

SIMULAČNÉ MODELOVANIE A JEHO VYUŽITIE PRI PRÍPRAVE STAVEBNÝCH PROCESOV REALIZOVANÝCH VRTUĽNÍKMI

SIMULATION MODELING AND ITS APPLICATION IN THE PRE-CONSTRUCTION DESIGN OF BUILDING PROCESSES CARRIED OUT BY HELICOPTERS

Ing. Andrej Bisták, doc. Ing. Zdenka Hulínová, PhD.

ABSTRAKT

Pri modelovaní stavebných procesov je rozhodujúcou úlohou zvoliť taký druh modelu, ktorý nás čo najefektívnejšie privedie k požadovanému cieľu. Zostavený model má umožniť skúmanie správania sa stavebných procesov v reálnych podmienkach a tiež vyhodnotiť navrhnutú štruktúru procesu na základe požadovaných kritérií. Príprava stavebných procesov realizovaných vrtuľníkmi musí rešpektovať vplyv náhodne sa meniacich podmienok výstavby a súčasne aj špecifické podmienky práce vrtuľníkov. Zložitosť takeého systému je možné modelovať pomocou simulačných modelov. Predložený článok obsahuje analýzu súčasného stavu v oblasti simulácií v stavebnej výrobe, návrh základnej koncepcie simulačného modelu stavebného procesu uskutočňovaného vrtuľníkom a v závere je opísaná prvotná etapa získavania potrebných vstupných údajov.

Kľúčové slová: *simulačný model, vrtuľník, stavebný proces, stavebníctvo*

ABSTRACT

When modeling construction processes, it is crucial that we choose a model that brings us to the desired goal as efficiently as possible. A built-in model should enable the construction process to be studied under realistic conditions, and to evaluate the proposed process structure on the basis of required criteria. Preparation of the construction processes carried out by helicopters must consider the impact of randomly changing construction conditions and, at the same time, the specific operating conditions of helicopters. The complexity of such a system can be modeled using simulation models. Submitted paper addresses an analysis of the current situation in the field of building industry simulations, a proposal of a design of the basic concept of helicopter construction process simulation model and, in the conclusion, describes the early stages of obtaining of the necessary input data.

Key words: *simulation model, helicopter, construction process, building industry*

1 ÚVOD

Vrtuľník, vzhľadom k svojim vlastnostiam, predstavuje pre mnohé odvetvia praktický a nenahraditeľný dopravný prostriedok. Možnosť kolmého štartu a pristátia bez závislosti na dlhých vzletových a pristávacích dráhach poskytuje vrtuľníkom neobyčajne široký operačný priestor, pretože na pristátie a štart nevyžadujú rozmernú ani špeciálne upravenú plochu. Netradičné manévrovacie schopnosti umožňujú vrtuľníkom vykonávať lety aj v tesnej blízkosti terénu. Nižšia dopravná rýchlosť vrtuľníkov oproti iným leteckým prostriedkom je v prípade dopravy bremien výhodou (Messingerová 2005).

Vrtuľník je schopný letieť všetkými smermi a na rozdiel od klasických lietadiel umožňuje aj zastavenie vo vzduchu - vistenie. Práve kombinácia týchto charakteristických vlastností umožnila využitie vrtuľníkov aj v sektore stavebníctva (Jindra 1965).

V stavebno-technologickej príprave výstavby sa uplatňujú prevažne deterministické modely, v ktorých sa k realite snažíme priblížiť pomocou vhodných koeficientov. Takto vytvorené modely sú relatívne jednoduché, no za určitých okolností sú napriek tomu dostačujúce na plánovanie technologických postupov. V prípade realizácie stavieb v zložitejších podmienkach však môže byť deterministický prístup vplyvom náhodných zmien skresľujúci (Hulínová 2011).

2 SIMULAČNÉ MODELOVANIE V STAVEBNÍCTVE

Optimálny model stavebného procesu by mal vystihnúť predovšetkým náhodný charakter stavebnej výroby. Medzi náhodné faktory, ktoré môžu ovplyvniť priebeh stavebných procesov, zaraďujeme geologické, hydrogeologické a morfológické pomery, umiestnenie inžinierskych sietí, poveternostné podmienky, dopravnú situáciu, plynulosť v zásobovacej sieti, kvalitu materiálov, poruchovosť strojov a zariadení, zmeny projektu, finančný tok, zmeny v termínových požiadavkách a pod. (Hulínová 2011)

Skutočný priebeh stavebných procesov uskutočňovaných vrtuľníkmi (tzv. leteckých prác) je pomocou deterministických modelov ťažšie predpovedateľný, a to najmä v dôsledku osobitostí leteckých prác, spôsobených vplyvom náhodných faktorov na činnosť vrtuľníka (Bisták 2016). Nepresnosť pri časovom a nákladovom plánovaní potom negatívne ovplyvňuje celý proces realizácie výstavby.

Ak pripustíme pôsobenie náhodných faktorov, požadované výstupy môžeme dosahovať len s určitou pravdepodobnosťou. Najvernejšie zobrazenie reality dosiahneme znázornením skutočného objektu ako simulačného modelu. V porovnaní s deterministickým prístupom je jeho základom tvorba matematicko-logických modelov (Hulínová 2011).

Podstatou simulačného modelovania je vytvorenie počítačového modelu stavebného procesu tak, ako by prebiehal v skutočnosti, a následné experimentovanie so zostaveným modelom (AbouRizk et al. 2011). Príklad jednoduchého simulačného modelu betonárskeho procesu je na obr. 1.



Obr. 1: Simulačný model betonárskeho procesu so zobrazením trvania simulačného behu (Hulínová 2011)

Simulácia nie je nástroj, ktorý umožní priamo získať optimálne riešenie. Simulačné modelovanie je skôr podporným prostriedkom, ktorý zhotoviteľ potrebuje najmä vtedy, keď je na uskutočnenie stavebného procesu možné použiť väčší počet riešení. Pomáha mu pri výbere optimálnej technológie výstavby na základe výstupných hodnôt jednotlivých variantov (Hulínová 2011).

2.1 Analýza súčasného stavu v Slovenskej republike

V oblasti stavebnej výroby je na Slovensku v súčasnosti využitie simulačných metód zriedkavé, čoho dôkazom je aj relatívne malé množstvo publikovaných prác. Simulačný prístup však u nás už dnes používajú vo väčšej miere iné odvetvia priemyslu, najmä strojárstvo. Využitím počítačovej simulácie v podmienkach stavebnej výroby sa na Slovensku zaoberali Fedorko a Ficzeri (2013), ktorí konštatujú, že existujú oblasti logistiky, kde bolo aplikovanie počítačovej simulácie zaznávané a jednou z týchto oblastí je práve stavebná logistika.

Termín „stavebná logistika“ označuje odvetvovú aplikáciu logistiky v stavebníctve. Jej úlohou je koordinované riadenie hmotných a nehmotných tokov výstavbového procesu pre zabezpečenie optimálnych cieľov stavebného projektu, týkajúcich sa ceny, času a kvality Fedorko a Ficzeri (2013). Uvedení autori sa ďalej zaoberali aj simuláciou dopravy čerstvého betónu autodomiešavačmi z centrálnej betonárne na stavenisko. Neradilová et al. (2016) sa zase zaoberala simuláciou zásobovania výrobných liniek.

Samostatnou oblasťou stavebnej logistiky je problematika leteckých prác v stavebníctve. Letecké práce možno vykonávať len na základe povolenia vydaného Dopravným úradom (DÚ). Dopravný úrad v povolení určí rozsah a podmienky na ich vykonávanie. Na Slovensku v súčasnosti pôsobia, podľa registra DÚ, Divízie civilného letectva, na trhu leteckých prác v oblasti stavebníctva tri spoločnosti (DÚ 2017):

- UTair Europe, s.r.o. (letisko Piešťany),
- AIR-TRANSPORT EUROPE, s.r.o. (letisko Poprad),
- TECH-MONT Helicopter company, s.r.o. (letisko Spišská Nová Ves).

Tieto spoločnosti sú držiteľmi osvedčenia na výkon leteckých prác, zahŕňajúcich druh prevádzky „IV. Stavebníctvo“. Letecké práce v stavebníctve vykonávajú s vrtuľníkmi typu Mi-8 a Mi-171. Na území dnešného Slovenska má použitie týchto vrtuľníkov tradíciu prakticky už od roku 1968.

Súčasný stav problematiky v podmienkach domácej praxe bol konzultovaný s firmou UTair Europe, s.r.o. Príprava jednotlivých akcií využívajúcich vrtuľník sa v súčasnej dobe realizuje jednoduchými spôsobmi, najmä s použitím diagramu nosnosti konkrétneho typu vrtuľníka v tlačenej forme a následným ručným odčítaním hodnôt. Simulačný ani iný automatizovaný prístup sa pri spracovávaní dokumentov stavebno-technologickej prípravy nevyužíva.

2.2 Analýza súčasného stavu v zahraničí

Simulačnému prístupu sa v zahraničí venuje pomerne veľká pozornosť. Autori Mahmoodzadeh a Zare (2016) sa zaoberali pravdepodobnostnou predikciou vplyvu geologických podmienok, času trvania výstavby a celkových nákladov pri realizácii cestných tunelov. Tieto kritériá majú pri príprave realizácie tunelových stavieb kľúčový vplyv na rozhodovací proces. Navrhnutý simulačný model autori následne prezentovali na príklade výstavby cestného tunela Hamro, ktorý je súčasťou stavby cestného spojenia Sanandaj - Marivan v Iráne (Mahmoodzadeh a Zare 2016).

Alsudairi (2015) sa zaoberal možnosťami použitia simulačného prístupu v oblasti znižovania nákladov stavebného diela, skracovania času výstavby a údržby budov. V rámci svojho výskumu venoval pozornosť dvom vzorovým projektom v Saudskej Arábii. Prvým z nich bola výstavba budovy fakulty architektúry, druhým projektom bola prípadová štúdia zameraná na riadenie údržby zariadení v jednej z najväčších organizácií východnej provincie krajiny. V rámci tejto spoločnosti išlo o riešenie údržby komplexu 15 budov, v ktorých pracuje viac ako 1500 zamestnancov (obr. 2).

Táto časť algoritmu môže byť vytvorená viacerými spôsobmi, pričom každý z nich poskytuje predpovedné dáta na rôzne dlhé časové obdobie. Na slovenskom trhu sa touto oblasťou zaoberá Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ), ktorý ponúka numerický predpovedný model Európskeho centra pre strednodobé predpovede počasia (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) a tiež numerický model ALADIN, vyvíjaný priamo na SHMÚ (SHMÚ 2017).

Numerický model ECMWF poskytuje strednodobé pravdepodobnostné predpovede, počítané na 10 dní dopredu. Výstupom modelu sú predpokladané časové priebehy jednotlivých meteorologických prvkov. Tieto sú prezentované graficky formou tzv. meteogramu, ktorý predstavuje sumarizáciu jednotlivých výstupov predpovedného modelu, vzťahnutých ku konkrétnemu geografickému bodu - vybranej lokalite (SHMÚ 2017).

Algoritmus simulačného modelu bude tiež zohľadňovať technicko-ekonomické parametre vrtuľníkov, napr. cenu za letovú hodinu. Jeho výstupy budú následne implementované do procesov stavebno-technologickej prípravy. To znamená, že základné technologické dokumenty (časový plán výstavby, finančný plán a pod.) budú v dôsledku ich optimalizácie na báze výstupov simulačného modelu presnejšie kopírovať realitu výstavby.

Postupové kroky pri tvorbe simulačného modelu budú nasledovné:

1. snímkovanie priebehu stavebných procesov (betonárskych, resp. montážnych) využívajúcich vrtuľníky za účelom získania dokonalej znalosti sledu a trvania procesov, uskutočňovaných na stavbe, vrátane vzájomných väzieb a závislostí medzi procesmi,
2. zostavenie simulačnej schémy pozorovaných stavebných procesov s využitím poznatkov získaných snímkovaním,
3. vytvorenie simulačného modelu stavebného procesu na základe navrhutej simulačnej schémy a jeho výpočet,
4. verifikácia vytvoreného simulačného modelu prostredníctvom porovnania jeho výstupov s výstupmi už realizovaných skutočných procesov,
5. porovnanie výstupov simulačného modelovania s výstupmi získanými na základe deterministického prístupu s cieľom zhodnotenia významu a účinnosti simulačných metód pri príprave výstavby.

Nasledujúca podkapitola článku popisuje praktickú realizáciu prvého bodu, tzn. snímkovania priebehu stavebného procesu v reálnych podmienkach.

3.1 Získavanie vstupných údajov pre tvorbu simulačného modelu

Jedným zo zdrojov vstupných podkladov pre tvorbu simulačného modelu je projekt výstavby troch lanových dráh v horskom meste Szczyrk (Poľsko), ktorý sa realizoval v roku 2017. Betonáž základových pätiiek a montáž traťových podpier všetkých lanoviek sa uskutočňovala pomocou vrtuľníka. Na túto akciu bol použitý vrtuľník typu Mi-8 s max. nosnosťou v podvese 3000 kg.

Počas nášho pozorovania prebiehala montáž podpier jednej z lanových dráh. Spolu bolo potrebné osadiť 10 podpier rúrového prierezu. Podpery mali výšku 10,17 - 26,41 m, čomu zodpovedala ich hmotnosť v intervale 11 541 - 23 391 kg. Montáž podpier sa uskutočňovala postupne od hornej stanice smerom k dolnej stanici, a to na pripravené železobetónové základové pätky so zabetónovanými kotevnými skrutkami.

S montážou podpier pomocou vrtuľníka sa počítá už vo fáze projektovania, preto sú podpery navrhnuté a konštrukčne prispôbené práve na tento spôsob montáže. Vzhľadom na ich hmotnosť, ktorá vysoko presahuje možnosti vrtuľníka, sa už vo výrobe rozdeľujú na stanovený počet segmentov.

Tieto segmenty sa na stavbe spájajú prostredníctvom prírub so skrutkovými spojmi, pričom presné osadenie dielov zabezpečujú špeciálne prípravky.

Na kompletné zhotovenie jednej podpory je teda potrebné uskutočniť niekoľko letov. Za tým účelom výrobca oceľovej konštrukcie poskytuje dodávateľovi leteckých prác tabuľky s uvedením presného počtu dielcov, ich výšok a hmotností, na základe ktorých realizátor vypracuje technologický postup montáže, najmä rozdelenie segmentov do jednotlivých letov. Postup montáže jednej z podpier je na obr. 3.



Obr. 3: Postupná montáž rúrového drieku podpory z jednotlivých dielov (autori)

3.1.1 Čiastkový záver

Snímkovanie leteckých prác v poľskom meste Szczyrk možno považovať iba za pilotnú fázu získavania vstupných údajov. Počas snímkovania nebolo možné zaznamenať všetky potrebné dáta, ako napr. časové ohodnotenie niektorých operácií. Ďalší výskum bude preto zameraný na doplnenie chýbajúcich údajov, vrátane rozšírenia potrebných teoretických znalostí najmä vo vzťahu k poznatkom a skúsenostiam pilotov vrtulníkov. Následne sa prikróčí k realizácii ďalších krokov, popísaných v časti 3.

4 ZÁVER

Navrhovaný model stavebného procesu realizovaného vrtulníkom umožní overiť možnosti simulačného prístupu pri príprave tejto málo preskúmanej oblasti stavebnej výroby, čo prispeje k širšiemu uplatneniu progresívnych nástrojov simulačného modelovania v stavebnej praxi a rovnako vytvorí rámec pre rozvoj inštitucionálneho vzdelávania v oblasti simulácií. Práve tieto úlohy označujú viacerí súčasní autori za najaktuálnejšie.

Spracovanie témy patrí do oblasti medziodborového výskumu, a preto by výsledky riešenia mohli byť v budúcnosti využiteľné aj mimo odboru stavebníctva, najmä v logistike všeobecne.

Použitá literatúra

- [1] ABOURIZK, S., HALPIN, D., MOHAMED, Y., HERMANN, U., 2011. Research in Modeling and Simulation for Improving Construction Engineering Operations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), s. 843-852. ISSN 0733-9364.
- [2] ALSUDAIRI, A.A., 2015. Simulation as a Tool for Assessing the Economical Aspects of Construction Processes. *Procedia Engineering*, 118, s. 1086-1095. ISSN 1877-7058.
- [3] BISTÁK, A., 2016. Vrtuľníky a ich úloha v technológii stavieb. In: *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering: 26. October 2016, Bratislava*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, s. 255-260. ISBN 978-80-227-4645-8.
- [4] CARAWAY, N.M., MCCREIGHT, J.L., RAJAGOPALAN, B., 2014. Multisite stochastic weather generation using cluster analysis and k-nearest neighbor time series resampling. *Journal of Hydrology*, 508, s. 197-213. ISSN 0022-1694.
- [5] DÚ (Dopravný úrad), 2017. *Letecké práce* [online]. Bratislava: Dopravný úrad [cit. 13. októbra 2017]. Dostupné na internete: <http://letectvo.nsaf.sk/letova-prevadzka/osvedcenie-letovej-sposobilosti/formulare/>
- [6] FEDORKO, G., FICZERI, Š., 2013. Využitie počítačovej simulácie v logistike stavebného procesu. *Perner's Contacts*, 8(1), s. 46-52. ISSN 1801-674X.
- [7] HULÍNOVÁ, Z., 2011. *Analýza stavebných procesov z hľadiska ich modelovania*. Bratislava: Nakladateľstvo STU. ISBN 978-80-227-3474-5.
- [8] JINDRA, F., 1965. *Stavebné montážní práce s využitím vrtuľníku v ČSSR*. Praha: NADAS.
- [9] JUNG, M., PARK, M., LEE, H.-S., KIM, H., 2016. Weather-delay simulation model based on vertical weather profile for high-rise building construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(6). ISSN 0733-9364.
- [10] KIM, S.H., AUGENBROE, G., 2012. Using the National Digital Forecast Database for model-based building controls. *Automation in Construction*, 27, s. 170-182. ISSN 0926-5805.
- [11] LEE, H.-S., SHIN, J.-W., PARK, M., RYU, H.-G., 2009. Probabilistic duration estimation model for high-rise structural work. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), s. 1289-1298. ISSN 0733-9364.
- [12] MAHMOODZADEH, A., ZARE, S., 2016. Probabilistic prediction of expected ground condition and construction time and costs in road tunnels. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(5), s. 734-745. ISSN 1674-7755.
- [13] MESSINGEROVÁ, V., 2005. *Technológia vzdušnej dopravy dreva v lesníctve*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. ISBN 80-228-1523-3.
- [14] NERADILOVÁ, H. et al., 2016. Simulace zásobování výrobních linek v rámci vnitropodnikových logistických systémů. *CAD*, 26(1), s. 48-52. ISSN 1805-8418.
- [15] RACSKO, P., SZEIDL, L., SEMENOV, M., 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*, 57(1-2), s. 27-41. ISSN 0304-3800.
- [16] SHAHIN, A., ABOURIZK, S. M., MOHAMED, Y., 2011. Modeling Weather-Sensitive Construction Activity Using Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(3), s. 238-246. ISSN 0733-9364.
- [17] SHMÚ (Slovenský hydrometeorologický ústav), 2017. *Model ECMWF - popis* [online]. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav [cit. 22. novembra 2017]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1164>