

## UTICAJ NEKIH PROCESNIH PARAMETARA NA SKUPLJANJE PLASTIČNOG KOMADA DOBIJENOG BRIZGANJEM

### INFLUENCE OF SOME PROCESS PARAMETERS ON PART SHRINKAGE IN PLASTIC INJECTION MOULDING

**Damir Ćurić, manager**  
**KPZZT P.J. „Novi život“**  
**Zenica**

**Zorica Veljković, docent**  
**Mašinski fakultet u Beogradu**  
**Beograd**

**Senad Rahimić, vanredni profesor**  
**Mašinski fakultet u Mostaru**  
**Mostar**

#### **REZIME**

*Rad daje prikaz istraživanja skupljanja plastike kod pozicije Poklopac. Izabrani su sljedeći parametri procesa: Naknadni pritisak (HP), Vrijeme brizganja (IT), Vrijeme hlađenja (CT), Temperatura brizganja (TMP) i Vrijeme naknadnog pritiska (HPT). Napravljen je realni eksperiment po planu eksperimenta i rezultati su obrađeni Tagučijevom metodom. Prikazani su rezultati eksperimenta preko Koeficijenata učešća izabranih parametara.*

**Ključne riječi:** skupljanje, parametri procesa, Tagučijev eksperiment, koeficijenti učešća

#### **ABSTRACT**

*This paper reviews the research about plastic shrinkage for position: Cover. Selected the following parameters of the process: Packing pressure (HP), Injection time (IT), Cooling time (CT), Melt temperature (TMP) and Holding pressure time (HPT). A real experiment is made according to the plan of experiment and the results processed by Taguchi method. The results is shown through Contribution ratios of the selected parameters.*

**Keywords:** shrinkage, process parameters, Taguchi design, contribution ratio

#### **1. UVOD**

Injeksiono presovanje (PIM), kao jedan od najčešće korištenih postupaka prerade termoplastičnih materijala, je složen proces prilikom kojeg se dešavaju razne transformacije i promjene. Osnovni cilj procesa je da se na jednom mjestu i u jednoj operaciji dobije komad sa dovoljno dobrim dimenzijama i osobinama za upotrebu. Razvoj tipova i familija termoplastičnih materijala je u posljednje vrijeme evidentan tako da se komadi od tih materijala koriste ne samo u dekorativne svrhe nego imaju svoju primjenu i kao odgovorni mašinski elementi.

Dizajner alata, u poslu kojim se bavi, može da pristupa problemu tolerancija dimenzija komada na više načina. Jedan je put da koristi preporuke proizvođača termoplastičnog komada i iskustvo. Drugi put je da koristi CAE softver za definisanje tolerancija komada.

U radu će biti prezentirana istraživanja skupljanja jednog plastičnog komada kao dio jednog većeg istraživanja. Naime, biće izabran komad za istraživanje. Biće urađen i realni eksperiment na mašini za brizganje i prezentirani će biti rezultati skupljanja. Eksperiment će biti urađen prema planu Taguči-jevog eksperimenta.

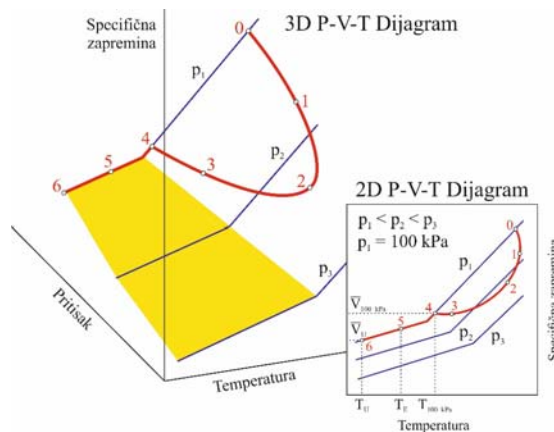
## 1.1. Pojam skupljanja

Skupljanje predstavlja pojavu smanjenja dimenzija komada i javlja se kod njezionog brizganja plastike (PIM). Redukcija dimenzija se javlja već unutar kalupa (tokom samog procesa brizganja) a komad se nastavlja smanjivati i kada je izbačen izvan kalupa.

Skupljanje je jako bitno u PIM zbog traženih dimenzija komada. Naime, ako komad nakon PIM nema dimenzije koje se traže crtežom, on je neiskoristiv. Skupljanje se principijelno javlja zbog toga što gustoća polimera varira od procesne temperature do temperature okoline. Tokom PIM, usljed skupljanja se javljaju unutrašnja naprezanja. Ta zaostala naprezanja djeluju na komad efektima sličnim djelovanju vanjske sile. Ako su zaostala naprezanja izazvana tokom PIM dovoljno velika u prevladavanju strukturne cjelovitosti komada, on će se kriviti nakon izbacivanja komada iz kalupa ili se može desiti da pukne.

### 1.1.1. P-V-T dijagram

Svi oni koji rade sa plastikom znaju da je skupljanje i na kraju krivljenje komada, u velikoj mjeri prouzročeno procesnim faktorima. Za posmatranje stanja termoplastičnog materijala koristi se P-V-T dijagram. Na Slici 1. dat je izgled P-V-T dijagrama amornog termoplastičnog materijala [3].



Slika 1. PVT dijagram amorfne plastike [3]

Prateći zapreminsko punjenje kalupne šupljine (0 do 1) materijal se sabija (faza kompresije) bez značajnije promjene temperature (1 do 2). Veličina pritiska u komadu zavisi od veličine naknadnog pritiska mašine i od otpora toka u kalupnoj šupljini.

Nakon toga komad se stabilno hladi (2 do 3). Zapreminsko skupljanje se može djelomično kompenzirati održavanjem pritiska i dodatno napaja plastiku preko kore od stvrdnutog materijala. Ako nema više raspoložive rastopljene plastike tj. kalupna šuljina se više ne hrani (smrzavanje ušća), promjena stanja plastike je izohorna (3 do 4).

Tačkom gdje se linija 100-line kPa (tačka 4) spaja sa početnom linijom pritiska, definiše se lokalno zapreminsko skupljanje (local volume shrinkage). Do većeg zapreminskog skupljanja će doći ako je ova tačka u području većih zapremina. Pošto je zapreminsko skupljanje ekvivalentno potencijalu skupljanja, veće zapreminsko skupljanje takođe rezultira većim uzdužnim skupljanjem.

Nakon što je dostignuta linija 100 kPa, dalja promjena stanja je izobarna. Komad je izbačen iz kalupa (tačka 5) i prestaju ograničenja koja mu je postavljao kalup.

## 2. PREGLED LITERATURE

Ovo poglavlje daje pregled radova povezanih sa ovim istraživanjem i pregled prethodnih istraživanja sprovedenih u istim područjima.

Ideja za ovo istraživanje je potekla iz dijagrama koji je objavljen u [1]. Naime, dijagram povezuje maksimalnu debljinu komada dobijenog PIM i dužinu ciklusa brizganja, bez obzira o kakvom termoplastičnom materijalu, kojem komadu ili o kojoj mašini se radi. Na osnovu debljine stijenke komada, pomoću dijagrama se lako dolazi do vremena potrebnog za jedan ciklus. Na osnovu tog vremena i raspoloživog roka izrade komada, dolazi se do broja kalupnih šupljina koje plastičar treba da napravi na alatu da bi stigao u roku da uradi posao.

Drugi rad koji je pročitao na ovu temu je napisao Busick et al. [2]. U radu se govori o korištenju simulacije procesa u cilju dobijanja tolerancija dimenzija proizvoda dobijenih PIM. Radom je definisano je da su glavni uticaji na dobijanje izvodljivih dimenzija: vrijednosti procesa, varijacije procesa, materijal i geometrija.

Srž rada [4] objavljenog od strane Narote et al. je pronaći vrijednosti parametara procesa brizganja plastike. Razvijena je metodologija za proizvodnju dijelova bez defekata, kontrola procesnih parametara kao što su: temperatura plastike, pritisak brizganja, naknadni pritisak i vrijeme hlađenja. Pronađen je uticaj u nivou svakog parametra uzimajući u obzir veličinu dijela.

Članak [5] opisuje krivljenje i skupljanje kao defekte u brizganju plastičnih komada. *Mold-flow* softver je korišten za numeričko simuliranje eksperimenata brizganja. Da bi se minimizirali ovi defekti, optimizacija procesa je urađena sekvencijalnom simpleks metodom. Procesni dizajn parametri su: temperatura kalupa, temperatura plastike, promjena pritiska, pritisak brizganja/naknadni, vrijeme naknadnog pritiska i temperatura rashladne ulazne tekućine. Izlazni parametri, osim krivljenja i skupljanja, se sastoje od: težine dijela, zaostalog napona, vremena ciklusa, i maksimalne vrijednosti temperature. Rezultati su povezani i interpretirani sa preporukama koje se trebaju razmatrati u takvom procesu.

Korištenje pokušaja – greške kao metode rada u brizganju plastike više nije dovoljno dobro. Rad [6] određuje optimalne parametre procesa za dobijanje minimalnog skupljanja. U obzir je uzet materijal polipropilen (PP). Dobijanje optimalnih procesnih parametara je bazirano na odnosu S/N i Taguchi-jevom dizajnu.

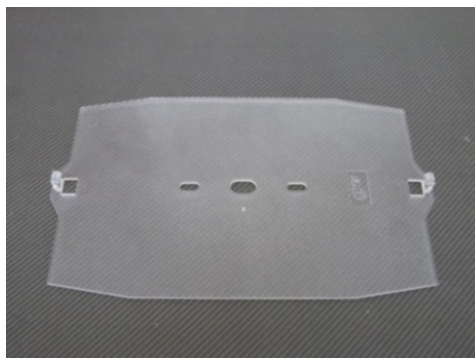
Problem skupljanja je jedan od najvažnijih problema u proizvodnji plastičnih zupčanika [7] koji utiče negativno na mnoge dijelove zupčanika. Integrirajući sivu analizu i Taguchi-jev metod, ponašanje skupljanja je istraženo kroz optimizaciju procesnih parametara. Optimalna kombinacija faktora je A2, B2, C3 i D1. Uticaji: temperatura rastopljene plastike, naknadni pritisak, vrijeme hlađenja i vrijeme naknadnog pritiska.

Rad [8] objavljuje poređenje simulacije i realnog eksperimenta u pogledu skupljanja s obzirom na pet parametara procesa. Simulacija i realni eksperiment su urađeni po planu eksperimenta Taguchi-jevog eksperimenta. Rezultati skupljanja su objavljeni i poređenje je dato preko ortogonalnih kontrasta.

Opšti izvori literature za rad iz PIM su bili [3]. Opšti izvori primjene Taguchi-jeve metode su korišteni iz [9].

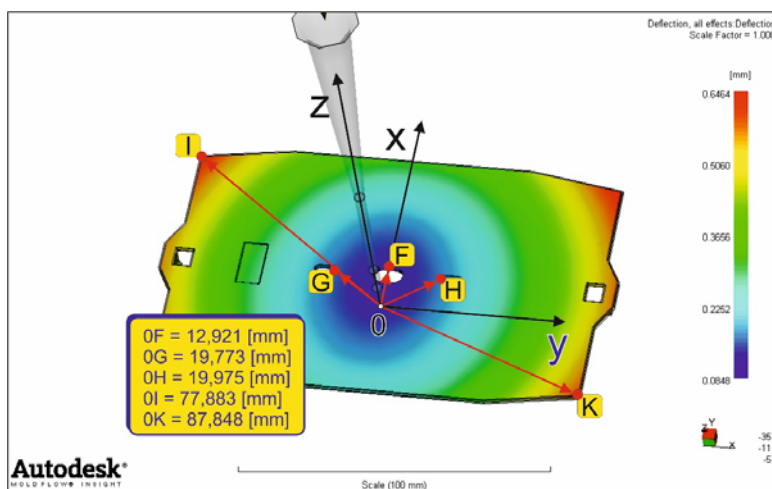
### 3. PREDMET EKSPERIMENTA I PARAMETRI PROCESA

Za eksperiment je izabrana pozicija Poklopac, orijentacione mase 21 [g], dimenzija 151 x 91 x 1,6 [mm], izrađena od materijala Terluran, GP35, Natur.



Slika 2. Poklopac

U eksperimentu su izabrane ove tačke na Poklopcu.



Slika 3. Mjerene tačke na Poklopcu

Za ispitivanje uticaja na skupljanje je izabrano pet faktora: Naknadni pritisak (HP), Vrijeme brizganja (IT), Vrijeme hlađenja (CT), Temperatura brizganja (TMP) i Vrijeme naknadnog pritiska (HPT). Svi ti faktori su procesni faktori i mogu se podesiti na mašini za brizganje. Ovi faktori su izabrani zato što znamo iz iskustva ali i pregledane literature, da imaju neki uticaj na skupljanje, i zato što su to pravi procesni faktori.

Prva promjenljiva je vrijednost Naknadnog pritiska (HP). Naknadni pritisak značajno utiče na skupljanje komada i sa višom vrijednošću pojavljuju se zaostala naprezanja, i samim tim skupljanje je veće i nepravilnije. Vrijednost Naknadnog pritiska je obično u procesu injekcionog brizganja kreće od 70-100% vrijednosti Pritiska brizganja.

Druga promjenljiva je Vrijeme brizganja (IT). Vrijeme brizganja ima uticaj na skupljanje plastičnog komada. Što je kraće Vrijeme brizganja to su veća zaostala naprezanja, a samim tim i skupljanje.

Treća promjenljiva je Vrijeme hlađenja (CT). Za očekivati je da se manje skupljanje dobija dužim ciklusom hlađenja.

Četvrta promjenljiva je Temperatura brizganja (TMP). Vrijednost Temperature brizganja značajno utiče na skupljanje komada, kako u smislu viskoziteta polimera tako i u smislu hlađenja komada. Što je viša Temperatura brizganja veće je i skupljanje.

Vrijeme naknadnog pritiska (HPT) je peta promjenjiva i nastupa od trenutka kada je kalup značajno popunjen sa tečnom plastikom sve do faze zamrzavanja ušća na komadu. Značajan uticaj na skupljanje ima i vrijeme Naknadnog pritiska. To je četvrta promjenljiva u ovom radu. U praksi se obično dešava da se bolji rezultati što se tiče zaostalih naprezanja dešavaju kada je visoka vrijednost Naknadnog pritiska a njegovo trajanje kraće. Za očekivati je da je tako i kod skupljanja.

#### 4. EKSPERIMENT

Ovaj eksperiment je sproveden prema predviđenom eksperimentalnom planu Taguči-jevog eksperimenta. Rezultati skupljanja su dobijeni mjerenjem na Mjernoj koordinatnoj mašini. Na osnovu analize podataka, preko analize P-vrijednosti testa dobijaju se podaci prikazani u sljedećoj tabeli.

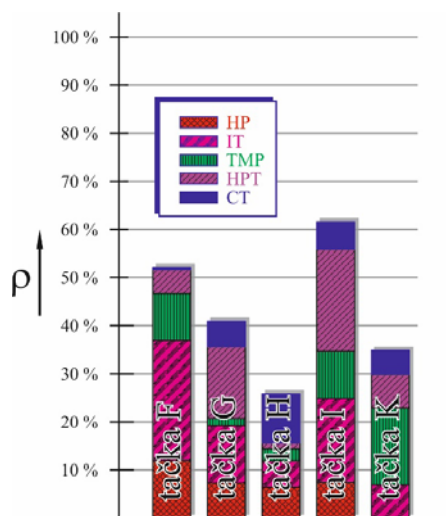
Tabela 1. Uticaji faktora po tačkama

faktor	F	G	H	I	K
HP	***	**	*	***	
IT	***	***		***	*
TMP	***			***	***
HPT	*	***		***	*
CT		*	**		*

Pri brizganju Poklopca pokazuje se da u Tački F visokoznačajan statistički uticaj imaju Naknadni prisak (HP), Vrijeme (IT) i Temperatura brizganja (TMP), dok postoji i mali uticaj Vremena naknadnog pritiska (HPT). U drugoj tački od mjesta brizganja mjerenja skupljanja pokazuju se da visokoznačajan statistički uticaj imaju Vrijeme brizganja (IT) i Vrijeme naknadnog pritiska (HPT), značajan je uticaj Naknadnog pritiska (HP), a postoji i uticaj Vremena hlađenja (CT). U trećoj tački mjerenja postoji značajan uticaj Vremena hlađenja (CT), a na skupljanje utiče i Vrijeme naknadnog pritiska (HPT). U tački I visokoznačajan statistički uticaj imaju Naknadni pritisak (HP), Vrijeme (IT) i Temperatura brizganja (TMP) kao i Vrijeme naknadnog pritiska (HPT). U petoj tački, koja je najudaljenija od mjesta brizganja, statistički apsolutno značajni pritisak ima Temperatura brizganja (TMP), dok postoji uticaj i Vremena brizganja (IT) i Vrijeme naknadnog pritiska (HPT).

##### 4.1. Koeficijenti učešća

U sljedećem dijelu prikazani su koeficijenti učešća izabranih faktora. Ukupni koeficijenti učešća u pojedinim tačkama zbirno pokazuju male vrijednosti od 25-62%, pri čemu je u najudaljenijoj tački, gdje su odstupanja i najveća i na osnovu kojih se određuju optimalne vrijednosti faktora, njihov uticaj je oko 35%. To ukazuje na to da ovim eksperimentom nisu obuhvaćeni faktori koji utiču na skupljanje Poklopca. To znači da njihovim upravljanjem nije moguće pouzdano kontrolisati skupljanje.



Slika 4. Koefficienti učešća po faktorima za Poklopac

## 5. ZAKLJUČAK

Izabrani faktori imaju neki uticaj na skupljanje pozicije Poklopac. Taj uticaj nije dovoljan za predviđanje skupljanja. Postoje neki drugi faktori koji očitno imaju veći uticaj na skupljanje ove pozicije. Bilo bi potrebno nastaviti istraživanja radi pronalaska tih faktora.

## 6. LITERATURA

- [1] Bryce D. M.: Plastic injection molding – mold design and construction fundamentals, SME, 1998
- [2] Busick D. R.; Beiter K. A.; Ishii K.: Design for Injection Molding: Using process simulation to assess Tolerance feasibility, ASME, 1994
- [3] G. Menges; P. Mohren: How to make Injection Molds, Hanser, pp. 80-90, 1993
- [4] Narote B. E. et al.: Identifying optimized levels for the processing factors for thermoplastic ABS to reduce cycle time for injection molding, International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, vol. 3, 2014
- [5] B. Farshi et al.: Optimization of injection molding process parameters using sequential simplex algorithm, Technical Report, Materials and Design, vol. 32, pp. 414-423, 2011
- [6] Alam M. M. et al.: Reducing Shrinkage in Plastic Injection Moulding using Taguchi Method in Tata Magic Head Light, International Journal of Science and Research, vol. 2, Issue 2, 2013
- [7] Mehat N. M. et al.: Reducing the Shrinkage in Plastic Injection Moulded Gear via Grey-Based-Taguchi Optimization Method, Proceedings of the World Congress on Engineering, vol. 3, 2012
- [8] Ćurić D.; Veljković Z. A.; Duhovnik J.: Comparison of Methodologies for Process Parameters Affecting Geometric Deviations in Plastic Injection Molding of Housing using Taguchi Method, Scientific Journal "Mechanika", 18/6, 2012
- [9] Mehat N. M. et al.: Quality control and design optimisation of plastic producing Taguchi method: a comprehensive review, Int J. Plast. Technol. 16/2, pp. 194-209, 2012