



Srbija  
Society of Production  
Engineering

**SPMS 2021**

38. Savetovanje Proizvodnog mašinstva Srbije

**ICPE-S 2021**

38<sup>th</sup> International Conference on Production  
Engineering -Serbia



Faculty of technical sciences  
Čačak  
University of Kragujevac

Čačak, Serbia, 14 – 15. October 2021

## UNAPREĐENJE KVALITETA KONFIGURACIJE MODULARNIH TREZORSKIH PROSTORIJA PRIMENOM REGRESIONE ANALIZE

Vladan GRKOVIĆ<sup>1\*</sup>, Milan KOLAREVIĆ<sup>1</sup>, Branko RADIČEVIĆ<sup>1</sup>, Mišo BJELIĆ<sup>1</sup>, Jovana PERIĆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu, Srbija

\*grkovic.v@mfkv.kg.ac.rs

**Apstrakt:** Modularne trezorske prostorije (MTP) se grade od industrijski proizvedenih elemenata, koji se sastavljaju na mestu korišćenja. Projektuju se po individualnom zahtevu kupca koji bira stepen sigurnosti po standardu EN 1143-1 i definiše raspoložive dimenzije prostora u koje je potrebno smestiti ovakav proizvod. Konfigurisanje modularne trezorske prostorije se ostvaruje kombinacijom standardnih modula koji se ponavljaju u svakom novom projektu i međusobno se razlikuju samo po broju i dimenzijama.

Primenom statističke analize i alata kvaliteta broj grešaka u procesu izrade MTP je optimizovan i sveden na prihvatljiv minimum. Dopunska analiza je pokazala da postoji zavisnost ukupnog broja grešaka od dimenzija modula MTP. Implementacijom dobijenih matematičkih modela u procesu konfiguracije proizvoda je moguće dodatno uticati na smanjenje grešaka a time i na unapređenje kvaliteta konfiguracije MTP.

**Ključne reči:** modularne trezorske prostorije, regresiona analiza, unapređenje kvaliteta.

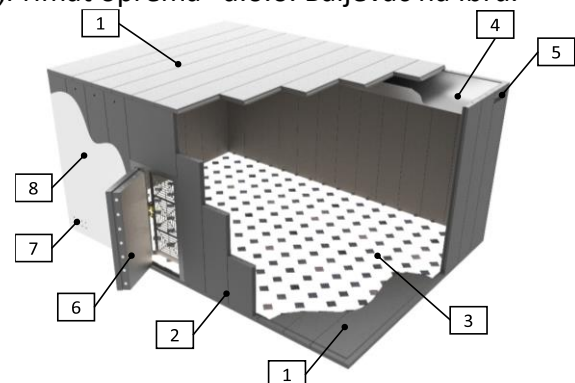
### 1. UVOD

Trezorska prostorija je prostorija sa posebnim sigurnosnim karakteristikama i namenjena je za čuvanje novca, dragocenosti, vrednosnih papira, poverljivih dokumenata i sl. Korisnici trezorskih prostorija su *bankarske institucije, pošte, Vlade i državne službe, vojne i policijske organizacije, farmaceutske kompanije, industrijska preduzeća* i dr. [1-5].

S obzirom da je klasičan način gradnje trezorskih prostorija skup i dugo traje danas se sve više koristi sistem gradnje koji je zasnovan na modularnoj strukturi.

Modularne trezorske prostorije (MTP) rade se po zahtevu kupca koji bira stepen sigurnosti po standardu EN 1143-1 [6] i daje raspoložive dimenzije prostora u koje je potrebno smestiti ovakav proizvod. Modularnim pristupom

osiguravaju se prednosti serijske proizvodnje i istovremeno omogućuje konstruisanje proizvoda prilagođenih individualnim zahtevima kupca [1-5]. Na slici 1 je prikazan izgled MTP „MODULPRIM“ iz proizvodnog programa kompanije „Primat“ a.d. Maribor koja se proizvodi u privrednom društvu „Primat oprema“ d.o.o. Baljevac na Ibru.



Slika 1. Modularna trezorska prostorija [1,3,4]

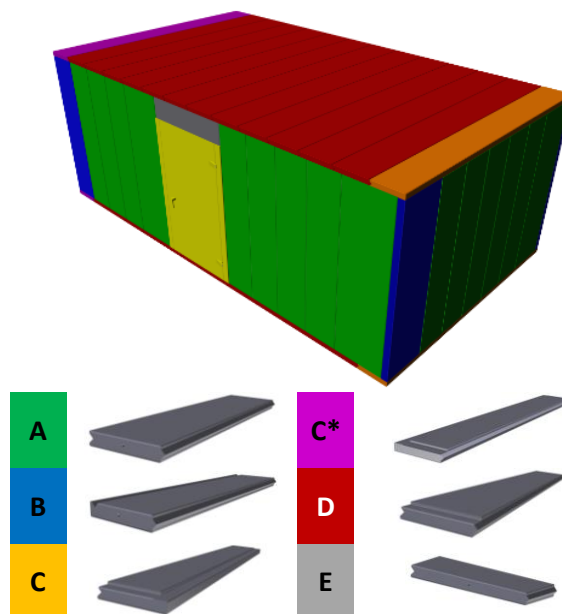
Osnovni elementi MTP prikazane na slici 1 su: 1. elementi krova i poda; 2. elementi sigurnosnih stanica; 3. unutrašnje obloge; 4. kablovski vodovi; 5. ventilacioni sistem; 6. trezorska vrata; 7. provetranje; 8. spoljašnje obloge.

Proces konfigurisanja MTP započinje definisanjem liste zahteva koja se formira na osnovu zahteva kupca. Zadatak procesa konfigurisanja je da iz zadatog skupa modula i komponenti, koristeći poznata pravila i ograničenja među odabranim elementima, odredi varijantu proizvoda koja će zadovoljiti zadate zahteve. Najzahtevniji i najodgovorniji posao pri konfigurisanju MTP je proračun parametara pojedinačnih modula kao i broja i rasporeda istih [4]. Osnovni parametri modula koje je potrebno izračunati su širina ( $b$ ) i dužina svakog modula ( $l$ ). Dužina modula je određena konstrukcionim karakteristikama i raspoloživim prostorom za ugradnju, a širina modula se može birati u rasponu od 450 do 850 mm. Klasifikacija modula data je u tabeli 1., a njihov oblik i položaj ugradnje na slici 2.

**Tabela 1.** Klasifikacija modula [1, 11]

Kriterijum podele		Vrsta modula					
I	Funkcija	Osnovni modul			Modul za povezivanje		
II	Oblik (Tip)	<b>A</b>		<b>D</b>	<b>B</b>		<b>C</b>
	Oznaka	A	A1, A2, A3, A4	D	B1, B2, B2	C	C*
							E

U skladu sa menadžmentom sistema kvaliteta ISO 9001 u privrednom društvu „Primat oprema“ d.o.o. Baljevac se konstantno prati brojnost grešaka u procesu izrade i montaže MTP. Za selekciju najuticajnijih grešaka se koristi Pareto analiza a za kontrolu stabilnosti i sposobnosti procesa atributivne i numeričke kontrolne karte kvaliteta. Iako je primenom statističke analize i analize kvaliteta broj grešaka u procesu izrade MTP optimizovan i sveden na prihvatljiv minimum stalno se radi na unapređenju kvaliteta ovih proizvoda.



**Slika 2.** Oblik i položaj modula u MTP [1]

Primenom regresione analize je ustanovljeno da postoji zavisnost ukupnog broja grešaka od dimenzija modula MTP čime se ukazala mogućnost da se ugradnjom dobijenih matematičkih modela u proces konfiguracije proizvoda dodatno utiče na smanjenje grešaka a time i na unapređenje kvaliteta konfiguracije MTP.

## 2. STOHAŠTIČKI REGRESIONI MODEL

### 2.1 Klasifikacija grešaka

Za MTP tipa MODULPRIM stepena sigurnosti VS, V; VI; VII; VIII i IX kontrolnim planom su definisane 23 greške koje treba kontrolisati 100%. One obuhvataju faze sklapanja, betoniranja i farbanja modula (tabela 2).

### 2.2 Merenje i analiza podataka

U analiziranom periodu urađeno je 6 MTP tipa MODULPRIM 5. Svaka MTP je imala različiti broj sastavnih modula. Za analizu zavisnosti ukupnog broja grešaka od dužine i širine modula, moduli su grupisani u dve grupe. **Grupa 1** obuhvata zidne module tipa **A** i **B** a **grupa 2** podne i plafonske module tipa **C**, **Cz**, i **D**. Grupe su definisane na osnovu konstrukcione i tehnološke sličnosti modula. Modul **E** (modul iznad trezorskih vrata) nije

analiziran jer njegove dimenzije direktno zavise od dimenzija trezorskih vrata i nije ih moguće optimizovati.

U nastavku će biti prikazana regresiona analiza za **grupu 2** koja obuhvata module **C, Cz,**

i **D.** U posmatranom periodu je urađeno 52 modula iz ove grupe. Podaci o ukupnom broju grešaka i dimenzije modula dati su u tabeli 3.

**Tabela 2.** Klasifikacija grešaka u procesu izrade *MTP MODULPRIM*

R. br.	Oznaka	Karakteristika	Zahtev/ tolerancija	Uzorkovanje		Merna tehnika/alat
				vel.	frekv.	
1	G1	Kontrolna mera: -Širina -Dužina -Visina	±1 mm ±1 mm ±0,5 mm	1	100%	Trakasti metar i pomično kljunasto merilo
2	G2	Zavarenost krajeva armature	$\frac{3 \triangle n \times 10}{-----}$	1	100%	Vizuelno/trakasti metar
3	G3	Zavarenost ojačivača kroz tehnološke otvore i krajeve	$\frac{3 \square 1 \times 15}{-----}$	1	100%	Vizuelno
4	G4	Zavarenost gnezda	Kontinualno	1	100%	Vizuelno
5	G5	Zavarenost cevi 3/4" x L mm	$\frac{3 \triangle 2 \times 15 (27)}{-----}$	1	100%	Vizuelno/ trakasti metar
6	G6	Zavarenost odstoynika	$3 \triangle n \times 10 (90)$	1	100%	Vizuelno/ trakasti metar
7	G7	Položaj cevi prema crtežu	Постављене према цртежу	1	100%	Trakasti metar
8	G8	Zavarenost zaključnica (spolja i unutra)	$\frac{3 \triangle n \times 15 (90)}{-----}$	1	100%	Vizuelno/ trakasti metar
9	G9	Pravost i ugaonost omotača	±2 mm/±1°	1	100%	Lenjir/ugaonik/mašinski uglomer
10	G10	Fina obrušenost zavarenog spoja (spolja)	Vizuelno	1	100%	Vizuelno
11	G11	Zavarenost veznih traka	Prisutnost	1	100%	Vizuelno
12	G12	Oznaka modula (signo oznaka)	Prisutnost	1	100%	Vizuelno
13	G13	Položaj ventilacionog sklopa	Položaj	1	100%	Trakasti metar
14	G14	Poravnatost zaključnice sa omotačem	Poravnatost	1	100%	Vizuelno
15	G15	Betoniranje po recepturi	Broj recepture 028/035	1	100%	Dnevnik betoniranja
16	G16	Popunjenost betonom	+0/-1	1	100%	Lenjir i merni listići
17	G17	Očišćenost od betona	Bez betona	1	100%	Vizuelno
18	G18	Očišćenost ventilacionih otvora od betona	Bez betona	1	100%	Vizuelno
19	G19	Prohodnost navrtke M20	Prohodan navoj	1	100%	Kontrolni vijak
20	G20	Ofarbanost osnovnom bojom	Ravnomerno nanešena boja po celoj površini lamele	1	100%	Vizuelno
21	G21	Ravnost površina	±2 mm	1	100%	Lenjir i merni listići
22	G22	Ugaonost	±1°	1	100%	Mašinski uglomer
23	G23	Signo oznaka modula (flomasterom)	Signo oznaka	1	100%	Vizuelno

**Tabela 3.** Podaci o brojnosti grešaka u zavisnosti od  $b$  i  $l$  za module C, Cz, i D

R. br.	Tip modula	$b$ (mm)	$l$ (mm)	$\Sigma G_i$
1	C	470	1790	3
2	C	470	1790	2
3	Cz	470	1790	3
4	Cz	470	1790	3
5	D	550	1790	1
6	D	550	1790	1
7	D	550	1790	0
8	D	550	1790	1
9	D	650	1790	1
10	D	650	1790	0
11	D	650	1790	1
12	D	780	1790	0
13	D	780	1790	0
14	D	780	1790	0
15	C	550	2350	1
16	C	550	2350	1
17	Cz	550	2350	1
18	Cz	550	2350	1
19	D	550	2350	1
20	D	550	2350	0
21	D	550	2350	1
22	D	550	2350	1
23	D	550	2350	2
24	D	550	2350	1
25	D	550	2350	1
26	D	550	2350	1

R. br.	Tip modula	$b$ (mm)	$l$ (mm)	$\Sigma G_i$
27	D	550	2350	0
28	D	550	2350	1
29	C	750	2940	1
30	C	750	2940	1
31	Cz	750	2940	0
32	Cz	650	2940	0
33	D	650	2940	1
34	D	550	2940	2
35	D	550	2940	2
36	D	550	2940	0
37	D	550	2940	1
38	D	550	2940	2
39	D	550	2940	0
40	D	550	2940	2
41	D	550	2940	1
42	D	550	2940	1
43	D	550	2940	1
44	D	550	2940	0
45	D	550	2940	1
46	D	550	2940	2
47	D	550	2940	2
48	D	550	2940	1
49	D	550	2940	1
50	D	450	2940	3
51	D	450	2940	2
52	D	450	2940	2

### 2.3 Regresiona analiza

Problem se svodi na iznalaženje funkcionalne zavisnosti između ukupnog broja grešaka  $\Sigma G_i$  kao izlazne performanse procesa i ulaznih parametara: širine modula  $b$  i dužine modula  $l$ . Za kvantifikaciju odnosa između nezavisnih ulaznih parametara i zavisne promenljive procesa (odziva) je korišćena

**metodologija odzivne površine** RSM (*Response Surface Methodology*) [7-10]. Dobijeni matematički model u vidu polinoma  $n$ -tog reda predstavlja **funkciju odziva** koja se grafički može prikazati kao **odzivna površina**.

Obrada podataka je urađena u softverskom paketu *Design Expert v.9.0.6.2*. Od matematičkih modela koji su na raspolaganju predložen je **kvadratni model** (tabela 4).

**Tabela 4.** Tabela zbirnih statističkih podataka

Source	Std.Dev.	R-Squared	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared	PRESS	
Linear	0,69935	0,35763	0,33141	0,27045	27,21783	
2FI	0,69831	0,37261	0,33340	0,25441	27,81631	
Quadratic	0,60936	0,54217	0,49241	0,43604	21,03994	Suggested
Cubic	0,61003	0,56110	0,49128	0,39970	22,39572	Aliased

Primenjena je ANOVA analiza i izvršena je redukcija nesignifikantnih (beznačajnih) članova metodom unazad (*Backward Elimination Regression with Alpha to Exit* = 0,100). Iz dalje analize su isključeni članovi čija

je *p*-vrednost veća od 0,10. U ovom slučaju to su članovi B, AB i B<sup>2</sup> (gde je: **A** je parametar **b**, **B** je parametar *l*). Analiza varijansi za preostale članove je prikazana u tabeli 5.

**Tabela 5.** ANOVA analiza za redukovani kvadratni model

Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value; Prob > F	
Model	18,3180	2	9,1590	23,6335	6,52533E-08	significant
A-b	17,9609	1	17,9609	46,3454	1,31716E-08	
A <sup>2</sup>	4,9813	1	4,9813	12,8535	0,00077	
Residual	18,9896	49	0,3875			
Lack of Fit	3,6236	6	0,6039	1,6900	0,14666	not significant
Pure Error	15,3661	43	0,3574			
Cor Total	37,3077	51				

F vrednost modela (F=23,63) ukazuje da je model signifikantan (značajan) i da postoji šansa manja od 0,01% da je vrednost F posledica šuma. Niska vrednost verovatnoće (*p*<0,05) potvrđuje da su parametri modela takođe signifikantni. Nedostatak sposobnosti prilagođavanja (*eng. Lack of Fit*) ima F-vrednost 1,69 što ukazuje da varijacija vrednosti merene veličine kod istovetnih ponavljanja nije signifikantna u odnosu na čistu grešku. Koeficijent determinacije (R-squared) i ostale statistike (tabela 6) imaju dobre vrednosti što potvrđuje opravdanost izbora matematičkog modela.

**Tabela 6.** Računske vrednosti statistika za ocenu matematičkog modela

Std. Dev.	0,6225	R-Squared	0,4910
Mean	1,1154	Adj R-Squared	0,4702
C.V. %	55,8130	Pred R-Squared	0,4296
PRESS	21,2791	Adeq Precision	15,4855

**Tabela 7.** ANOVA analiza za transformisani linearni model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value; Prob > F	
Model	1,17722	2	0,58861	21,50883	1,97224E-07	significant
A-b	1,16621	1	1,16621	42,61537	3,57351E-08	
A <sup>2</sup>	0,27589	1	0,27589	10,08136	0,00259	
Residual	1,34093	49	0,02737			
Lack of Fit	0,22714	6	0,03786	1,46154	0,21420	not significant
Pure Error	1,11379	43	0,02590			
Cor Total	2,51815	51				

Međutim, dijagnoza statističkih svojstava predloženog modela je pokazala da raspodela ostataka (reziduala) nije normalna. Matematički model je transformisan pomoću *Square Root* funkcije ( $y' = \sqrt{y+k}$ ) pri čemu je  $\lambda=0,5$  a  $k=2,5$ . Ponovna ANOVA analiza (tabela 7) je potvrdila adekvatnost transformisanog modela.

Statistike modela su poboljšane i njihove vrednosti su prikazane u tabeli 8.

**Tabela 8.** Računske vrednosti statistika za ocenu matematičkog modela

Std. Dev.	0,16543	R-Squared	0,46749
Mean	1,88864	Adj R-Squared	0,44576
C.V. %	8,75903	Pred R-Squared	0,40658
PRESS	1,49431	Adeq Precision	14,84931

Ponovna dijagnoza statističkih svojstava transformisanog modela je pokazala da je raspodela ostataka (reziduala) normalna. Nakon primene *Box-Cox* procedure vrednost  $\lambda$  je 0,5, optimalna vrednost  $\lambda$  je 0,66 a interval pouzdanosti od 95% za  $\lambda$  (donji C.I. = -0,46, gornji C.I. = 1,73) sadrži vrednost  $\lambda=0,46$  čime je dokazana opravdanost transformacije modela (slika 3).

## 2.4 Stohastički regresioni model

Kako je parametar  $l$  (dužina modula) nesignifikantan to znači da ukupan broj grešaka zavisi od parametra  $b$  (širina modula).

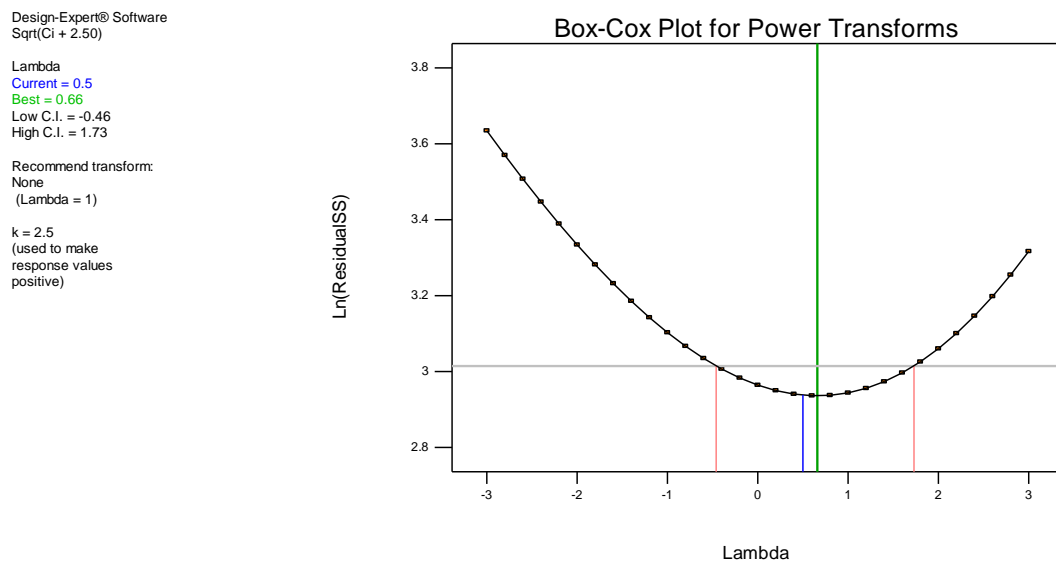
Konačna jednačina transformisanog matematičkog modela, sa realnim koeficijentima, koji adekvatno opisuje zavisnost ukupnog broja grešaka modula od širine ( $b$ ) modula glasi:

$$\sqrt{G_i + 2,5} = 6,00847 - 1,21627 \cdot 10^{-2} \cdot b_i + 8,4966 \cdot 10^{-6} \cdot b_i^2 \quad (1)$$

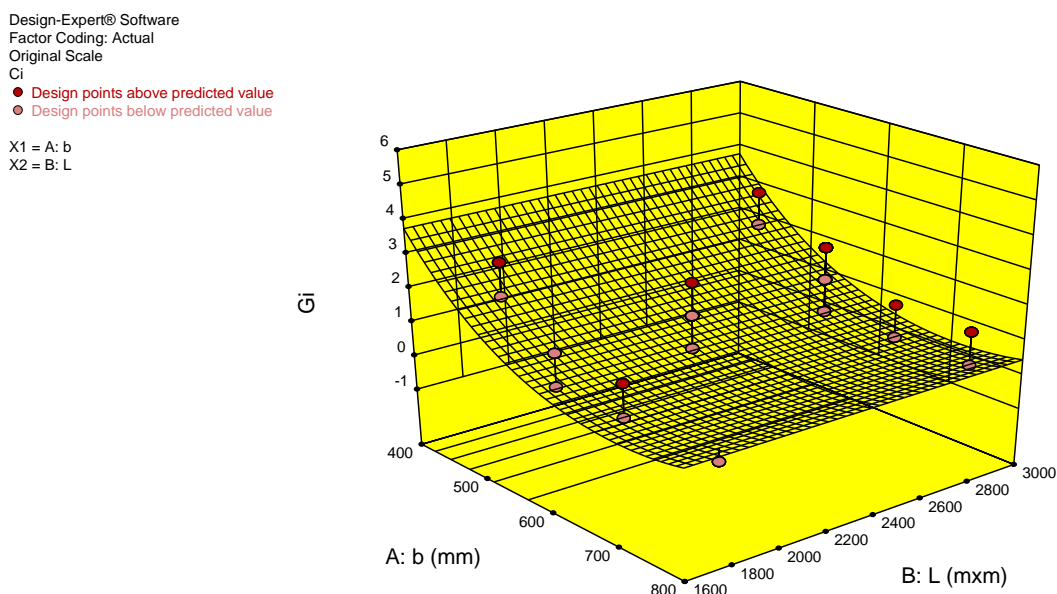
odnosno:

$$G_i = (6,00847 - 1,21627 \cdot 10^{-2} \cdot b_i + 8,4966 \cdot 10^{-6} \cdot b_i^2)^2 - 2,5. \quad (2)$$

Grafički prikaz matematičkog modela opisanog jednačinom (2) i raspored eksperimentalnih tačaka dat je na slici 4.



Slika 3. *Box-Cox* dijagram transformisanog kvadratnog modela



Slika 4. 3D dijagram odzivne površine broja grešaka  $G_i = f(b, l)$  za module C, Cz, i D



### 3. ZAKLJUČAK

U okviru doktorske disertacije *Razvoj modela za integraciju sistema odlučivanja u proces konfiguracije složenih proizvoda* [11] razvijen je integrisani model za automatsko konfigurisanje optimalne varijante složenih proizvoda u industriji prerade metala sa aspekta troškova, kvaliteta i vremena izrade proizvoda. Model se sastoji od 9 modula od kojih većina može predstavljati poseban konfigurator za određenu oblast a zajedno integrisani u jednu celinu predstavljaju *konfiguracioni sistem* na osnovu kojeg je moguće dobiti optimalnu konfiguracionu varijantu proizvoda koja zadovoljava individualne zahteve kupca i koja je ekonomski najpovoljnija za proizvođača.

Praktična primena predloženog modela i testiranje razvijenog programskog sistema „IAKS MODULPRIM“ u realnim uslovima je realizovana na primeru konfigurisanja MTP. Za verifikaciju i validaciju predloženog modela je odabrano 8 primera MTP tipa MODULPRIM stepena sigurnosti 5. Primeri su odabrani tako da reprezentuju MTP koje se najčešće realizuju.

Efekat integracije stohastičkog modela zavisnosti ukupnog broja grešaka od dimenzija modula u konfigurator proizvoda je smanjenje ukupnog broja grešaka na svim modulima MTP u proseku za 28,7%. Time je pokazano da je primenom alata kvaliteta i adekvatnih planova eksperimenata i implementacijom njihovih rezultata moguće ostvariti unapređenje kvaliteta proizvoda još u procesu njegove konfiguracije.

### ZAHVALNOST

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije za podršku u realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada u 2021. godini na osnovu Ugovora br. 451-03-9/2021-14/200108.

### 4. LITERATURA

- [1] V. Grković, M. Kolarević, A. Petrović M. Bjelić: Product Platform for Automatic Configuration of Modular Strongrooms, *Tehnicky vjesnik - Technical Gazette*, Vol. 27, № 1, pp. 333–340, 2020, DOI:10.17559/TV-20180625125202.
- [2] E. Štefanec: *Trezorski prostori*, Maribor, 2003.
- [3] V. Grković, M. Kolarević, N. Obradović: Configuration of Modular Vault Rooms, in: *Application of New Technologies and Ideas in Engineering Education*, Požega, Serbia, p. 165–174, 2017.
- [4] Primat a.d. Maribor available at: <http://www.primat.si>, accessed: 15.09.2021.
- [5] M. Kolarević, LJ. Cvetković, R. Bošković: Parametric Modelling of Modular Vault Rooms, in: *VI International Triennial Conference Heavy Machinery – HM'08*, Faculty of Mechanical Engineering, Kraljevo, Serbia, 2008, p. F.13-F.17.
- [6] EN 1143-1, *Standard Secure Storage Units - Requirements, Classification and Methods of Test for Resistance to Burglary - Part 1: Safes, ATM Safes, Strongroom Doors and Strongrooms*, European committee for standardization, p. 42, 2012.
- [7] D.C. Montgomery: *Design and Analysis of Experiments*, 11th ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2017.
- [8] R.H. Myers, D.C. Montgomery, C.M. Anderson-Cook: *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2016.
- [9] M.J. Anderson, P.J. Whitcomb: *RSM Simplified: Optimizing Processes Using Response Surface Methods for Design of Experiments*, 2nd ed., Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, 2017.
- [10] Handbook for Experimenters, version 11.01, Stat-Ease, Inc., Minneapolis, 2019. available at: [https://cdnm.statease.com/pubs/handbk\\_for\\_exp\\_sv.pdf](https://cdnm.statease.com/pubs/handbk_for_exp_sv.pdf), accessed: 15.09.2021.
- [11] V. Grković: *Razvoj modela za integraciju sistema odlučivanja u proces konfiguracije složenih proizvoda*, Doktorska disertacija, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu, Univerzitet u Kragujevcu, Kraljevo, 2020.

## IMPROVEMENT OF THE MODULAR STRONGROOMS CONFIGURATION QUALITY USING REGRESSION ANALYSIS

**Abstract:** *Modular strongrooms (MTP) are made of industrially prefabricated elements which are assembled on site. Their design is based on the customer's request related to the safety level, in accordance with the standard EN 1143-1. Also, a customer sets room dimensions where MTP will be placed. The modular strongroom configuration is made by combining standard modules. These modules, which differ from each other only in their number and dimensions are used in each new project.*

*The optimization through the application of statistical analysis and quality tools has led to the reduction of the number of errors in the MTP development process to an acceptable minimum. Additional analysis has revealed a dependence between the total number of errors and dimensions of the MTP module. Additional reduction of errors, and thus improvement of the MTP configuration quality is possible using the mathematical models obtained in the configuration process.*

**Keywords:** *modular strongrooms, regression analysis, quality improvement.*