

# UTJECAJ FAZE DJELOVANJA NAKNADNOG TLAKA NA SVOJSTVA OTPRESAKA OD ABS-a

*Maja Rujnić-Sokele, Mladen Šercer, Nikola Vlašić*

Strukovni rad

Injekcijsko prešanje je najvažniji, a prema dostignutoj razini i najusavršeniji ciklički postupak preradbe polimera. Na stvaranje otpreska i na njegova konačna svojstva utječu brojni parametri injekcijskog prešanja, pri čemu najvažniji uključuju tlakove, temperature i vremena. U radu je promatran utjecaj vrijednosti naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na neka svojstva otpreska od akrilonitril/butadien/stirena.

**Ključne riječi:** naknadni tlak, vrijeme djelovanja naknadnog tlaka, injekcijsko prešanje

## Influence of packing pressure phase on ABS moulded part properties

Professional paper

Injection moulding is the most important, and also by the level it reached, the most improved cyclic procedure of polymer processing. Many injection moulding parameters affect the formation of the moulded part and its final properties. The most important parameters include pressures, temperatures and times. The paper presents the study of the influence of packing pressure and packing pressure time on some properties of acrylonitrile/butadiene/styrene moulded part.

**Key words:** packing pressure, packing pressure time, injection moulding

## 1 Introduction Uvod

Injekcijskim se prešanjem prerađuju svi polimeri: duromeri, elastomeri, elastoplastomeri, a posebno je proširena preradba plastomernih taljevina. Prema prerađenim je količinama injekcijsko prešanje polimera odmah iza ekstrudiranja. Injekcijsko prešanje polimera ciklički je postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak, postaje polireakcijom i/ili umreživanjem, geliranjem i/ili hlađenjem podobnom za vađenje iz kalupne šupljine [1].

Injekcijsko prešanje plastomera dinamički je, nelinearni proces koji se sastoji od 4 temeljne faze: pripreme plastomerne taljevine (plastificiranja), punjenja kalupne šupljine, djelovanja naknadnog tlaka i vađenja otpreska iz kalupne šupljine [2].

Brojni parametri procesa injekcijskog prešanja utječu na stvaranje otpreska. Uglavnom se pri tome razmatraju tlakovi, temperature i vremena. Pri analizi injekcijskog prešanja moguće je razmatrati veći broj različitih parametara procesa, no najčešće su istraživanja usmjerena na manji broj najutjecajnijih parametara. Zbivanja u kalupnoj šupljini tijekom svih faza injekcijskog prešanja imaju presudnu ulogu pri određivanju svojstava gotovih otpresaka [2].

## 2 Tlak u kalupnoj šupljini Cavity pressure

Analiza procesa injekcijskog prešanja trajno doprinosi njegovu učinkovitijem vođenju. Pri tome je tlak u kalupnoj šupljini središnja ovisna procesna varijabla. Slika 1 prikazuje tijek tlaka u kalupnoj šupljini te njegov utjecaj na svojstva otpreska. Prateći krivulju tlaka u kalupnoj šupljini moguće je uočiti tri različite faze: obujamno punjenje kalupne šupljine (faza punjenja), stlačivanje taljevine (faza stlačivanja) i održavanje plastomernog materijala tijekom očvršćivanja pri povišenom - naknadnom tlaku (faza djelovanja naknadnog tlaka). Faza ubrizgavanja ima najviše utjecaja na pojavnost otpreska, dok faza djelovanja

naknadnog tlaka najviše utječe na dimenzijsku stabilnost otpreska. Moguće je uočiti kako tlak u fazi punjenja uglavnom ima ulogu svladavanja otpora tečenju taljevine kroz uljevni sustav i kalupnu šupljinu, dok je utjecaj na kvalitetu otpreska vrlo mali. S druge strane, tlak u fazi stlačivanja, a posebice naknadni tlak, učinkovitije utječu na kvalitetu otpreska [2].

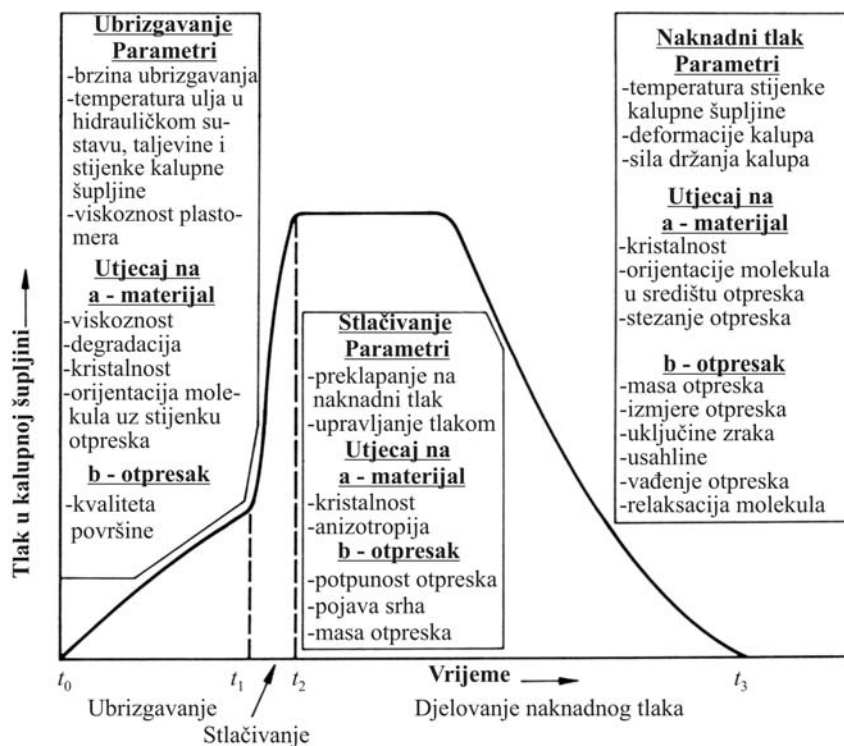
Nakon ubrizgavanja slijedi faza djelovanja naknadnog tlaka, tijekom koje se tlak u kalupnoj šupljini održava pri propisanoj vrijednosti dok plastomerna taljevina očvršćuje. S pomoću održavanja naknadnog tlaka u kalupnoj šupljini nastoji se nadoknaditi stezanje materijala. Faza djelovanja naknadnog tlaka nastavlja se sve dok ne očvrstne područje ušća nakon čega tlak u kalupnoj šupljini pada na okolišni tlak [2].

Profil tlaka u kalupnoj šupljini može upozoriti na tipične pogreške u procesu injekcijskog prešanja. Izražena vršna vrijednost tlaka tijekom faze stlačivanja rezultat je ozbiljne greške u procesu. Najčešće uzrok leži u netočno podešenoj točki preklapanja na naknadni tlak. Takva greška u pravilu rezultira pojavom srha na otpresku, te napetostima uslijed prekomjernog stlačivanja taljevine, odnosno smanjenom dimenzijskom stabilnošću otpreska i razlikama u postignutim težinama otpresaka iz ciklusa u ciklus [2].

### 2.1 Naknadni tlak Packing pressure

Najvažniji razlog uporabe naknadnog tlaka tijekom ciklusa injekcijskog prešanja je dodavanje novog materijala u kalupnu šupljinu u cilju smanjenja stezanja materijala nastalog uslijed hlađenja. Time se sprječavaju pojave grešaka na otpresku kao što su mjehuravost i usahline, a stezanje i vitoperenje se minimiraju. Faza djelovanja naknadnog tlaka počinje točkom preklapanja s tlaka ubrizgavanja, a završava na kraju djelovanja naknadnog tlaka kada dolazi do pečačenja ušća [2].

Vrijednost i djelovanje naknadnog tlaka imaju bitan utjecaj na dimenzijsku stabilnost te optička svojstva otpreska. Određivanje vrijednosti naknadnog tlaka temelji se na jednostavnom mjerenju izmjera otpreska, kao i na vizualnom pregledu (izostanak usahline) [2].



Slika 1 Utjecaj faza tijekom tlaka u kalupnoj šupljini na otpresak [2]  
 Figure 1 Influence of cavity pressure phases on the moulded part [2]

## 2.2 Preklapanje na naknadni tlak Switching to packing pressure

Kako se u praksi rijetko rabe osjetila tlaka u kalupnim šupljinama, vrlo se često griješi u izboru točke preklapanja na naknadni tlak. Pri tome postoji nekoliko mogućnosti: ubrizgavanje bez preklapanja, ubrizgavanje s prekasnim preklapanjem, ubrizgavanje s preranim preklapanjem i ubrizgavanje s optimalnim preklapanjem [2].

Ubrizgavanje bez preklapanja na naknadni tlak je primjenjivo u slučajevima kada je konačni potrebni tlak u kalupnoj šupljini blizak tlaku tijekom ubrizgavanja. To je čest slučaj kada kalup ima malo ušće ili kada otpresak ima veliki omjer put tečenja/debljina stijenke. Pri određivanju točke preklapanja na naknadni tlak, uobičajena su četiri pristupa, [2]:

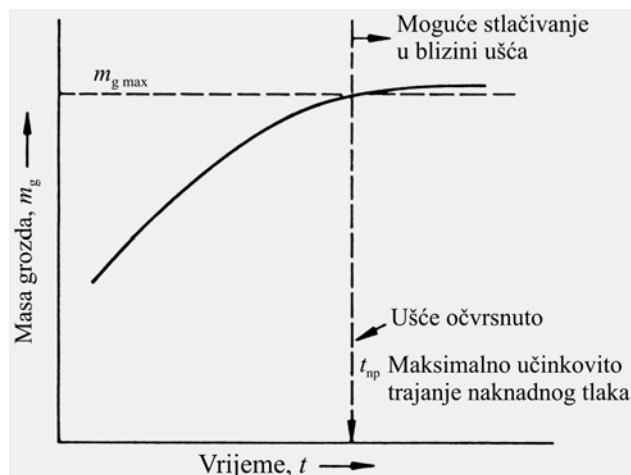
- ! preklapanje ovisno o vremenu
- ! preklapanje ovisno o prijednom putu pužnog vijka
- ! preklapanje ovisno o tlaku u kalupnoj šupljini
- ! preklapanje ovisno o sili držanja kalupa.

## 2.3 Vrijeme djelovanja naknadnog tlaka Packing pressure time

Pod vremenom djelovanja naknadnog tlaka najčešće se smatra vrijeme potrebno za očvršćivanje ušća. Drugi je pristup dovođenje u vezu vremena djelovanja naknadnog tlaka i mase otpreska. Sustavnim mjerenjem moguće je uočiti da nakon određenog vremena, produljenje vremena djelovanja naknadnog tlaka neće imati utjecaja na povećanje mase otpreska (slika 2). Stoga je moguće odrediti optimalno vrijeme djelovanja naknadnog tlaka [2].

## 3 Eksperimentalni dio Experimental part

U eksperimentalnom dijelu je primjenom centralno kompozitnog plana pokusa analiziran utjecaj naknadnog



Slika 2 Određivanje optimalnog vremena djelovanja naknadnog tlaka [2]  
 Figure 2 Determination of optimal packing pressure time [2]

tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na masu, dimenzije i tvrdoću otpresaka od akrilonitril/butadien/stirena (ABS). Pritom treba naznačiti da je riječ o naknadnom tlaku izmjenom, odnosno podešenom u hidrauličkom sustavu ubrizgavalice, a ne u kalupnoj šupljini.

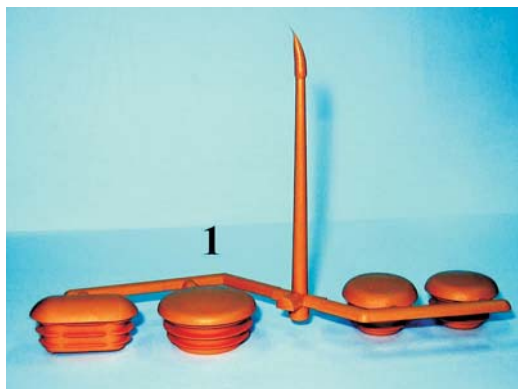
U svrhu dobivanja željenih podataka proveden je pokus injekcijskog prešanja čepova različitih oblika.

Na slici 3 prikazani su čepovi od ABS-a načinjeni injekcijskim prešanjem. U eksperimentalnom dijelu ovoga rada ispitivanje mase, dimenzija i tvrdoće provedeno je na čepu pod brojem 1 koji je prikazan na slici 3.

## 3.1 Ispitni materijal i oprema Testing material and equipment

Upotrebjeni materijal je akrilonitril/butadien/stiren (ABS) proizvođača *Ineos*, pod nazivom *Lustran ABS 440*.

Talište navedenog materijala je pri temperaturama od 218 do 260 °C, dok mu je gustoća  $\rho = 1060 \text{ kg/m}^3$ .



Slika 3 Otpresak načinjen injekcijskim prešanjem  
Figure 3 Injection moulded part

Tablica 1 Faktori i njihove razine  
Table 1 Levels of factors

Razine	$x_1$ Naknadni tlak $p_n$ , bar	$x_2$ Vrijeme djelovanja naknadnog tlaka $t_n$ , s
-1	100	0,6
0	250	1,1
1	400	1,6

Lustran ABS 440 je kopolimer koji je prvenstveno namijenjen za primjenu u automobilskoj industriji. Odlikuje ga otpornost na udarno opterećenje, dimenzijska stabilnost, otpornost na puzanje, kemijska postojanost, visoka tvrdoća i čvrstoća, visoka kvaliteta površine i dobra preradljivost.

Prije preradbe materijal je bio sušen 4 sata pri temperaturi od 80 °C. Sušenje je provedeno u sušilici proizvođača *Belišće*, dok je temperatura mjerena s pomoću digitalnog termometra *Hasco Z251*. Kad je materijal temperature okoline od oko 20 °C postigao temperaturu od 80 °C počelo se mjeriti vrijeme sušenja.

Za mjerenje mase ispitaka korištena je digitalna vaga proizvođača KERN&SOHN, tipa EW1500-2M, razreda točnosti II, podjeljka 0,01 g.

Mjerenje tvrdoće provedeno je ručnim uređajem za mjerenje tvrdoće po *Shoreu*, a dimenzije otpresaka izmjerene su pomičnom mjerkom.

Za izradu potrebnih otpresaka korištena je ubrizgavalica ENGEL Victory VC 330/80 POWER / ER-USP 5.

### 3.2

#### Centralno kompozitni plan pokusa

#### Central composite design

Centralno kompozitni plan pokusa pripada u skupinu planova pokusa višeg reda, tzv. metoda odzivne površine. Metoda odzivne površine obuhvaća skup statističkih i matematičkih metoda koje se primjenjuju za razvoj, poboljšanje i optimiranje procesa. Svrha plana pokusa je generiranje matematičkog modela, odnosno jednadžbe koja opisuje proces [3, 4].

Izvođenjem predpokusa određene su vrijednosti naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka koje su korištene za glavni pokus - centralno-kompozitni pokus s dva faktora. Vrijednosti naknadnog tlaka kreću se u granicama od 100 bara do 400 bara, vrijeme djelovanja naknadnog tlaka u granicama od 0,6 sekundi do 1,6 sekundi. S pomoću računala i programa *DesignExpert* generirano je 13 stanja pokusa. Tablica 1 prikazuje faktore i njihove razine, a tablica 2 redosljed izvođenja pokusa i parametre

Tablica 2 Redosljed izvođenja pokusa i parametri preradbe  
Table 2 Order of conducting the experiment and processing parameters

Stanje	Red. br. izvođenja	Naknadni tlak $p_n$ , bar	Vrijeme djelovanja naknadnog tlaka $t_n$ , s
1	10	140,00	0,70
2	6	360,00	0,70
3	1	140,00	1,50
4	3	360,00	1,50
5	11	94,44	1,10
6	4	405,56	1,10
7	12	250,00	0,53
8	13	250,00	1,67
9	7	250,00	1,10
10	5	250,00	1,10
11	2	250,00	1,10
12	8	250,00	1,10
13	9	250,00	1,10

preradbe. Injekcijskim prešanjem s tim parametrima isprešani su ispitci na kojima su naknadno provedena potrebna mjerenja.

#### 3.2.1

#### Utjecaj naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na masu otpreska

#### Influence of packing pressure and packing pressure time on moulded part weight

Za svako od 13 stanja naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka izrađeno je 7 otpresaka (čepova) na kojima je provedeno ispitivanje mase (vaganje). U tablici 3 prikazane su izračunate srednje vrijednosti mase otpresaka.

Tablica 3 Izračunate srednje vrijednosti mase otpresaka  
Table 3 Calculated average values of moulded part weight

Stanje	Masa otpreska $m_o/g$	Standardno odstupanje
1	3,57	0,004
2	3,58	0,000
3	3,59	0,000
4	3,62	0,000
5	3,59	0,005
6	3,61	0,004
7	3,57	0,000
8	3,61	0,004
9	3,59	0,000
10	3,59	0,000
11	3,59	0,005
12	3,59	0,000
13	3,59	0,000

Stanje broj 5 izbačeno je iz obrade jer je statistička analiza pokazala da odziv u toj točki ne odgovara modelu.

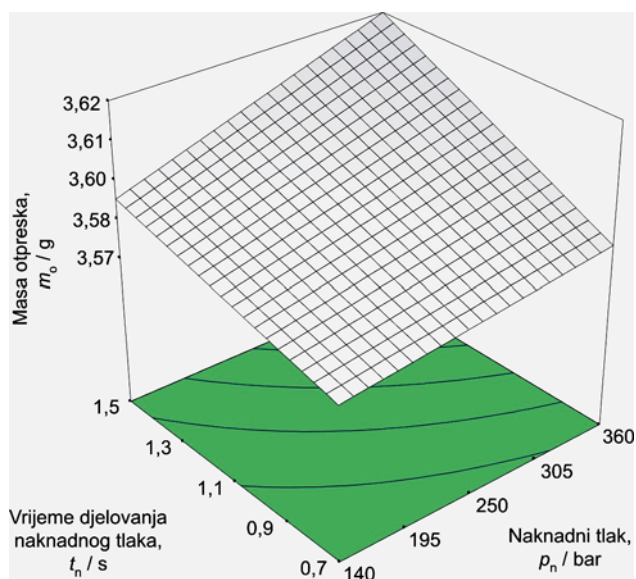
Podaci su obrađeni programskim paketom *DesignExpert* - modul ANOVA (analiza varijance), a rezultat analize je prikazan u tablici 4.

Svi faktori ( $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_1x_2$ ) su signifikantni. Slika 4 prikazuje ovisnost mase otpreska o promjenama naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka.

**Tablica 4** Rezultati analize varijance – masa otpreska  
**Table 4** Analysis of variance table – moulded part weight

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0^*$
Model		$2,514 \times 10^{-3}$	3	$8,379 \times 10^{-4}$	407,60	<0,0001
	$x_1$	$6,511 \times 10^{-4}$	1	$6,511 \times 10^{-4}$	316,74	<0,0001
	$x_2$	$1,752 \times 10^{-3}$	1	$1,752 \times 10^{-3}$	852,43	<0,0001
	$x_1 \cdot x_2$	$1,103 \times 10^{-4}$	1	$1,103 \times 10^{-4}$	53,63	<0,0001
Ostatak		$1,644 \times 10^{-5}$	8	$2,056 \times 10^{-6}$		
	Odstupanje od modela	$9,245 \times 10^{-6}$	4	$2,311 \times 10^{-6}$	1,28	0,41
	Greška	$7,200 \times 10^{-6}$	4	$1,800 \times 10^{-6}$		
Ukupno		$2,530 \times 10^{-3}$	11			

\* $H_0$ : nulta hipoteza – nema signifikantnog utjecaja faktora



**Slika 4** Prikaz ovisnosti mase otpreska o visini naknadnog tlaka i vremenu djelovanja naknadnog tlaka  
**Figure 4** The dependence of the moulded part weight on the packing pressure and packing pressure time

Iz slike 4 uočljivo je da visina naknadnog tlaka i vrijeme djelovanja naknadnog tlaka imaju gotovo podjednak utjecaj na masu otpresaka, odnosno s njihovim porastom, masa otpresaka raste, kao i obrnuto.

Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 5.

Koeficijent determiniranosti je mjera odstupanja od aritmetičke sredine koja je objašnjena modelom. Što je vrijednost koeficijenta determiniranosti bliža jedinici model bolje slijedi podatke, odnosno pojava je bolje objašnjena.

**Tablica 5** Pregled statističkih podataka o modelu  
**Table 5** Summary statistics about the model

Standardno odstupanje	$1,434 \times 10^{-3}$
Aritmetička sredina	3,59
Koeficijent determiniranosti	0,9935

Model za masu otpreska može biti opisan sljedećom jednačinom:

$$y = 3,59 + 0,011 \cdot x_1 + 0,015 \cdot x_2 + 5,25 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

pri čemu je:  $x_1$  = kodirana vrijednost visine naknadnog tlaka,  $x_2$  = kodirana vrijednost vremena djelovanja naknadnog tlaka. Npr., za  $x_1 = 325$  bar (kodirana vrijednost = 0,5),

$x_2 = 1,6$  s (kodirana vrijednost = 1), očekivana masa otpreska bit će 3,616 g.

### 3.2.2 Utjecaj naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na dimenzijsku stabilnost otpreska

Influence of the packing pressure and packing pressure time on dimensional stability of the moulded part

Sljedeće ispitivanje koje je provedeno na otprescima (čepovima) bilo je ispitivanje dimenzijske stabilnosti. Pomičnom mjerkom izmjeren je vanjski promjer tijela otpreska na svakom komadu.

U tablici 6 dane su vrijednosti aritmetičkih sredina mjerenja promjera otpreska.

**Tablica 6** Izračunate vrijednosti promjera otpreska  
**Table 6** Calculated values of moulded part diameter

Uzorak	Promjer otpreska $d_o$ , mm	Standardna devijacija
1	21,11	0,007
2	21,15	0,006
3	21,13	0,005
4	21,16	0,007
5	21,10	0,009
6	21,15	0,005
7	21,11	0,013
8	21,15	0,008
9	21,14	0,005
10	21,16	0,005
11	21,15	0,009
12	21,13	0,005
13	21,13	0,005

Analiza varijance za promjer otpreska prikazana je u tablici 7.

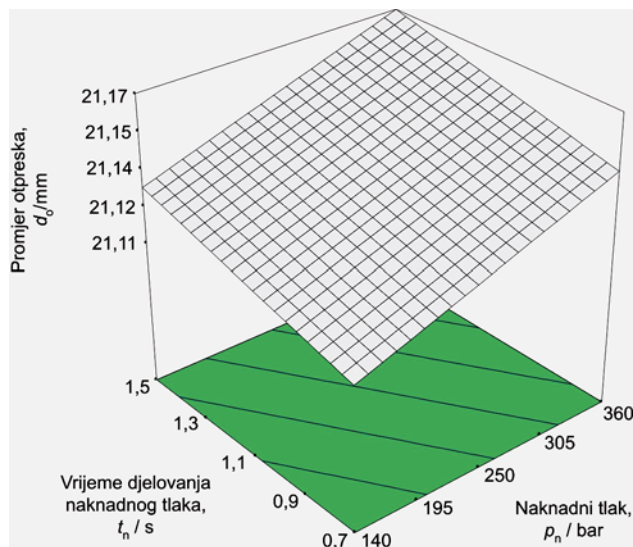
I u ovom slučaju oba faktora ( $x_1$  i  $x_2$ ) su signifikantna. Slika 5 prikazuje ovisnost promjera otpreska o promjenama naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka.

Iz slike 5 može se uočiti slično djelovanje naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na dimenziju vanjskog promjera otpreska kao i na masu otpreska, odnosno vrijednost dimenzije raste porastom oba faktora.

Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 8.

**Tablica 7** Analiza varijance za promjer otpreska  
**Table 7** Analysis of variance table – moulded part diameter

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0$
Model		$5,575 \times 10^{-3}$	2	$1,787 \times 10^{-3}$	16,44	0,0007
	$x_1$	$2,590 \times 10^{-3}$	1	$2,590 \times 10^{-3}$	23,83	0,0006
	$x_2$	$9,844 \times 10^{-4}$	1	$9,844 \times 10^{-4}$	9,06	0,0131
Ostatak		$1,087 \times 10^{-3}$	10	$1,087 \times 10^{-3}$		
	Odstupanje od modela	$6,738 \times 10^{-4}$	6	$1,123 \times 10^{-4}$	1,09	0,4902
	Greška	$4,132 \times 10^{-4}$	4	$1,033 \times 10^{-4}$		
Ukupno		$4,662 \times 10^{-3}$	12			



**Slika 5** Grafički prikaz ovisnosti promjera otpreska o visini naknadnog tlaka i vremenu djelovanja naknadnog tlaka  
**Figure 5** The dependence of the moulded part diameter on the packing pressure and packing pressure time

**Tablica 8** Pregled statističkih podataka o modelu  
**Table 8** Summary statistics about the model

Standardno odstupanje	0,01
Aritmetička sredina	21,14
Koeficijent determiniranosti	0,7668

Model za promjer otpreska može biti opisan sljedećom jednačbom:

$$y_1 = 21,14 + 0,018 \cdot x_1 + 0,011 \cdot x_2 \quad (2)$$

pri čemu je:  $x_1$  = kodirana vrijednost visine naknadnog tlaka,

$x_2$  = kodirana vrijednost vremena djelovanja naknadnog tlaka.

### 3.2.3 Utjecaj naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na tvrdoću otpreska

Influence of the packing pressure and packing pressure time on the moulded part hardness

Ispitivanje je provedeno tako da su od 7 ispitaka nasumce odabrana 3 ispitka na kojima se provodilo ispitivanje tvrdoće tako da je na svakom od odabranih ispitaka tvrdoća mjerena na tri mjesta. Time je za svaki uzorak dobiveno po 9 vrijednosti.

U tablici 9 prikazane su izračunate srednje vrijednosti tvrdoće ispitaka.

Analiza varijance za tvrdoću prikazana je u tablici 10.

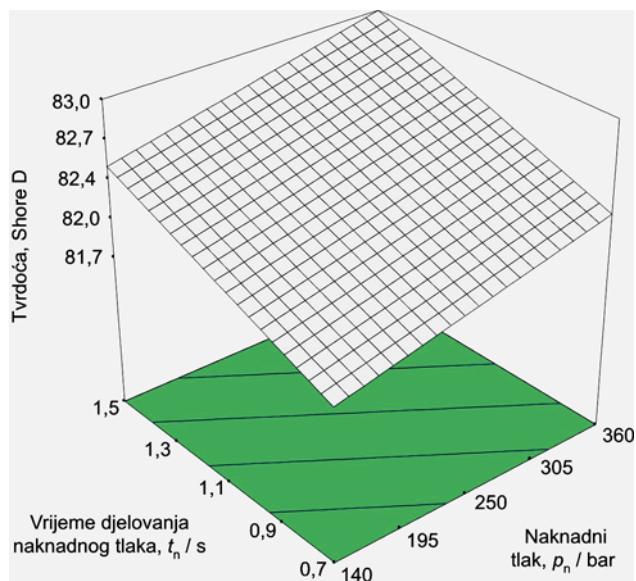
**Tablica 9** Izračunate srednje vrijednosti tvrdoće  
**Table 9** Calculated average values of hardness

Stanje	Tvrdoća, Shore D	Standardna devijacija
1	81,9	0,78
2	82,4	0,88
3	81,9	0,78
4	83,1	1,17
5	82,0	0,71
6	82,3	0,50
7	81,8	0,67
8	83,6	0,73
9	82,2	0,44
10	82,7	0,71
11	82,1	0,78
12	82,4	1,01
13	82,1	0,60

**Tablica 10** Analiza varijance za tvrdoću  
**Table 10** Analysis of variance table - hardness

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0$
Model		1,91	2	0,95	7,47	0,0104
	$x_1$	0,64	1	0,64	4,99	0,0495
	$x_2$	1,27	1	1,27	9,96	0,0102
Ostatak		1,28	10	0,13		
	Odstupanje od modela	1,04	6	0,17	2,96	0,1566
	Greška	0,23	4	0,059		
Ukupno		3,18	12			

Prikaz ovisnosti utjecaja naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na tvrdoću ispitaka prikazan je na slici 6.



Slika 6 Prikaz ovisnosti tvrdoće o visini naknadnog tlaka i vremenu djelovanja naknadnog tlaka

Figure 6 The dependence of the moulded part hardness on the packing pressure and packing pressure time

Kao i u prethodnim slučajevima, povećanje naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka povisuje tvrdoću otpresaka, iako koeficijent determiniranosti (tablica 11) pokazuje da model u potpunosti ne slijedi podatke, odnosno na tvrdoću utječu i neki drugi utjecajni faktori koji nisu obuhvaćeni ovim ispitivanjem. Osim toga, mjerenje tvrdoće nije u potpunosti izvedeno u skladu s preporukama norme za mjerenje tvrdoće HRN EN ISO 868 [5], što je vjerojatno utjecalo na rezultat. Preporuka norme je debljina stijenke ispitka veća od 4 mm, što je ispunjeno, no ostali zahtjevi na dimenzije ispitka (mjerenje tvrdoće barem 9 mm od ruba ispitka i ravna površina ispitka na dijelu koji se mjeri) nisu zadovoljeni, budući da su se ispitivanja izvodila na odabranom otpresku, a ne na ispitnim tijelima određenima normom.

Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 11.

Tablica 11 Pregled statističkih podataka o modelu  
Table 11 Summary statistics about the model

Standardno odstupanje	0,36
Aritmetička sredina	82,35
Koeficijent determiniranosti	0,5991

Model za tvrdoću otpreska može biti opisan sljedećom jednačbom:

$$y_1 = 82,35 + 0,28 \cdot x_1 + 0,40 \cdot x_2 \quad (3)$$

pri čemu je:  $x_1$  = kodirana vrijednost visine naknadnog tlaka,  $x_2$  = kodirana vrijednost vremena djelovanja naknadnog tlaka.

## 4 Zaključak Conclusion

U eksperimentalnom dijelu rada ispiti (čepovi) su vagani, mjerena je tvrdoća površine i vanjski promjer otpreska (tijela čepa). Dobiveni rezultati mjerenja obrađeni su s pomoću računala u programu *DesignExpert* čime se došlo do rezultata i modela koji pokazuju utjecaj naknadnog tlaka i vremena djelovanja naknadnog tlaka na masu, tvrdoću i dimenzije ispitaka.

Primjenom centralno kompozitnog plana pokusa dobiveni su modeli za ispitivanje mase, tvrdoće i dimenzija. Iz dobivenih rezultata uočljivo je da naknadni tlak i vrijeme njegovog djelovanja imaju najveći utjecaj na masu otpreska, odnosno podatci o masi otpreska najbolje slijede model. Istraživanje je pokazalo da je faza djelovanja naknadnog tlaka usko povezana s postizanjem odgovarajuće mase otpreska, kao i s odgovarajućom dimenzijskom stabilnošću otpreska.

Iz dobivenih rezultata uočljivo je da na masu ispitka podjednak utjecaj imaju vrijednost naknadnog tlaka i vrijeme trajanja naknadnog tlaka, dok na tvrdoću i dimenzije ispitka veći utjecaj ima vrijeme trajanja naknadnog tlaka, odnosno što je dulje vrijeme trajanja naknadnog tlaka ispitak je veće tvrdoće i većih dimenzija.

## Zahvala Acknowledgement

Rad predstavlja dio istraživanja u okviru projekta *Povišenje učinkovitosti razvoja i preradbe polimernih proizvoda* (120-1521473-1808) i programa *Brza proizvodnja – od ideje do stvarnosti* koji su financirani od strane Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske. Autori zahvaljuju Ministarstvu na financijskoj potpori.

## 5 Literatura References

- [1] Čatić, I. Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [2] Godec, D. Utjecaj hibridnog kalupa na svojstva injekcijski prešanog plastomernog otpreska, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [3] Myers, R. H., Montgomery, D. C. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995.
- [4] Del Vecchio, R. J. Understanding Design of Experiments: A Primer for Technologists, Carl Hanser Verlag, Munich, 1997.
- [5] HRN EN ISO 868:2008, Određivanje utisne tvrdoće pomoću durometra (tvrdoća prema Shoreu)

Adresa autora  
Author's Address

Mr. sc. Maja Rujnić-Sokele, dipl. ing. stroj.  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska  
e-mail: mrujnic@fsb.hr