo criterio non è necessario quando si analizza un cantiere con una sola gru.

Il quarto, detto "area esterna" e misurata in percentuale, è anch'esso legato alla sicurezza: tanto minore è l'area esterna sotto il braccio delle gru tanto meglio sarà.

Ad ogni punto dell'area di cantiere disponibile per l'installazione delle gru viene assegnato un punteggio secondo la seguente equazione:

$$S_p = C_1 \times w_1 + C_2 \times w_2 + C_3 \times w_3 + C_4 \times w_4 \quad (1)$$

Dove w_1 , w_2 , w_3 e w_4 sono pesi relativi valutati chiedendo a tre esperti di tre diverse imprese edili (una piccola, una media e una grande) di effettuare un confronto a coppie secondo il metodo AHP (*Analytical Hierarchy Process*) (Saaty, 1980). La Tabella 1 mostra i pesi calcolati dopo l'intervista con il proprietario di una piccola impresa edile italiana.

	Area di costruzione	Area di cantiere	Sovrapposizione	Area esterna	Pesi
Area di costruzione	1	5	7	9	0.646
Area di cantiere	1/5	1	4	7	0.230
Sovrapposizione	1/7	1/4	1	3	0.084
Area esterna	1/9	1/7	1/3	1	0.041

Tabella 1: Risultati del confronto a coppie (proprietario di una piccola impresa di costruzioni)

La posizione migliore, o le posizioni migliori se ci sono più gru, è il punto con il punteggio S_p massimo. È bene notare che i pesi influiscono sulla posizione migliore delle gru e pertanto devono essere adattati alle esigenze dell'impresa di costruzioni che pianificherà il cantiere.

Multi attribute Optimization algorithm

Four criteria, among the many used in construction site planning current practice and found in scientific literature, have been used to build the multi-attribute decision support system:

- C_1 - Maximizing the area of the future building under cranes' boom;
- C_2 - Maximizing the site area under the cranes' boom;
- C_3 - Minimizing cranes overlapping;
- C_4 - Minimizing the area outside the construction site but under cranes' boom

The first one, called "construction area" and measured in percentage, is quite trivial, if part of the building or infrastructure to be built isn't reachable with the crane either it will be impossible to build it or it will cost more money.

The second one, called "site area" and measured in percentage, measures how much of the construction site is under cranes' boom. Site layout is dynamic because of the constantly changing nature of a project, therefore it is important to have the most of it under cranes' boom for better materials handling.

Minimizing crane overlapping, here called "overlapping" and measured in percentage, is recognized as important for site safety (Peng & Chua, 2017). When dealing with single crane site this criterion is not necessary.

The last one, called "external area" and measured in percentage, is again related to safety, the less the external area under cranes' boom the better.

Each point of the site area available for cranes installation is given a score according to the following equation:

$$S_p = C_1 \times w_1 + C_2 \times w_2 + C_3 \times w_3 + C_4 \times w_4 \quad (1)$$

Where w_1 , w_2 , w_3 and w_4 are relative weights assessed asking three experts from three different construction companies (a small, a medium and a large one) to fulfill a pairwise comparison according to the AHP (Analytical Hierarchy Process) method proposed by (Saaty, 1980). The Table 1 shows the weights computed after the interview with the owner of a small Italian construction company.

	Construction area	Site area	Overlapping	External area	Weights
Construction area	1	5	7	9	0.646
Site area	1/5	1	4	7	0.230
Overlapping	1/7	1/4	1	3	0.084
External area	1/9	1/7	1/3	1	0.041

Table 1: Pairwise comparison results (small construction company owner interviewed)

The best location, or locations if there is more than one crane, is the point with the maximum score S_p . Noteworthy, weights do affect cranes' best position and therefore they should be tailored to the construction company which is going to plan the site.

Conclusioni

L'algoritmo è stato testato su due cantieri, uno piccolo con una sola gru e uno più grande con due gru. L'intero processo comprendeva per entrambi i siti l'uso del *Building Information Modelling* (BIM) per raccogliere dati geometrici sull'area di costruzione e sull'area di cantiere, oltre che per alimentare l'algoritmo, che funziona come un programma indipendente.

I casi di studio hanno dimostrato che l'algoritmo proposto è abbastanza veloce da poter essere utilizzato in grandi cantieri con un'ampia area di cantiere e che seleziona correttamente le posizioni ottimali.

Ulteriori sviluppi sull'argomento porteranno a superare alcune carenze del metodo, vale a dire che sarà possibile includere più criteri per la scelta del luogo; tra questi, i costi dovuti al noleggio delle gru, alla velocità di sollevamento e trasporto e a ulteriori misure di sicurezza del cantiere.

Bibliografia

- Abdelmegid, M. A., Shawki, K. M., & Abdel-Khalek, H. (2015). GA optimization model for solving tower crane location problem in construction site s. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 519–526. <http://doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.011>
- Beavers, J. E., Moore, J. R., Rinehart, R., & Schriver, W. R. (2006). Crane-Related Fatalities in the Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(9), 901–910. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:9\(901\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:9(901))
- Kim, S. K., Kim, J. Y., Lee, D. H., & Ryu, S. Y. (2011). Automatic optimal design algorithm for the foundation of tower cranes. *Automation in Construction*, 20(1), 56–65. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.004>
- Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*, 61, 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.008>
- Mawdesley, M. J., Al-jibouri, S. H., & Yang, H. (2002). Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(5), 418–426. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:5\(418\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:5(418))
- Peng, L., & Chua, D. K. H. (2017). Decision Support for Mobile Crane Lifting Plan with Building Information Modelling (BIM). *Procedia Engineering*, 182, 563–570. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.154>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.
- Shapira, A., & Goldenberg, M. (2007). “Soft” Considerations in Equipment Selection for Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(10), 749–760. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:10\(749\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:10(749))
- Shapira, A., Lucko, G., & Schexnayder, C. J. (2007). Cranes for Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(9), 690–700. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:9\(690\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:9(690))
- Shin, I. J. (2015). Factors that affect safety of tower crane installation/dismantling in construction industry. *Safety Science*, 72, 379–390. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.10.010>

Conclusions

The algorithm has been tested on two construction sites, a small one with only one crane and a bigger one with two cranes. The whole process encompassed for both sites the use of Building Information Modelling (BIM) to gather geometrical data about construction area and site area and feed the algorithm that is running as a standalone program.

Case studies proved that the proposed algorithm is fast enough to be used on big construction sites with huge site area and that it properly selects optimal locations.

Further work on the topic may overcome some shortcomings of the method; namely it will be possible to include more criteria for the selection of the location, among these: costs due to cranes' rental, speed of hoist and transportation and more measures of site safety.

Bibliography

- Abdelmegid, M. A., Shawki, K. M., & Abdel-Khalek, H. (2015). GA optimization model for solving tower crane location problem in construction site s. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 519–526. <http://doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.011>
- Beavers, J. E., Moore, J. R., Rinehart, R., & Schriver, W. R. (2006). Crane-Related Fatalities in the Construction Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(9), 901–910. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:9\(901\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:9(901))
- Kim, S. K., Kim, J. Y., Lee, D. H., & Ryu, S. Y. (2011). Automatic optimal design algorithm for the foundation of tower cranes. *Automation in Construction*, 20(1), 56–65. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.07.004>
- Marzouk, M., & Abubakr, A. (2016). Decision support for tower crane selection with building information models and genetic algorithms. *Automation in Construction*, 61, 1–15. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.008>
- Mawdesley, M. J., Al-jibouri, S. H., & Yang, H. (2002). Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(5), 418–426. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:5\(418\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:5(418))
- Peng, L., & Chua, D. K. H. (2017). Decision Support for Mobile Crane Lifting Plan with Building Information Modelling (BIM). *Procedia Engineering*, 182, 563–570. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.154>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill.
- Shapira, A., & Goldenberg, M. (2007). “Soft” Considerations in Equipment Selection for Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(10), 749–760. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:10\(749\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:10(749))
- Shapira, A., Lucko, G., & Schexnayder, C. J. (2007). Cranes for Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(9), 690–700. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:9\(690\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:9(690))
- Shin, I. J. (2015). Factors that affect safety of tower crane installation/dismantling in construction industry. *Safety Science*, 72, 379–390. <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.10.010>