

## NAČRTOVANJE OSNOVNIH ROČNIH MONTAŽNIH OPERACIJ Z INTEGRACIJO SIMULACIJSKIH ORODIJ V PROIZVODNEM PROCESU

Maja TURK, Matevž RESMAN, Miriam CUKJATI, Niko HERAKOVIČ  
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko

### POVZETEK

*Pri načrtovanju osnovnih ročni montažnih operacij smo se osredotočali na simulacijski model. Simulacijski model se ukvarja z vlogo delavca pri montaži v virtualnem okolju. Delavec izvaja zaporedje osnovnih gibov oz. nalog, ki so pogoste v proizvodnem okolju, kot so seganje, prijemanje, hoja, dvig itd. Raziskava, ki smo jo izvedli, primerja časovno poročilo analitične MTM metode in avtomatično generirano časovno poročilo s simulacijskim orodjem Siemens Jack 8.3. Metodologija nam poda vpogled v vplivne parametre, kot sta masa in dimenzija objekta, s katerim delavec izvaja montažne operacije (npr. dvig škatle s tal) in kako te vplivni parametri vplivajo na časovni poročili. Rezultati raziskave prikazujejo, da imata masa in dimenzija objekta različen vpliv na trajanje celotnega zaporedja nalog, če ju ovrednotimo po MTM oz. simulacijski metodi. Poudariti moramo, da se je raziskava osredotočala le na časovno analizo in ne na ergonomski vidik izvedbe nalog.*

### 1. UVOD

Industrijska podjetja se srečujejo z novimi izzivi zaradi povečanja mednarodne konkurence na trgu, kot so dvig produktivnosti, novi proizvodi in skrajševanje pretočnega časa. Ob vsem tem pa morajo upoštevati tudi ergonomijo pri oblikovanju delovnih mest, saj tako dvigujejo produktivnost in učinkovitost ter zagotavljajo zdravje delavcev ter privabljajo nove delavce [1].

Mnoga podjetja si v zgodnji fazi razvoja za oblikovanje delovnega mesta primerne za delavca pomagajo z DHM (ang. *Digital Human Modelling*). Z uporabo orodja digitalnega modeliranja ljudi (DHM) se dvigne kvaliteta dela, saj se zmanjša število odvečnih sprememb, ki jih morajo podjetja izvajati, da zagotovijo ustrezne pogoje dela. Poleg tega pa se izboljša varnost proizvodov, ker se eliminira ergonomske probleme že v fazi razvoja [2].

DHM je široko uporaben pri ergonomskih analizah proizvoda in delovnega mesta. DHM je orodje, ki primarno odgovori na vprašanja povezana s fizičnimi interakcijami med ljudmi in objekti [3]. Prednost DHM orodij so simulacije, ki jasno podajo potencialne probleme, ki jih lahko pri oblikovanju spregledamo [4].

Technomatix JACK je programski paket, ki se uporablja za preprečevanje napak povezanih z oblikovanjem delovnih mest za človeka (človeški

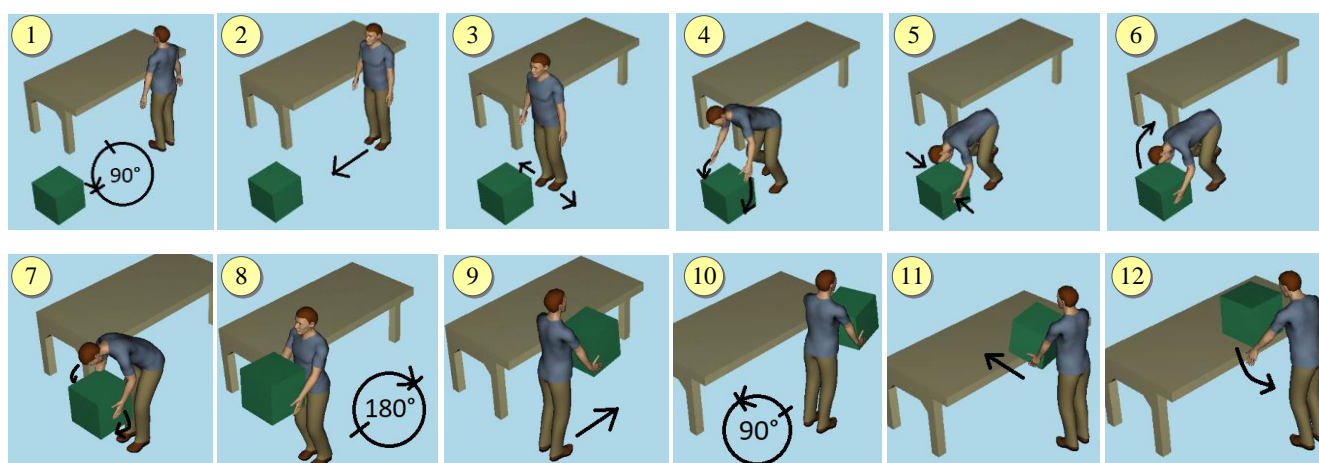
faktor, ergonomija). JACK je celosten sistem za generiranje 3D okolja v virtualnem svetu. Z JACK-om lahko ustvarimo virtualne delavce, analiziramo človeški faktov, analiziramo delavce v simulaciji delovnega okolja, ocenjujemo primernost delovnih operacij in vzdrževanja, itd. Časovna poročila se generirajo avtomatično za vsako simulacijsko nalogo. Izračun časa za posamezno nalogo je osnovan na MTM (ang. *Methods Time Measurement*) časovnem standardu. [5].

MTM metoda je postopek, ki analizira katerokoli ročno operacijo oz. metoda osnovnih gibov, ki so potrebni za njeno izvedbo. Vsakemu gibu predpiše vnaprej določen časovni standard, ki je opredeljen z naravo giba in s pogoji, znotraj katerih je bil gib opravljen. Metoda je dobro preverjena, rezultati so ponovljivi in je praktično uporabna. Metoda upošteva tudi sociološki vidik delavca.

### 2. ŠTUDIJA PRIMERA

Študija zajema preprost in pogost problem, ki se pojavlja v procesu ročne montaže. Za isti primer smo ločeno izvedli časovno analizo po MTM metodi in s simulacijskim orodjem JACK.

V začetnem stanju delavec stoji pred mizo, škatla pa levo od delavca. Delavec mora iti po škatlo, jo dvigniti in odložiti na mizo.



**Slika 1:** Zaporedje nalog obravnavanih v študiji, kot osnova za časovno analizo.

Slika 1 prikazuje zaporedje nalog/gibov, ki jih izvaja delavec v danem primeru. Iz začetnega stanja, se delavec obrne za  $90^\circ$  (1) in prehodi razdaljo 1200 mm proti škatli (2). Ko pride do škatle se razkorači za boljše ravnotežje pri dvigovanju bremena (3). Nato seže po škatlo (4). Delavec aplicira silo pravokotno na stranice škatle (5) in jo dvigne (6). Za lažje rokovanje s škatlo, jo med dvigovanjem preprime (7). Sledi obrat za  $180^\circ$  (8), hoja do izhodiščne točke (9), obrat za  $90^\circ$  proti mizi (10), odlaganje škatle (11) ter postavitve v začetno držo (12). Zaporedje nalog je bilo enako tako za določanje časa po MTM metodi, kot tudi za simulacijo v programu JACK.

Za dani primer smo primerjali petindvajset različnih kombinacij škatle. Parametra, ki sta se spreminjala sta masa in dimenzija škatle kockaste oblike. Preučili smo kako ta parametra vplivata na trajanje nalog, ki jih izvaja delavec.

### 3. REZULTATI

V tem poglavju bomo predstavili rezultate časovnih poročil, ki smo jih pridobili z MTM izračuni in JACK simulacijo. MTM metoda je analitična metoda, za izračun časovne analize si pomagamo s podatkovnimi tabelami za vsako nalogo, medtem ko JACK samodejno generira časovno poročilo brez poseganja analitika v izračune.

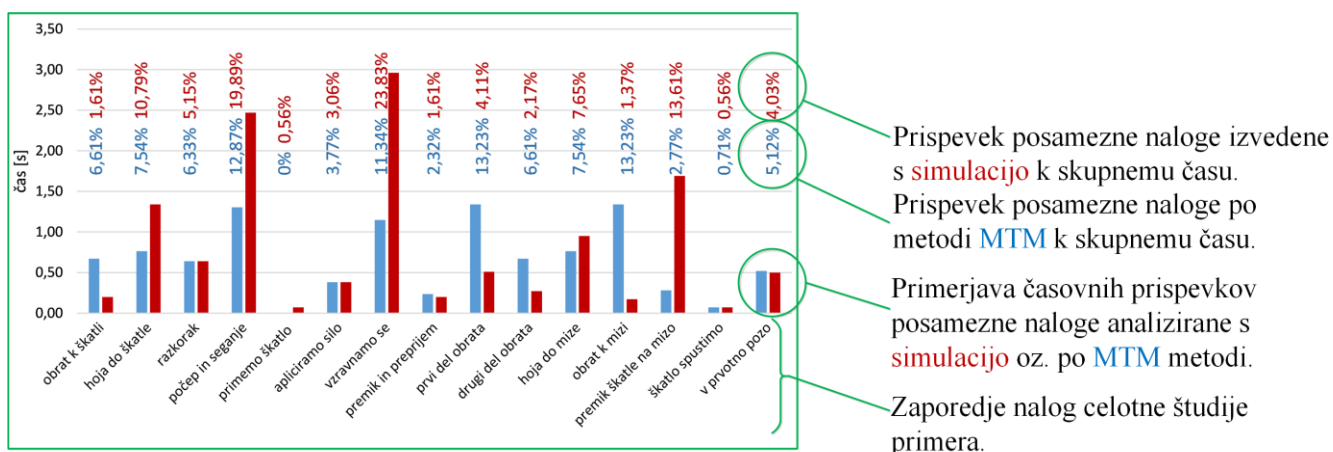
Slika 2 predstavlja vse gibe, ki jih je delavec izvajal v študiji glede na izračune časov po MTM

metodi in gleda na čase simulacije po JACK-u. Opazimo lahko, da stolpci za posamezen gib niso poravnani, ampak se v nekaterih primerih tudi precej razlikujejo. To nam pove, da enaki gibi prispevajo k skupnem času različen delež, če upoštevamo MTM metodo oz. simulacijo. Pri gibih »vzravnamo se« vidimo, da je prispevek časa k skupnem času po MTM metodi 11,34 %, pri simulaciji pa ta gib prispeva kar 23,83 %. Sklepamo lahko, da ima enak gib večji oz. manjši vpliv na skupni čas, če upoštevamo prvi oz. drugi pristop merjenja časa.

Skupni čas vseh nalog po MTM metodi znaša 10,12 sekund, s simulacijo pa 12,42 sekund. Razlika je približno 20 %.

Metodi se poleg različnega pristopa določanja časa (analitični izračun, avtomatično generiranje) razlikujeta tudi po hitrosti spreminjanja objektov, ki sodelujejo. Pri MTM metodi moramo za vsako spremembo osebe ali objekta, časovni izračun izvesti od začetka. Pri JACK-u pa se uporabi »kaj-če« scenarije za različne primere. S tem lahko v simulaciji hitro zamenjamo npr. parametre objektov (masa, dimenzija) ali celo delavca (spol, antropometrične značilnosti).

Preglednici 1 in 2 prikazujeta rezultate skupnega časa zaporedja vseh nalog za različne kombinacije dimenzij in mas škatle. Rezultati MTM metode prikazujejo linearno odvisnost med skupnim časom in maso ter med skupnim časom in dimenzijo škatle (preglednica 1).



Slika 2: Časovni prispevek posameznih nalog k skupnemu času.

**Preglednica 1:** Skupni čas po MTM metodi za različne dimenzije in mase škatle.

	Masa škatle [kg]	Masa škatle [kg]				
		4.5	9.1	13.6	18.1	20.4
Dimenzija škatle [mm]	203.2	9.32	9.60	9.89	10.17	10.34
	304.8	9.43	9.72	10.01	10.29	10.44
	406.4	9.54	9.83	10.12	10.42	10.56
	508.0	9.66	9.95	10.24	10.54	10.68
	609.6	9.77	10.06	10.36	10.66	10.80

**Preglednica 2:** Skupni čas simulacije JACK za različne dimenzije in mase škatle.

	Masa škatle [kg]	Masa škatle [kg]				
		4.5	9.1	13.6	18.1	20.4
Dimenzija škatle [mm]	203.2	12.06	12.20	12.34	12.51	12.57
	304.8	12.18	12.31	12.43	12.56	12.62
	406.4	12.15	12.28	12.41	12.54	12.60
	508.0	12.05	12.17	12.30	12.43	12.47
	609.6	12.36	12.48	12.60	12.72	12.79

Pri rezultatih s simulacijo v programu JACK (preglednici 2) pa ugotovimo, da niti masa niti dimenzija škatle ne vplivata na skupni čas, oz. spremembo le tega, kar ni logično v primerjavi z realnim svetom.

Skupni časi se spreminjajo zaradi ročno podaljšanega časa pri apliciranju sile, da se delavec lažje prilagodi na težje breme ter zaradi prilagoditve sklepov virtualnega delavca pri manjši oz. večji dimenziji škatle.

#### 4. ZAKLJUČEK

Za analizo danega primera smo uporabili MTM metodo in programski paket JACK 8.3. Zaporedje nalog, ki smo jih obravnavali je preprosto primer dvigovanja škatle iz tal na mizo. Cilj je bil določiti, ali masa in dimenzija škatle vplivata na skupni čas. Ugotovili smo, da se pri MTM metodi skupni čas linearno podaljša tako s spremembo mase kot s spremembo dimenzije škatle. Pri časovni analizi s simulacijo Jack smo ugotovili, da masa in dimenzij škatle na vplivata na skupni čas, kar ni konsistentno z realnim okoljem, kjer človek težjo in večjo škatlo dviguje dlje časa, kot lažjo in manjšo.

#### Literatura

- [1] Törnström, L., Amprazis, J., Christmansson, M. and Eklund, J. (2008). A corporate workplace model for ergonomic assessments and improvements. *Applied Ergonomics*, 39, 219–228.
- [2] Onan Demireli, H. and Duffy, V.G. (2007). Applications of Digital Human Modelling in Industry. V.G. Duffy (Ed.), *Digital Human Modeling*, 824–832. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- [3] Reed, M.P., Faraway, J., Chaffin, D.B. and Martin B.J. (2006). The HUMOSIM Ergonomics Framework: A New Approach to Digital Human Simulation for Ergonomic Analysis. *SAE International*, 2006-01-2365.
- [4] Chaffin, D.B. (2005). Improving digital human modelling for proactive ergonomics in design. *Ergonomics*, 48:5, 478-491.
- [5] Siemens Technomatix Jack (2015). Jack user manual version 8.3. *Siemens Product Lifecycle Management Software*. California, USA.