

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Prof.Mladen Šercer

Srđan Višnić

Zagreb, 2010.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

**ZAVRŠNI RAD
KONSTRUKCIJA KALUPA ZA TOPLO
OBLIKOVANJE**

Srđan Višnić

Zagreb, 2010.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **SRĐAN VIŠNIĆ**

Mat. br.: 0035154032

Naslov: **KONSTRUKCIJA KALUPA ZA TOPLO OBLIKOVANJE**

Opis zadatka:

Ciklički postupci preradbe polimera preoblikovanjem poluproizvoda dijele se na toplo i hladno oblikovanje. Toplo oblikovanje datira još od starog Egipta, dok su se moderniji postupci počeli razvijati u 19. stoljeću. Kao poluproizvodi koriste se filmovi, folije ili ploče isječene iz ekstrudiranih ili kalandriranih trakova, te poluproizvodi nastali izravnim i posrednim prešanjem. Najvažniji parametri toplog oblikovanja su temperatura i stupanj preoblikovanja.

Kod postupaka toplog oblikovanje primjenjuju se plastomeri koji se prevode u gumasto stanje zagrijavanjem, npr. PS, ABS, PE, PP, PMMA, PVC i drugi. Postupci toplog oblikovanja dijele se na četiri skupine: savijanje, pritiskivanje, razvlačenje i mješoviti postupci.

U radu je potrebno obraditi najnovija saznanja na području toplog oblikovanja, vrste postupaka, te izabrati najbolji postupak i izraditi kalup za zadani proizvod.

Zadatak zadan:

11. prosinca 2009.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Rok predaje rada:

Prosinac 2010.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Dubravko Majetić

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Mladenu Šerceru na preuzimanju mentorstva, savjetima i sugestijama, te strpljenju tokom izrade ovog rada .

Zahvaljujem se Ani Pilipović dipl.ing. i mr. sc. Maji Rujnić-Sokele dipl.ing. na produktivnoj i ugodnoj suradnji, te usmjeravanju pri radu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na bezrezervnoj podršci i razumijevanju tijekom studija.

IZJAVA

Izjavljujem da sam Završni rad izradio samostalno koristeći navedenu literaturu, te znanje stečeno na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Srđan Višnić

SAŽETAK

Rad se bavi specifičnim područjem tehnike koje objedinjuje termodinamiku, mehaniku, automatsku regulaciju, organsku kemiju, informatiku i u okviru dodiplomskog studija predstavlja pregled stečenih znanja i vještina.

Ideja vodilja ovog rada je sagledavanje, analiziranje i strukturiranje postupaka izrade kalupa za toplo oblikovanje plastomera u cilju predstavljanja rada koji će imati konstruktivnu ulogu u akumuliranju tehničkog znanja na području polimerstva i općenito strojogradnje.

Pri tome su prikazani osnovni postupci toplog oblikovanja plastomera, osnovne skupine polimernih materijala pogodnih za toplo oblikovanje plastomera, osnovne termodinamičke veličine i pojave koje su značajne za toplo oblikovanje.

Nakon pregleda najvažnijih pretpostavki postupka bavi se tehnološkim aspektima izrade i pozicioniranja kalupa, sagledavaju se mehanizmi izmjene topline između obradka i kalupa, izrađuje se konačni model kalupa s potrebnom tehničkom dokumentacijom.

Valja naglasiti da je programski paket SolidWorks 2007 tvrtke *Dassault systemes* dostupan na FSB-u bio od velike pomoći pri izradbi ovog rada. Pružio je učinkovito okruženje za modeliranje, doradivanje, mjerenje, te izradu tehničke dokumentacije kalupa.

Razmatrani problem konstrukcije kalupa temelji se na konkretnoj potrebi poduzeća *Feroplast* za brzom i efikasnom proizvodnjom ambalaže za HDMI kabel.

SADRŽAJ

1.	UVOD	6
2.	PREGLED OSNOVNIH POSTUPAKA TOPLOG OBLIKOVANJA PLASTOMERA RAZVLAČENJEM	8
2.1.	Oblikovanje podtlakom	8
2.2.	Oblikovanje pretlakom	10
2.3.	Mehaničko oblikovanje	13
3.	VELIČINE STANJA PRI TOPLOM OBLIKOVANJU PLASTOMERA	14
3.1.	Specifični toplinski kapacitet	14
3.2.	Toplinska provodnost	16
3.3.	Toplinska difuzivnost	17
3.4.	Entalpija	19
4.	VRSTE I SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA POGODNIH ZA TOPLO OBLIKOVANJE POLIMERA	20
4.1.	Akrili	20
4.2.	Celuloidi	22
4.3.	Poliolefini	23
4.4.	Stirenski polimeri	25
4.5.	Vinilni polimeri	27
5.	KONSTRUKCIJA KALUPA	29
5.1.	Definiranje proizvoda	29
5.2.	Zahtjevi na kalup za toplo oblikovanje plastomera	30
5.2.1.	Odabir materijala kalupa	30
5.2.2.	Karakteristike kalupa	31

5.2.2.1. Provrti za odzračivanje	31
5.2.2.2. Površinska hrapavost kalupa	32
5.2.2.3. Hlađenje kalupa	32
5.2.2.4. Izrada trodimenzionalnog modela	33
5.2.2.5. Pregled karakteristika kalupa	39
6. ZAKLJUČAK	40
7. POPIS SLIKA	41
8. POPIS TABLICA	42
9. POPIS OZNAKA	43
10. LITERATURA	44
11. DODATAK	45

1. UVOD

Toplo oblikovanje plastomera je skupina tehnoloških postupaka u kojoj se pripremak grije u cilju modificiranja mehaničkih svojstava da bi materijal prešao u gumasto stanje. Omekšani materijal se potom rasteže po stijenkama kalupa. Kada se obradak ohladi na temperaturu na kojoj zadržava oblik vadi se iz kalupa. Zatim se po potrebi odstrani suvišni materijal. Riječ je o cikličkom postupku jer se izrađuje proizvod po proizvod, odnosno odjednom se izrađuje konačna količina proizvoda koja je određena kapacitetom opreme.

Valja naglasiti da je toplo oblikovanje plastomera sekundarni postupak jer pripremak dolazi u obliku poluproizvoda, tj. ploče ili folije, dakle riječ je o postupku preoblikovanja.

Prozvodnja ploča i folija spada u postupke praoblikovanja i vrši se najčešće kalandriranjem, ali primjenjuju se i postupci ekstrudiranja.

Primjena ove skupine postupaka ima snažnu tendenciju porasta iz sljedećih razloga: energijski zahtjevi su niži u odnosu na postupke prerade metalnih materijala, poglavito čelika, plastomeri su pogodni za recikliranje, proizvodi imaju malu masu i za predviđene uporabe (ambalaža, kućišta potrošačke elektronike, oplate kućanskih uređaja i unutrašnjosti vozila) zadovoljavajuću specifičnu čvrstoću, otporni su na agresivne okolišne uvjete, nisu vodiči elektriciteta i topline. Suvremeno tržište zahtjeva visoku proizvodnost u kombinaciji sa fleksibilnošću proizvodnih procesa i postupaka, te energijsku i ekološku ekonomičnost.

Proizvodi proizvedeni toplim oblikovanjem dijele se na trajne proizvode i proizvode koji se bacaju neposredno nakon uporabe (npr. ambalaža).

Tipični trajni proizvodi su: medicinski ormarići, kućišta proizvoda potrošačke elektronike, posude za transport dobara, površine konzola u vozilima, vjetrobranska stakla, rasvjetna tijela, dekorativna jezerca za vrtove, kutije za čuvanje oružja, oplate brodova, kanui, kutije za transport životinja i razne sjedalice.

Jednokratni proizvodi: ambalaža za brzu hranu, kutije za pohranu ručnih alata i opreme, kozmetičke kutijice, posude za meso i perad, plastične čaše u automatiziranim aparatima za

kavu, ambalaža za jaja (kokošja,), poslužavnici, posude u prehrambenoj industriji, medicinske potrepšine.

Proizvodi proizvedeni toplim oblikovanjem plastomera postali su vrlo rašireni u svakodnevnom životu, a svjetsko tržište toplo oblikovanih plastomera predvođeno tržištem SAD-a raste do 10 % godišnje. Polimeri su postali sastavni dio svakodnevnog života i uvelike ga olakšali krajnjem korisniku.

Područje toplog oblikovanja plastomera je vrlo propulzivno i ekonomski isplativo zbog visokog profita po toni proizvoda, ekonomičnosti proizvodnog procesa i ključne činjenice da su proizvodi rasprostranjeni u svakodnevnoj uporabi i smatraju se potrošnom robom, te su lako dostupni prosječnom potrošaču.

2. PREGLED OSNOVNIH POSTUPAKA TOPLOG OBLIKOVANJA PLASTOMERA

Toplo oblikovanje plastomera je postupak u kojem se ravna ploča plastomera grije i deformira u željeni oblik. Postupak se primjenjuje za izradu ambalaže za pakiranje potrošačkih proizvoda (hrane) i za proizvodnju velikih proizvoda kao što su kade, tende i unutrašnje obloge hladnjaka.

Toplo oblikovanje plastomera sastoji se od dva glavna koraka: od zagrijavanja i oblikovanja. Zagrijavanje se obično obavlja zračenjem električnih grijala odnosno temperirala koji se nalaze na jednoj ili obje strane plastične folije na određenoj udaljenosti koja ovisi o pojedinom postupku.

Toplim oblikovanjem plastomera najčešće se oblikuju folije i ploče PE-a, PVC-a, PA-a. Trajanje ciklusa grijanja potrebnog da bi se dovoljno omekšao obradak ovisi o polimeru, njegovoj debljini i boji. Metode kojima se ostvaruje oblikovanje može se podijeliti u sljedeće osnovne kategorije[1]:

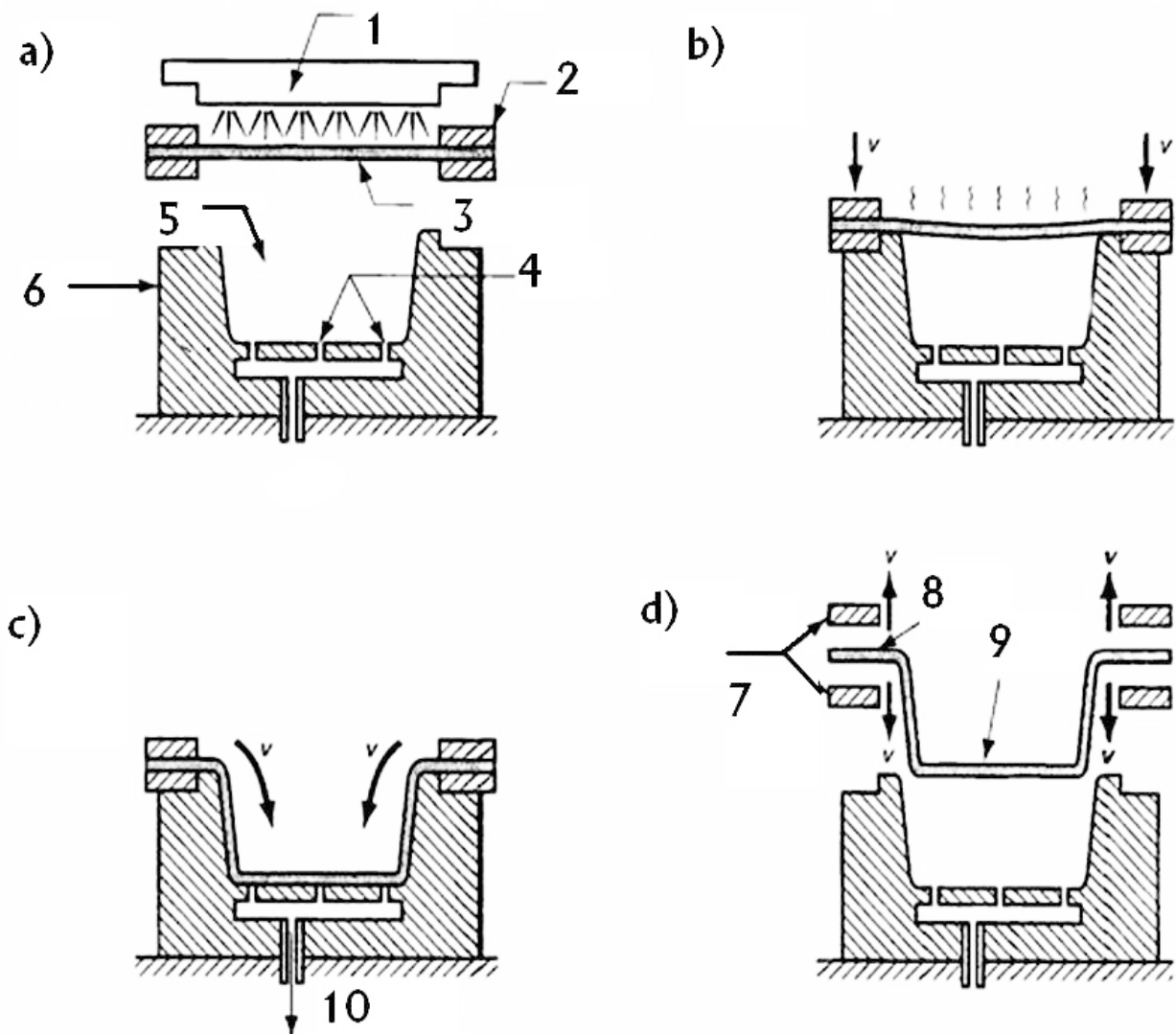
- 1.) oblikovanje savijanjem
- 2.) oblikovanje pritiskivanjem
- 3.) oblikovanje razvlačenjem
- 4.) mješoviti postupci

2.1. Oblikovanje podtlakom

Podtlak ili vakuum (tlak niži od atmosferskog) primjenjuje se da bi se ugrijani pripremak uvukao u kalup. Rupe kroz koje se isisava zrak su promjera oko 0,8 mm tako da je njihov utjecaj na kvalitetu površine izratka vrlo malen, ali znatno utječu na uspješno popunjavanje kalupa obradkom. Slika 2.1 načelno pojašnjava oblikovanje podtlakom, te osnovne stadije postupka. [1]

Kratak opis postupka prikazan je na slici 2.1:

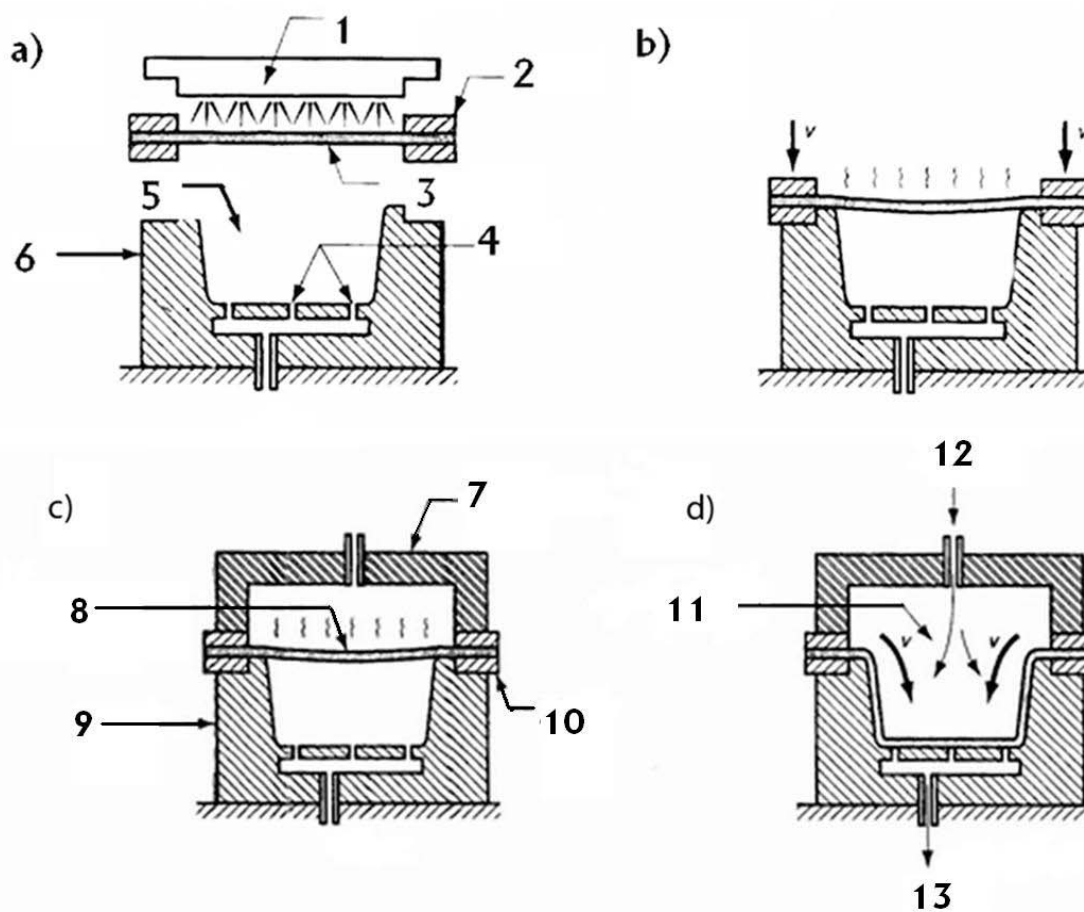
- pripremak se postavlja u čeljusti stroja i zagrijava
- pripremak se postavlja iznad kalupne šupljine
- podtlak uvlači pripremak u kalupnu šupljinu
- pripremak očvrstne u dodiru sa kalupnom šupljinom i gotov izradak se vadi iz kalupa



Slika 2.1. Shema postupka toplog oblikovanja plastomera podtlakom, 1 - grijanje zračenjem, 2 - čeljusti za prihvat priprema, 3 - pripremak, (plastomerna folija ili traka), 4 - šupljine za odzračivanje, 5 - kalupna šupljina, 6 - kalup, 7 - čeljusti otvorene, 8 - područje otiska čeljusti u izratku, 9 - izradak (plastomerna folija ili traka željenog oblika), 10 - isisavanje zraka [1]

2.2. Oblikovanje pretlakom

U postupcima se rabi pretlak (tlak viši od atmosferskog) da bi potisnuo ugrijanu i omekšanu foliju u kalup. Prednost nad oblikovanjem podtlakom je što su postizivi tlakovi upuhavanja mnogo veći od teorijski postizivog podtlaka od 1 bar pri podtlačnom oblikovanju. Uobičajeni tlakovi pri potiskivanju u kalup su od 3 do 4 bara. Razlika u odnosu na podtlačno oblikovanje je što kalup mora imati rupe i kanale za odzračivanje zraka koji je ostao zarobljen između obradka i kalupa, te kanale i sustav za dovod stlačenog zraka što je prikazano na slici 2.2. [1]

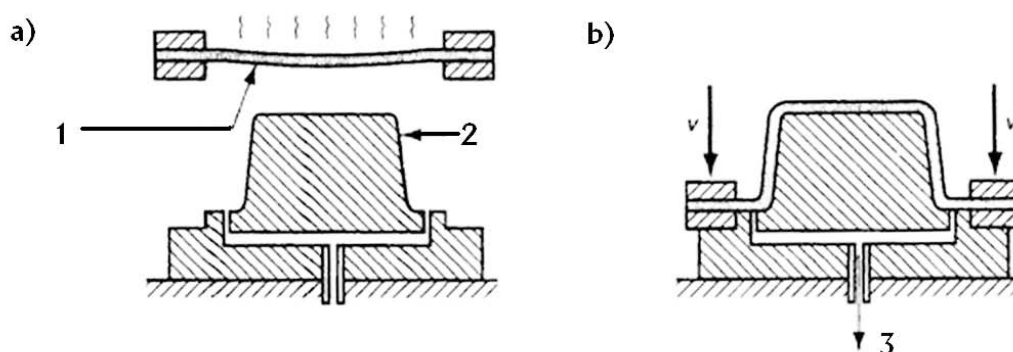


Slika 2.2. Shema postupka toplog oblikovanja plastomera pretlakom; 1 - grijanje zračenjem, 2 - čeljusti za prihvat priprema, 3 - pripremak, (plastomerna folija ili traka), 4 - šupljine za odzračivanje, 5 - kalupna šupljina, 6 - kalup, 7 - tlačni poklopac, 8 - ugrijani obradak, 9 - kalup, 10- čeljusti, 11 - struja zraka pod pretlakom (tlak i brzina), 12 - priključak za pretlak, 13 - priključak za podtlak (isisavanje preostalog zraka) [1]

Kratak opis postupka prikazanog na slici 2.2:

- a) obradak se postavlja u čeljusti stroja i zagrijava
- b) obradak se postavlja iznad kalupne šupljine
- c) pretlak potiskuje obradak u kalupnu šupljinu
- d) obradak očvrstne u dodiru s kalupnom šupljinom i gotov izradak se vadi van

Razlikuju se žigovi i matrice. Matrice prikazuju slika 2.1 i slika 2.2, osnovno obilježje im je da su konkavne. S druge strane postoje žigovi koji su konveksni i prikazani su na slici 2.3.



Slika 2.3. Skica primjera toplog oblikovanja plastomera sa žigom,
1 - zagrijani obradak, 2 - žig, 3 - priključak na podtlak [1]

Obje izvedbe primjenjuju se često pri toplom oblikovanju plastomera.

Kod pozitivnih kalupa zagrijani i omekšani obradak se razvlači preko konveksnog oblika s pomoću podtlaka ili pretlaka. Razlika između pozitivnih i negativnih kalupa može se doimati nevažnom s obzirom da su oblici izradaka identični nakon postupaka u pojedinim vrstama kalupa. Međutim ako se izradak uvlači/potiskuje u negativan kalup tada će vanjska površina izradka imati jednaku teksturu, geometrijski oblik, te tolerancije kao i stijenke kalupa.

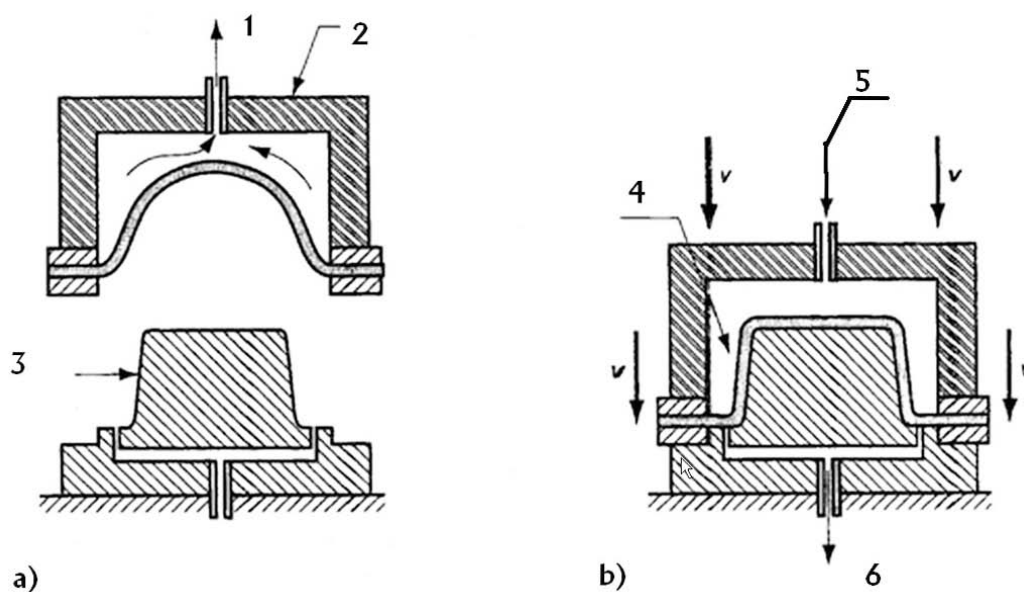
Unutarnja površina (naličje) bit će samo aproksimacija geometrije kalupa, te će imati površinske značajke polazišnog materijala odnosno priprema. Ovisno o zahtjevima na izradak, odnosno tolerancijama oblika i površinske kvalitete, ova razlika može biti značajna.

Sljedeći problem je pojava stanjivanja obratka tijekom postupka. Jedino u slučaju plitkih kalupa neće dolaziti do stanjivanja omekšanog materijala obradka tijekom uvlačenja ili razvlačenja u ili po kalupu. Pozitivni i negativni kalupi izazivaju stanjivanje obradka na različitim mjestima i

različitim intenzitetom. Izradak u obliku posude ili kade kada se izrađuje s pomoću pozitivnog kalupa zadebljava se na vrhu kalupa jer u toj zoni dolazi do vrlo blagog razvlačenja. Posljedica je debelo dno kade dok su stijenke stanjene. To može uzrokovati nejednolika mehanička svojstva i neželjeni oblik krajnjeg proizvoda (npr. ne može stabilno stajati na mjestu na predviđenim izdancima na dnu kade).

S druge strane negativan kalup uzrokuje jednoliku raspodjelu naprezanja u materijalu obradka što uzrokuje jednoliko razvlačenje materijala prije doticaja s hladnom stijenkom kalupa i jednoliku debljinu konačnog proizvoda. Jedna od metoda koja se rabi da bi stanjivanje bilo jednakomjerno raspoređeno po materijalu je predrastezanje prije navlačenja na konveksni oblik žiga.

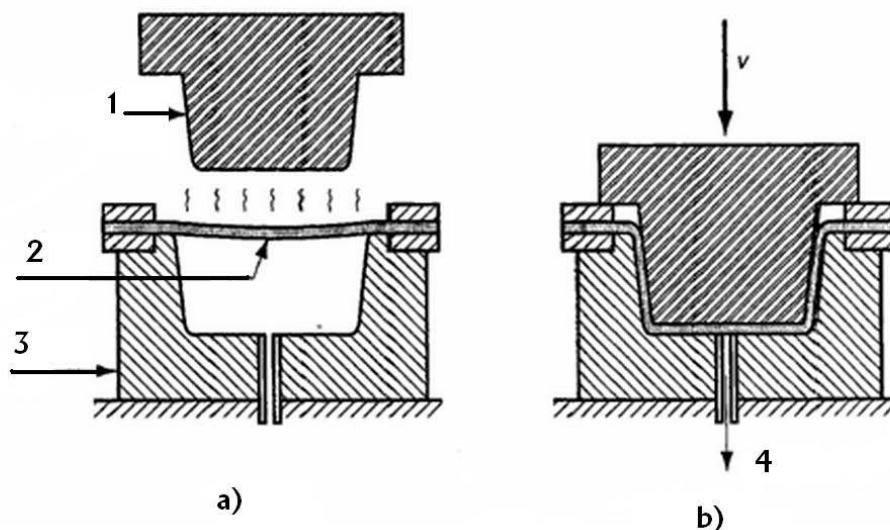
Kao što prikazuje slika 2.4 zagrijani obradak se podtlakom rasteže u sferični oblik kako bi se lakše i pravilnije razvukao preko žiga. Samo predrastezanje se primjenjuje kao zasebni postupak pri proizvodnji izradaka polukružnog oblika (npr. kućišta rasvjetnih tijela, polukuglastih prozora...) pod nazivom slobodno oblikovanje. [1]



Slika 2.4. Shema toplog oblikovanja plastomera žigom i predrastezanjem; 1 - isisavanje zraka, 2 - tlačni poklopac, 3 - žig, 4 - upuhivanje tlaka (pretlak), 5 – priključak za podtlak/pretlak, 6 - priključak za isisavanje zaostalog zraka (podtlak) [1]

2.3. Mehaničko oblikovanje

Primjenjuju se upareni žigovi i matrice kojima se pritišće zagrijani obradak da bi se postigao traženi oblik (slika 2.5). Pritisna sila uzrokuje naprezanja te prisiljava materijal da popuni matricu. Mehaničko oblikovanje je mehanička metoda oblikovanja i ne rabi se ni pretlak ni podtlak. Podtlak se primjenjuje samo u svrhu odstranjivanja zraka između kalupa i obradka. Prednosti ove metode su dimenzijska točnost, odnosno postizivost uskih tolerancija, visoka kvaliteta površine na obje strane obradka i izostanak pojave zadebljanja stijenki obradka. Glavni nedostatak ovog postupka je potreba za žigom i matricom, te oblikovalice koja mora biti dovoljno kruta da ne bi došlo do grešaka u kutnom pomaku ili rotaciji između žiga i matrice, što znatno povisuje cijenu komada izrađenog ovim postupkom. [1]



Slika 2.5. Prikaz mehaničkog toplog oblikovanja plastomera, 1 - žig, 2 - zagrijani obradak, 3 – matrica, 4 - priključak za otplinjavanje [1]

3. VELIČINE STANJA PRI TOPLOM OBLIKOVANJU PLASTOMERA

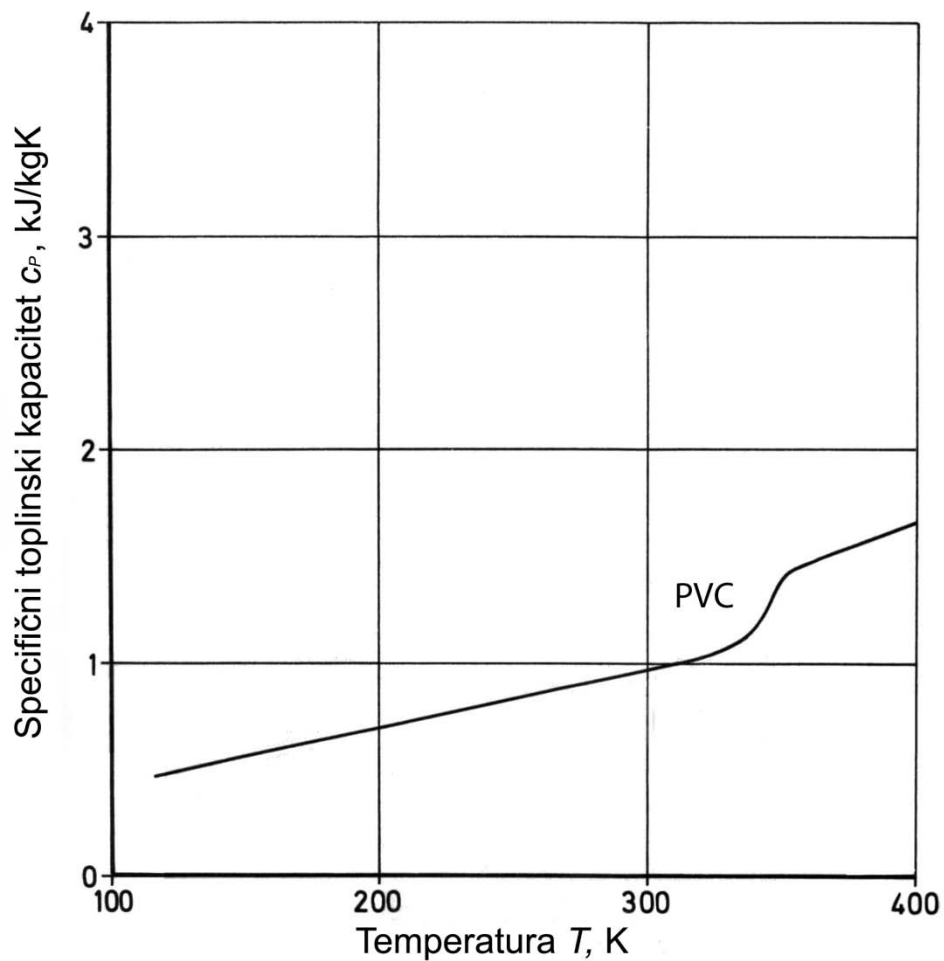
Okvir za toplinsko oblikovanje je temperaturno-vremenski raspon u kojem zagrijani plastomer postaje podatan ili deformabilan s ciljem razvlačenja i preoblikovanja u željeni oblik. U pravilu amorfni plastomeri imaju širi okvir za toplinsko oblikovanje od kristalastih. Primjer je polistiren koji se može preoblikovati između 127°C i 180 °C , s druge strane homopolimer polipropilena postaje toliko kapljevito iznad tališta od 165 °C da je okvir za toplinsko oblikovanje vrlo uzak, te širok svega nekoliko stupnjeva ispod tališta.

Pri nižoj temperaturi postaje prežilav za preoblikovanje. Primjeri ilustriraju tehničku važnost okvira za toplinsko oblikovanje plastomera za pojedinu vrstu polimera. Za uspješnu procjenu temperaturno-vremenskog raspona optimalne oblikovljivosti polimera rabe se toplinski kapacitet, toplinska provodnost, toplinska difuzivnost i promjena entalpije kao mjera izmijenjene topline. [2]

3.1. Specifični toplinski kapacitet

Termodinamički procesi u polimerima su višestruko kompleksni i zahtijevaju pomnu eksperimentalnu i statističku analizu da bi se mogli uspješno modelirati postupci i procesi preoblikovanja. Pri tome značajnu ulogu ima krivulja specifičnog toplinskog kapaciteta u ovisnosti o temperaturi, prikazana na slici 3.1. Kao što slika prikazuje ovisnost specifičnog toplinskog kapaciteta o temperaturi je često nelinearna.

Vrijednosti specifičnog toplinskog kapaciteta ovise o strukturi materijala i o temperaturi. Posebice oko temperature staklišta kod amorfni plastomera dolazi do naglih promjena u specifičnom toplinskom kapacitetu kao što prikazuje slika 3.1 .



Slika 3.1. Specifični toplinski kapacitet PVC-a [4]

Toplinski kapacitet je mjera količine energije potrebne za jedinično podizanje temperature polimera. Specifični toplinski kapacitet c_p količina je topline koju treba dovesti jedinici mase tvari da bi temperatura porasla za 1 K pri konstantnom tlaku. [3]

$$c_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\Delta H}{\Delta T} \right)_p \quad [\text{kJ/kgK}] \quad (3.1)$$

3.2. Toplinska provodnost

Toplinska provodnost je karakteristika stacionarnih uvjeta (ustaljenih u vremenu) pri kojima dolazi do prijenosa toplinske energije kroz tvar.

Toplinska provodnost λ (W/mK) je količina topline u jedinici vremena što se provodi kroz presjek tijela po jedinici duljine i Kelvinu.

Vrijednost toplinske provodnosti za organske kemikalije, uključujući polimere je u pravilu značajno niža nego za metale. Na primjer toplinska provodnost aluminijske je skoro tisuću puta viša od toplinske provodnosti polistirena.

Pri toplom oblikovanju plastomera prijenos topline odvija se kroz polimere, čija toplinska provodnost može značajno varirati od polimera do polimera i ovisi o temperaturi i tlaku. Toplinska provodnost je inače viša u čvrstom stanju nego u stanju kapljevine[3].

Toplinska provodnost nekih polimera prikazana je na slici 3.2. [1]

Furierova jednadžba toplinskog toka za beskonačno tanak sloj ploče [3]:

$$q = \frac{Q}{A} = -\lambda \frac{d\vartheta}{dx} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.2)$$

q gustoća toplinskog toka

Q toplinski tok

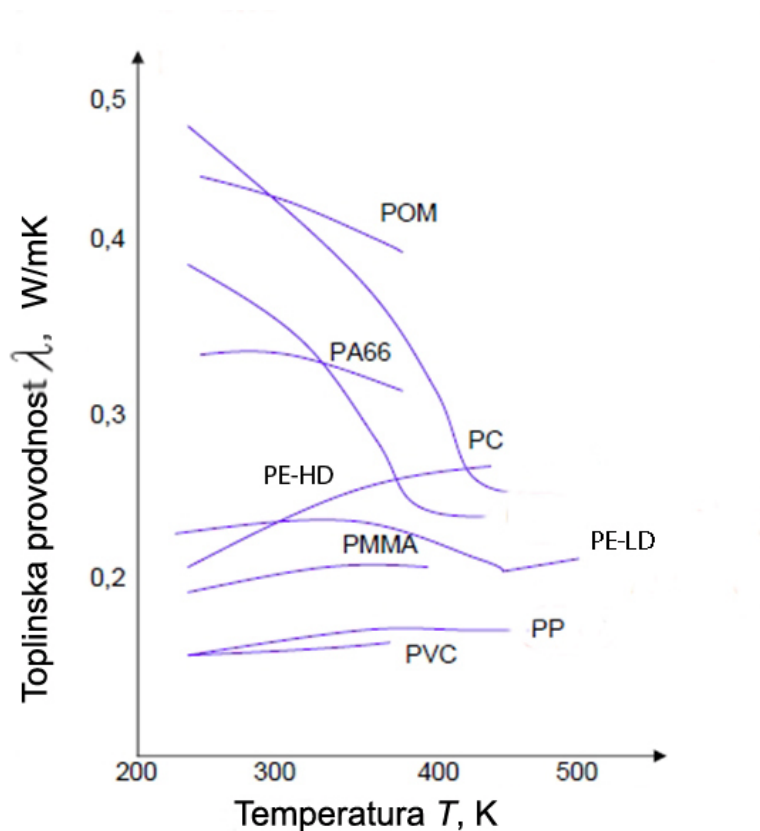
A površina okomita na smjer širenja topline

λ koeficijent toplinske provodnosti

ϑ temperatura

x debljina sloja ploče

- negativan predznak je iz razloga što se toplina širi u smjeru pada temperature



Slika 3.2. Toplinska provodnost polimera u ovisnosti o temperaturi [4]

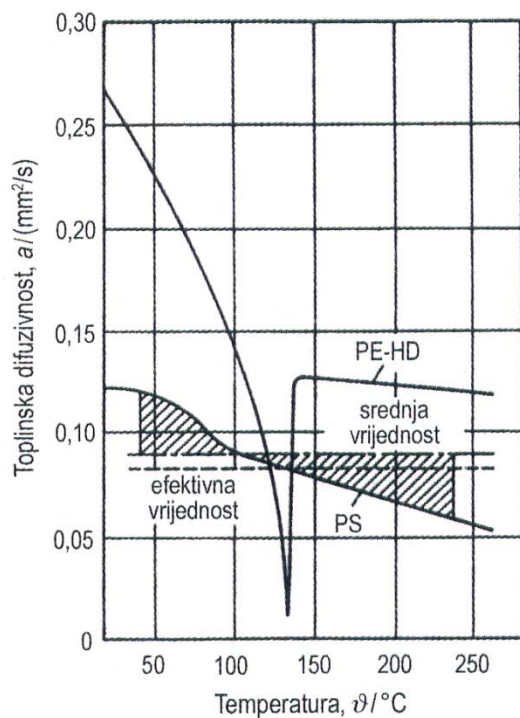
3.3. Toplinska difuzivnost

Toplinska difuzivnost je mjera prijenosa toplinske energije u tvar i iz tvari. Određuje trajanje i dinamiku temperaturnih promjena.

Toplinska difuzivnost je funkcija toplinske provodnosti, gustoće materijala i toplinskog kapaciteta materijala (slika 3.3).

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (3.3)$$

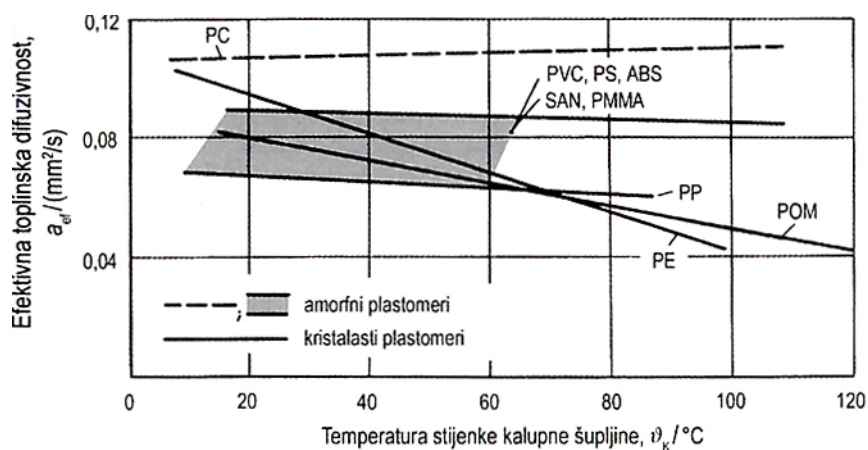
Osim toga na dinamiku prijenosa topline može utjecati temperaturna razlika toplinskog izvora i ponora [1], građa materijala (amorfni i kristalasti polimeri), sadržaj materijala (razni aditivi koji mijenjaju toplinska svojstva smjese), površina i geometrija matrice, tečenje samog materijala tijekom postupka preoblikovanja. Svi ti faktori utječu na pouzdanost proračuna i modela širenja topline.



Slika 3.3. Tijek toplinske difuzivnosti PE-HD [3]

Kvantifikacija i provjera termodinamičkih procesa u obradku, te svrsihodna modifikacija termodinamičkog modela kalupa vrlo je otežana iz jednostavnog razloga što je vrlo teško promatrati što se zbiva u samom materijalu obradka tijekom procesa i kvantificirati takve informacije. Iz tog razloga uvodi se *efektivna toplinska difuzivnost*. Određena je kao funkcija temperature kalupne šupljine.

Temperaturu kalupne šupljine odnosno kalupa je jednostavnije za mjeriti i definirati matematičkim funkcijama (pravci), a i sama dinamika efektivne toplinske difuzivnosti je jednostavnija (slika 3.5). [3]



Slika 3.4. Efektivna toplinska difuzivnost [3]

3.4. Entalpija

Entalpija je veličina stanja kojom se izražava unutarnji sadržaj toplinske energije sustava. Entalpija polimera ovisi o temperaturi i tlaku. Razlika entalpija jednaka je količini topline po jedinici količine tvari (masi ili množini).

Iako postoji povezanost između temperature i specifične entalpije, ta povezanost je višestruko kompleksna i određuje se eksperimentalno za pojedini plastomerni materijal. [3]

Diferencijalni izraz entalpije:

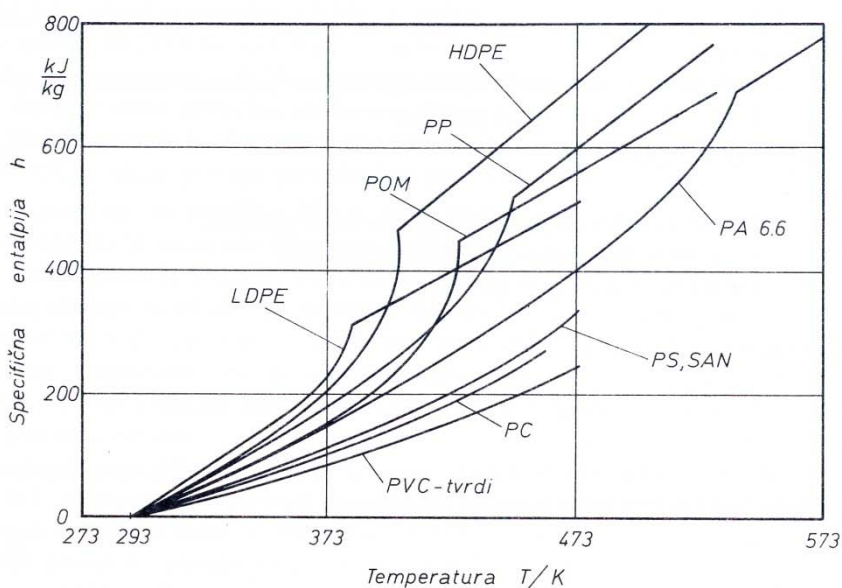
$$dq = dh - vdp \quad (3.4)$$

Integrirani diferencijalni izraz entalpije:

$$q = h_2 - h_1 - \int_{p_1}^{p_2} v dp \quad (3.5)$$

Količina topline po jedinici mase za izobarne uvjete:

$$q = h_2 - h_1 \quad (3.6)$$



Slika 3.5. Dijagram ovisnosti specifične entalpije o temperaturi za plastomere. [3]

4. VRSTE I SVOJSTVA POLIMERA POGODNIH ZA TOPLO OBLIKOVANJE POLIMERA

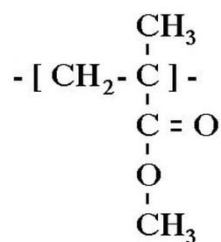
4.1. Akrili

Akrili ili poliakrilati spadaju u skupinu akrilnih smola. Proizvode se polimerizacijom estera akrilne i metakrilne kiseline. Dodaju im se modifikatori svojstava, najčešće u svrhu modificiranja mehaničkih svojstava, ponajprije krhkosti, a zatim i u cilju sniženja troškova proizvodnje. Otapaju ih aromatski i klorirani ugljikovodici.

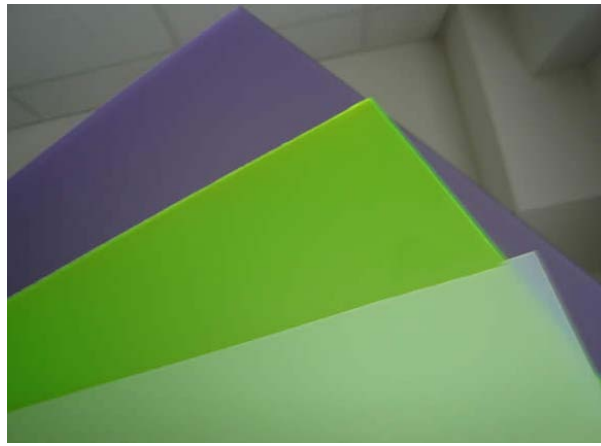
Omekšavaju između 140 °C i 175 °C. U primjeni je često akrilni plastomer poli(metil-metakrilat) (PMMA) (slika 4.1) u obliku ploča (slike 4.2 i 4.3). [5]

Najvažnija svojstva su:

- postojanost prema toplini, svjetlu, starenju
- dobra mehanička svojstva (tvrdoća, žilavost, postojanost na nastajanje ogrebotina)
- sjajna površina
- postojanost prema vodi, lužinama i slabim kiselinama
- strojna obradljivost (odvajanjem, deformiranjem u toplom stanju, ne preporučuju se za duboko vučenje)
- mogućnost preradbe lijevanjem i ekstrudiranjem.



Slika 4.1. Monomer PMMA, poli(metil-metakrilat)



Slika 4.2. Raznobojne ploče načinjene od PMMA[6]



Slika 4.3. Podloga za odlaganje u industriji od PMMA[6]

4.2. Celuloidi

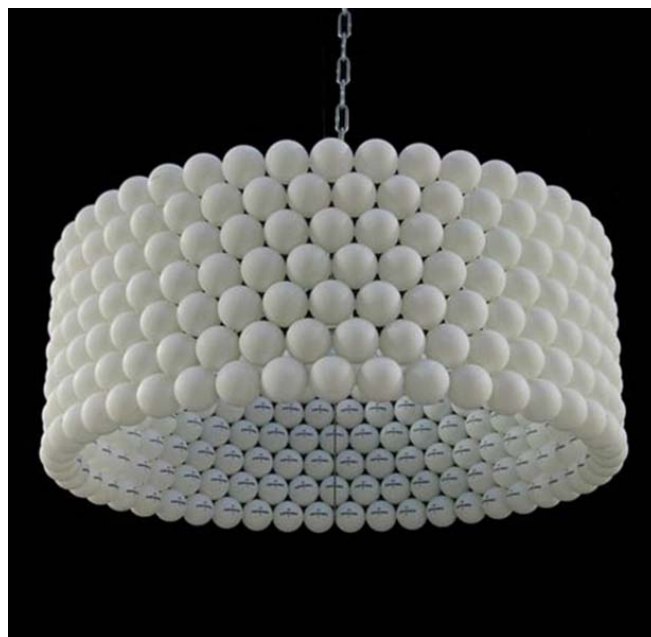
Celuloidi su prvi plastomeri, pronađeni su 1870. godine. Nastaju kemijskom reakcijom kamfora i nitroceluloze. Nitroceluloza se dobiva preradom drva i pamuka u složenim kemijskim postrojenjima velikih energijskih potreba.

Velika popularnost celuloidnih polimera u velikoserijskim proizvodima polagano je počela padati sredinom 20. stoljeća usavršavanjem ekonomičnijih načina izrade drugih vrsta polimera. Celuloidi su ostali i dalje nezamjenjivi u foto i filmskoj industriji u obliku filmskih vrpca sve do pojave i masovne primjene digitalnih medija.

Razvoj celuloidnih polimera bio je usporen zbog njihove osjetljivosti na toplinu i svjetlo stoga su tek nakon razvoja načina trajnog modificiranja i upravljanja svojstvima aditivima našli široku primjenu. Celuloidima se dodaju plastifikatori, bojila, pigmenti i stabilizatori kemijskih svojstava. Proizvodi opće potrošnje koji se i danas proizvode od celuloida su loptice za stolni tenis (slika 4.4) i trzalice za gitaru (slika 4.5) [3, 5]

Najvažnija svojstva su:

- žilavost, tvrdoća (u okviru polimernih materijala)
- transparentnost
- osjetljivost na toplinu i svjetlo ako su bez dodataka (zapaljivi)
- pogodnost za postupke vučenja.



Slika 4.4. Loptice za stolni tenis [7]



Slika 4.5. Trzalice za gitaru [8]

4.3. Poliolefini

Poliolefin je polimer proizveden od jednostavnog olefina kao monomer. Olefini se još nazivaju i alkeni, a općenita formula je C_nH_{2n} .

Alkeni su aciklički nezasićeni ugljikovodici koji u molekuli pored jednostrukih imaju i dvostruke kovalentne veze između atoma ugljika.

Fizička svojstva, odnosno agregatno stanje značajno ovise o broju i rasporedu atoma ugljika u molekuli. Tako su alkeni s 2 do 4 ugljikova atoma u molekuli plinovi, 5 do 17 ugljikovih atoma kapljevine, a s više od 17 ugljikovih atoma u molekuli krutine. Najčešći monomeri koji se dodaju su propilen, buten, eten...

Vrelište im raste s porastom relativne molekulne mase, a pada s većim stupnjem razgranatosti lanca. Slabo se otapaju u vodi odnosno organskim otapalima (osim ako se ne zagrijevaju), ali može doći do pojave bubrenja. Iako materijal kemijski ne reagira sa vodom zadržava ju u prazninama ispod površine. Najzastupljeniji poliolefini su polietilen (PE) i polipropilen (PP).

Poliolefini često nalaze primjenu u proizvodnji ambalaže (slika 4.6 i 4.8), ali svakodnevno se pronalaze i nove primjene kao npr. u automobilske industriji (slika 4.7) [3,5]

Najvažnija svojstva su:

- žilavost izraženija od krutosti (postojanost na udarna opterećenja izratka)
- za toplo oblikovanje podesniji su poliolefini visoke molekulske mase
- toplinska provodnost je veća nego kod drugih polimernih materijala (toplinska provodnost PE-LD je do tri puta veća od PP)
- visoke temperature preoblikovanja
- zahtjevaju postojanost na trošenje površine kalupa
- svojstva poliolefina se modificiraju kopolimerima ovisno o primjeni (ionomeri, polialomeri, polimetilpenten, etilenvinil-acetat)
- pogodnost za recikliranje.



Slika 4.6. Ambalaža prehrambenog proizvoda načinjena od poliolefina [9]



Slika 4.7. Bočnica i dio odbojnika BMW-a X5 (E70) koji je u proizvodnji od 2006. [10]



Slika 4.8. Ambalaža prehrambenog proizvoda načinjena od poliolefina [11]

4.4. Stirenski polimeri

Stiren je organski kemijski spoj koji spada u aromatske ugljikovodike. Češće korišteni ostali nazivi za stiren su vinil-benzen, fenilen, feniletan, cinamen, stirol...

Kemijska formula stirena je $C_6H_5CH=CH_2$. Pri normalnim uvjetima stiren je uljasta kapljevina, slatkastog mirisa koja lako isparava.

Najzastupljeniji predstavnik stirenskih polimera je polistiren (PS), primjenjuje se u postupcima toplog oblikovanja plastomera. Polistiren je aromatski plastomer izrađen od monomera stirena. Najpoznatija primjena polistirena je za izradu ambalaže za CD-e (slika 4.9), te za izradu čaša (slika 4.10) i kuhinjskog posuđa (slika 4.11). [3, 5]

Najvažnija svojstva polistirena su:

- prozvidnost pri standardnim uvjetima
- visoka čvrstoća i tvrdoća u odnosu na druge polimerne materijale
- dobra izolacijska svojstva (toplina, elektricitet)
- niska žilavost
- nizak toplinski kapacitet
- nepostojanost na utjecaj ultraljubičastih zraka (posebice dvoosno orijentirani polistiren (PS-O) i pjenasti polistiren)
- postojanost na vlagu
- pogodnost za recikliranje.



Slika 4.9. Čaše načinjene toplim oblikovanjem PS-a [12]



Slika 4.10. Dekorativni tanjuri načinjeni od PS-a [12]

4.5. Vinilni polimeri

Vinilni polimeri podrazumijevaju skupinu spojeva dobivenu polimerizacijom spojeva vinila s dodatkom drugih spojeva kao na primjer acetata, stirena. Najčešći vinilni polimer je poli(vinil-klorid) ili PVC (slika 4.12). Najstariji je i više od 70 godina jedan od najvažnijih polimera na kojeg otpada 20 % ukupne svjetske proizvodnje polimera. PVC je tvrd i otporan homopolimer nastao polimerizacijom vinil-klorida [CH₂CHCl].

Proizvodi se postupkom suspenzijske polimerizacije pri kojem ukapljeni vinil-klorid dispergira u demineraliziranoj vodi i polimerizira s pomoću inicijatora polimerizacije uz dodatak sredstva za održavanja stabilnosti suspenzije.

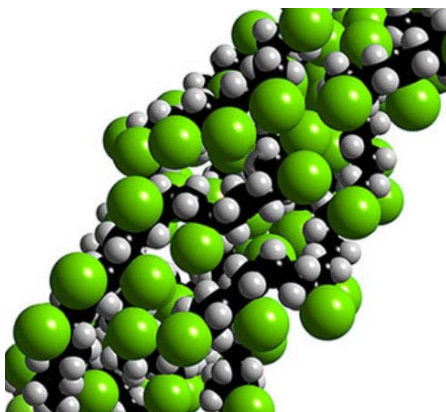
Reakcija se izvodi i regulira u složenim kemijskim postrojenjima pri temperaturi od 55 do 75 °C i tlaku od 7 do 13 bara, te traje od 4 do 7 sati.

Valja naglasiti da su nusproizvodi proizvodnje PVC-a dioksini koji su vrlo pogubni za okoliš te za žive organizme, te predstavljaju ekološki problem i kočje proizvodnju i razvoj PVC-a.

Visoke je žilavosti, postojan je na utjecaje vode i najagresivnijih kemikalija, te sporo gori pri čemu se oslobađa gusti crni dim. [3, 5]

Najvažnija svojstva PVC-a su:

- mehanička čvrstoća (visoka tvrdoća i žilavost)
- odlična postojanost na agresivne medije (kiseline, lužine) i vodu
- postojanost na UV zračenje (duga izloženost UV zračenju uzrokuje starenje i gubitak svojstava)
- mogućnost spajanja lijepljenjem
- pogodnost za toplo oblikovanje plastomera
- izolacijska svojstva (topline i elektriciteta)
- mogućnost upravljanja svojstava dodavanjem dodataka
- pogodnost za recikliranje.



Slika 4.11. Molekulna struktura PVC-a [13]



Slika 4.12. PVC ambalaža [14]



Slika 4.13. PVC posuda [15]

5. KONSTRUKCIJA KALUPA

5.1. Definiranje proizvoda

Proizvod koji je potrebno izraditi postupkom toplog oblikovanja plastomera je ambalaža za HDMI kabel. U ovom slučaju ambalaža ispunjava sve osnovne funkcije ambalaže.

Ambalaža sadržava proizvod i omogućuje njegovo izlaganje na stalcima u prodavaonicama, štiti proizvod od prljavštine i štetnih utjecaja okoline, zatim omogućava komunikaciju jer kupac vidi proizvod kroz prozirnu stijenku ambalaže. Ambalaža se izrađuje iz folija poli(vinil-klorid)-a ili alternativno iz folija poli(etilen-tereftalat)-a.

Približna masa gotovog proizvoda je 0,03 kg .

Izmjere vanjskih ploha proizvoda (proizvod u sklopljenom položaju) su ujedno i izmjere kalupa za toplo oblikovanje. Potrebno je obratiti pozornost na dimenzijsku točnost gotovog proizvoda zbog ostvarivanja prijelaznog dosjeda na pojedinim plohama čime je omogućeno da ambalaža ostaje zatvorena.



Slika 5.1. Ambalaža HDMI kabela

5.2. Zahtjevi na kalup

Zahtjevi na kalup definiraju se ovisno o postupku toplog oblikovanja, zahtjeva proizvodnosti, svojstvima proizvodne opreme (oblikovalice) i specifičnostima proizvodnog pogona.

Osnovni zahtjevi na kalup navedeni su u tablici 5.1 .

Tablica 5.1. Zahtjevi na kalup

Naziv kalupa:	SV2010
Vrsta kalupa:	kalup za toplo podtlačno oblikovanje plastomera
Veličina serije:	1500 komada
Trajanje jednog ciklusa:	od 40 do 90 s
Materijal priprema:	PET - poli(etilen-tereftalat) PVC - poli(vinil-klorid)
Oblik priprema:	folija dimenzija 400x200x0,5 mm
Predviđena trajnost kalupa:	120 000 ciklusa
Način učvršćenja za oblikovalicu:	vijcima M10
Brtvljenje:	silikonskom brtvom

5.2.1. Odabir materijala kalupa

Uobičajeno korišteni materijali za kalupe odnosno matrice i žigove pri postupcima toplog oblikovanja plastomera su: aluminij, avionski aluminij, čelici i legure nikla.

Materijal uvelike određuje svojstva kalupa i dinamiku ciklusa proizvodnje, čak neovisno od konstrukcijske izvedbe, te cijenu jediničnog proizvoda. Za kalup SV2010 odabran je aluminij Al 99.5 (A 356.2) čija su svojstva navedena u tablici 5.2 .

Aluminij je odabran zbog male mase, velike specifične čvrstoće (u odnosu na masu), pristupačnosti, livljivosti, pogodnosti za obradu odvajanjem čestica, zavarljivosti i povoljne toplinske provodnosti, te postojanosti ka progresivnoj koroziji.

Neki od nedostataka aluminijske su malena postiziva tvrdoća površine, osjetljivost na lužine i toplinske dilatacije. [2]

Tablica 5.2. Svojstva materijala kalupa

Svojstvo	Oznaka	Vrijednost	Jedinica
Rastezna čvrstoća	R_m	od 90 do 120	N/mm^2
Tvrdoća	HB	od 24 do 32	HB
Toplinska provodnost	λ_{Al}	229	$W/(m K)$ pri 20 °C
Gustoća	ρ	2 700	kg/m^3
Specifični toplinski kapacitet	c_p	0,896	$kJ/(kg K)$

5.2.2. Karakteristike kalupa

U sljedećim poglavljima navedene su karakteristike kalupa za toplo oblikovanje.

5.2.2.1. Provrti za odzračivanje

Svi kalupi za toplo oblikovanje plastomera moraju imati odgovarajuće sustave za evakuaciju (isisavanje) zraka između kalupa i obradka. U protivnom je moguća pojava džepova zraka između obradka i kalupa koji uzrokuju nepravilnosti odnosno dimenzijska odstupanja izradka.

Sustav odzračivanja sastoji se od provrta izbušenih od radne površine kalupa prema van, provrti su povezani kanalima koji se spajaju u komore, a komore su vodovima priključene na podtlačnu crpku.

Provrta se obično postavljaju na kutovima vodoravnih i okomitih površina unutar kalupa, budući da zagrijani polimer u gumastom stanju upravo najteže popunjava ta mjesta. Vodilja prilikom dimenzioniranja provrta za odzračivanje je debljina folije priprema. Promjer provrta treba načelno biti manji ili jednak debljini priprema jer u protivnom polimer ulazi u provrte i na izratku se vide nepravilnosti na površini.

Skлонost ovoj pojavi će biti povećana pri tanjim folijama veće viskoznosti. Treba spomenuti i problematiku bušenja dubokih provrta malog promjera pri čemu nerijetko dolazi do čestih lomova svrdla. Tako da se često buše provrti i većeg promjera od debljine folije iz tehničkih razloga jer je ili nemoguće ili vrlo skupo bušiti duboke provrte malih promjera posebice u aluminiju.

Odabran je promjer provrta za odzračivanje od 0,5 mm budući da je folija debljine 0,5 mm.[2]

5.2.2.2. Površinska hrapavost kalupa

Pri postupcima toplog oblikovanja plastomera podtlakom najčešći je slučaj da plastična folija obratka tijekom postupka ne poprima finu površinsku hrapavost kalupa. Uzrok je niski postizivi tlak uvlačenja obratka u kalupnu šupljinu (maksimalno 1 bar), te gumasto stanje polimera.

Površina obratka neće poprimiti neravnine kalupa ako su one manje od 50 μm , međutim kada obradak koji je sjajne površine (izrađen postupkom kalandriranja) dotakne površinu kalupa s neravninama većim od 50 μm dolazi do povećanja površinske hrapavosti inače sjajnog obradka.

U pravilu je ta pojava pri izradbi ambalaže (kao u konkretnom slučaju) manje važna, no u slučaju da je od većeg značaja maloserijski proizvodi se poliraju ili se prelazi na postupke slobodnog oblikovanja pretlakom u slučaju većih serija. [2]

Odabrana je površinska hrapavost kalupne šupljine N12 (50 μm) uz pjeskarenje površine kalupne šupljine.

5.2.2.3. Hlađenje kalupa

Hlađenje kalupa je kompleksna pojava koja jako utječe na proizvodnost. Izmjena toplinskog toka s okolinom i obratkom odvija se provođenjem, konvekcijom i zračenjem. Provođenje se odvija kroz sam kalup. S obzirom da je načinjen od aluminija koji vrlo dobro provodi toplinu ovaj oblik izmjene topline nije zanemariv.

Za poboljšanje provođenja topline rabe se temperirala. Temperirala podrazumijevaju mrežu kanala unutar kalupa kroz koje turbulentno struji rashladno sredstvo. U idealnom slučaju kanali za hlađenje bi trebali biti postavljeni neposredno ispod površine kalupa. Takva izvedba bi

pružala najviše mogućnosti pri upravljanju prijenosom topline. Najvažniji nedostatak takve izvedbe je kompleksnost izrade kalupa i eventualna uporaba nestandardnih postupaka obrade, te neminovno povišenje troškova proizvodnje kalupa. U cilju pojednostavljenja izvedbe temperirala se instaliraju između kalupa i stola oblikovalice. S obzirom na vrlo dobru toplinsku provodnost aluminijski kalup minimalno utječe na iskoristivost temperirala, a ujedno čini instalaciju i izvedbu jednostavnijom.

U konkretnom slučaju za kalup SV2010 ne primjenjuju se metode prisilnog odvođenja topline temperiranjem ili prisilnom konvekcijom. Temperiranje se ne primjenjuje iz razloga što izvedba bez temperirala pruža zadovoljavajuću proizvodnost, a osim toga snižava troškove i pojednostavljuje izvedbu, te smanjuje vjerojatnost kvara sustava.

Osim provođenjem, kalup se hladi i konvekcijom. U konkretnom slučaju okolni atmosferski zrak preuzima toplinski tok slobodnom konvekcijom. Eventualna instalacija puhalo bi bitno pospješila izmjenu topline prisilnom konvekcijom.

Nadalje, toplinski tok se prenosi i zračenjem. Bočnice kalupa su obično otvorene prema okolnim ploham radnog prostora oblikovalice koji se tokom rada zagrijava tako da je efekt hlađenja zračenjem relativno malen. [2]

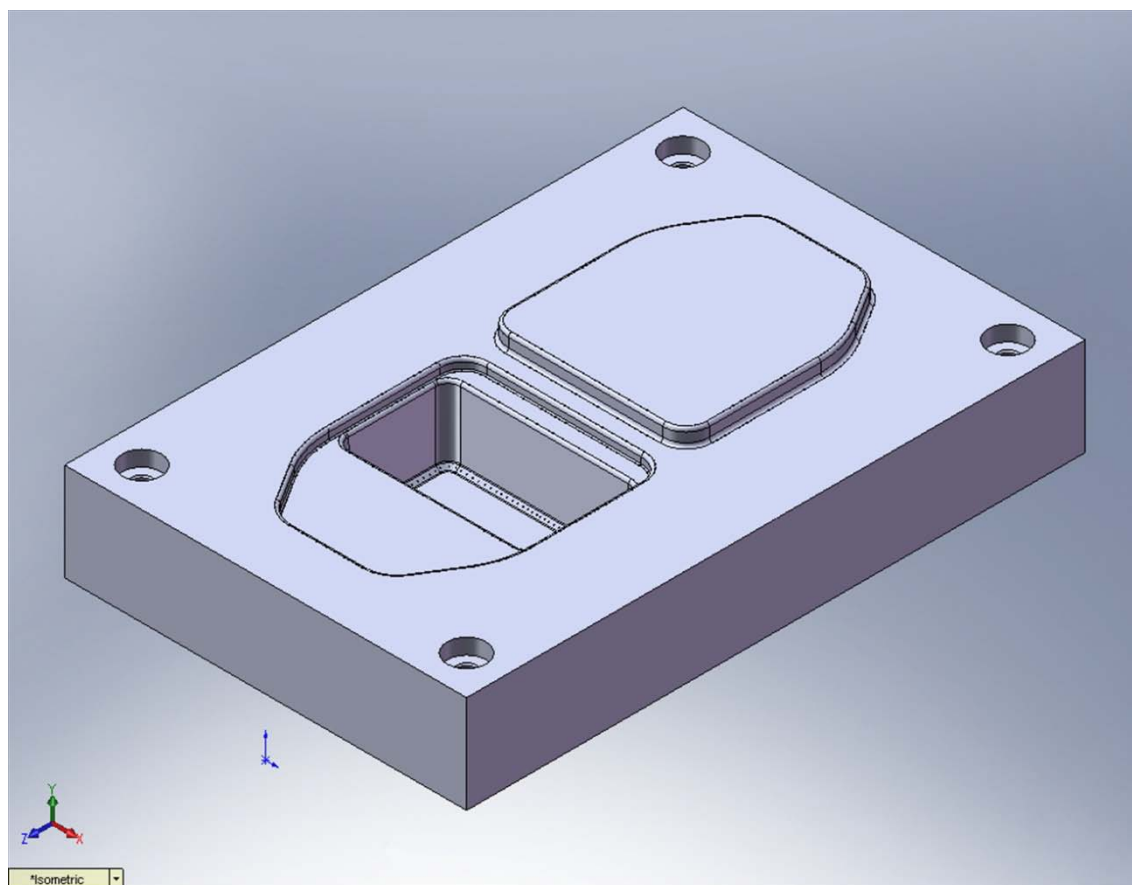
Prema svemu navedenom, može se zaključiti kako nisu potrebni dodatni sustavi za pospješivanje izmjene topline, no u slučaju javljanja potrebe za intenzivnijom izmjenom topline preporuča se ugradnja puhalo, a potom i temperiranje kalupa.

5.2.2.4. Izrada trodimenzionalnog modela

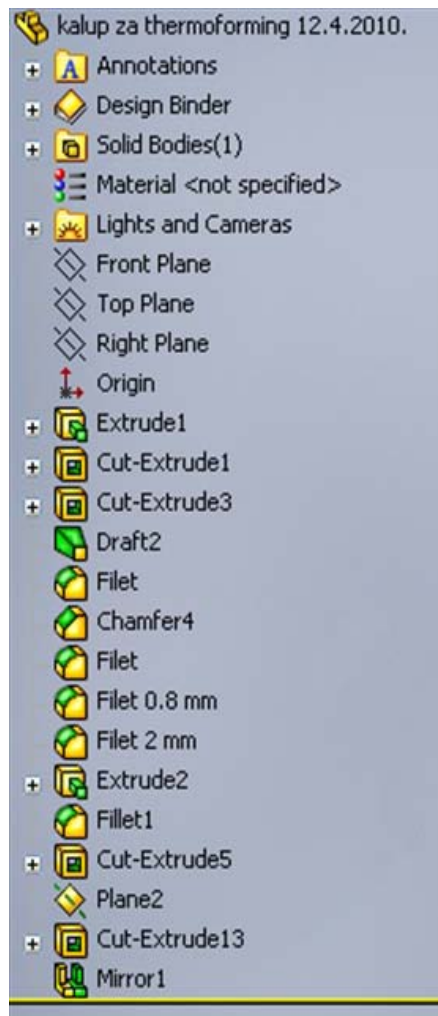
Model kalupa (slika 5.2.) izrađen je u programskom paketu *SolidWorks 2007* tvrtke *Dassault systems*. Model se u osnovi sastoji od virtualnih geometrijskih tijela (kugla, kvadar, stožac..) nad kojima se mogu izvoditi različite operacije (dodavanje, odstranjivanje, zaobljenja, skošenja, međusobni odnosi...) koji potom postaju značajke.

Značajke se kronološki zapisuju u stablu značajki (slika 5.3) i u svakom trenutku se mogu modificirati ili eventualno suspendirati.

Više značajki tvori model određenog strojnog dijela, u ovom slučaju kalupa. Također je moguće izmjeriti volumen, površinu, masu, težište, te statičke momente inercije modela (slika 5.4.).



Slika 5.2. Kalup za toplo oblikovanje plastomera (dovršen model)



Slika 5.3. „Stablo“ značajki

```

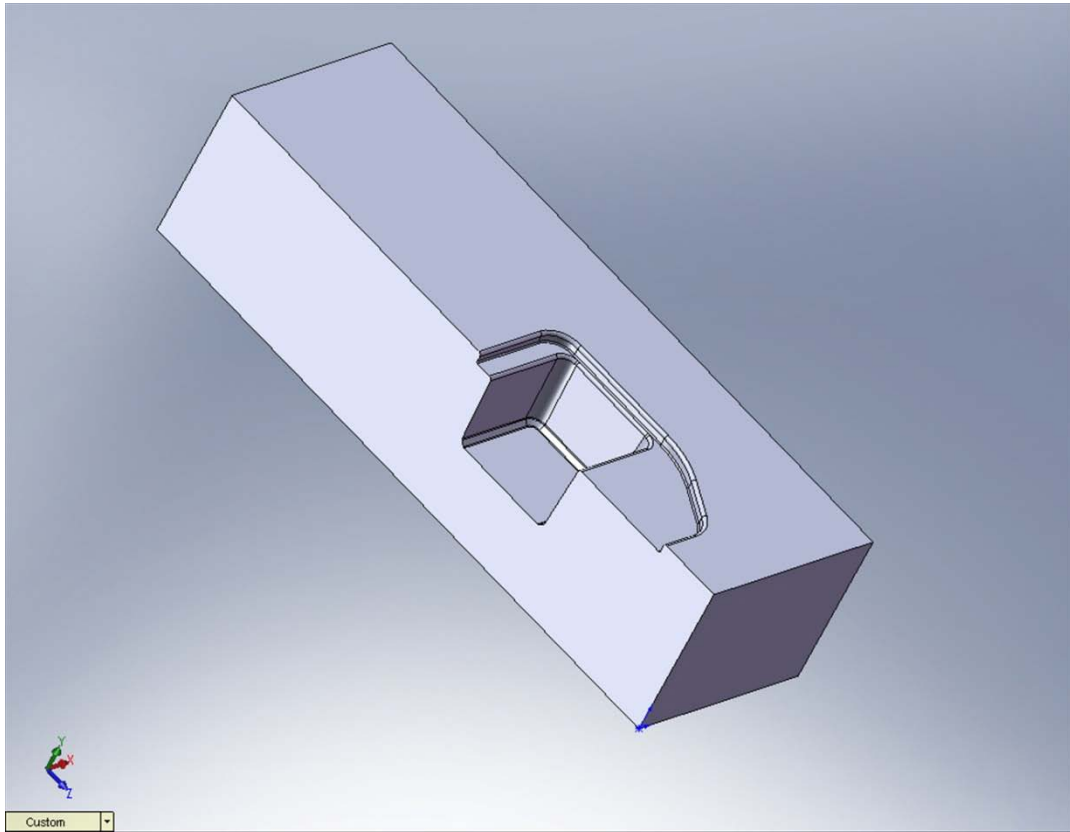
Output coordinate System: -- default --
Density = 2700 grams per cubic millimeter
Mass = 16 652 grams
Volume = 6167766.17 cubic millimeters
Surface area = 402766.08 millimeters^2

Center of mass: ( millimeters )
  X = -0.00
  Y = 68.81
  Z = -207.44

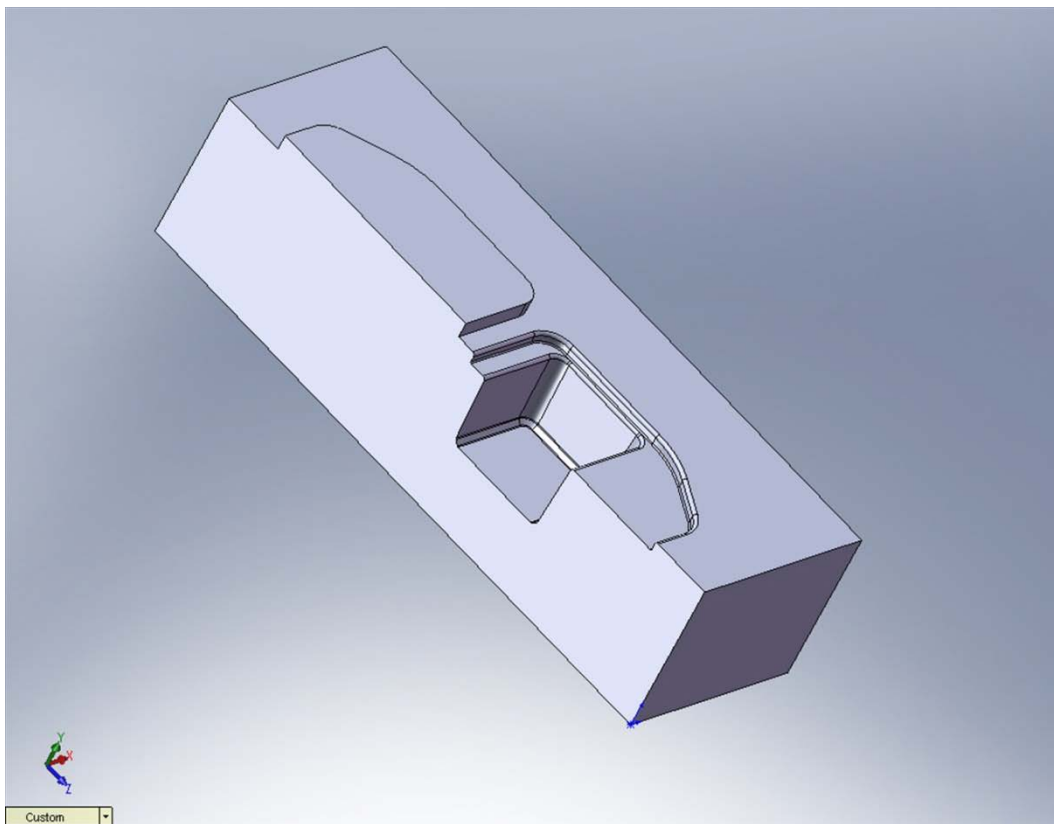
```

Slika 5.4. Podaci o modelu

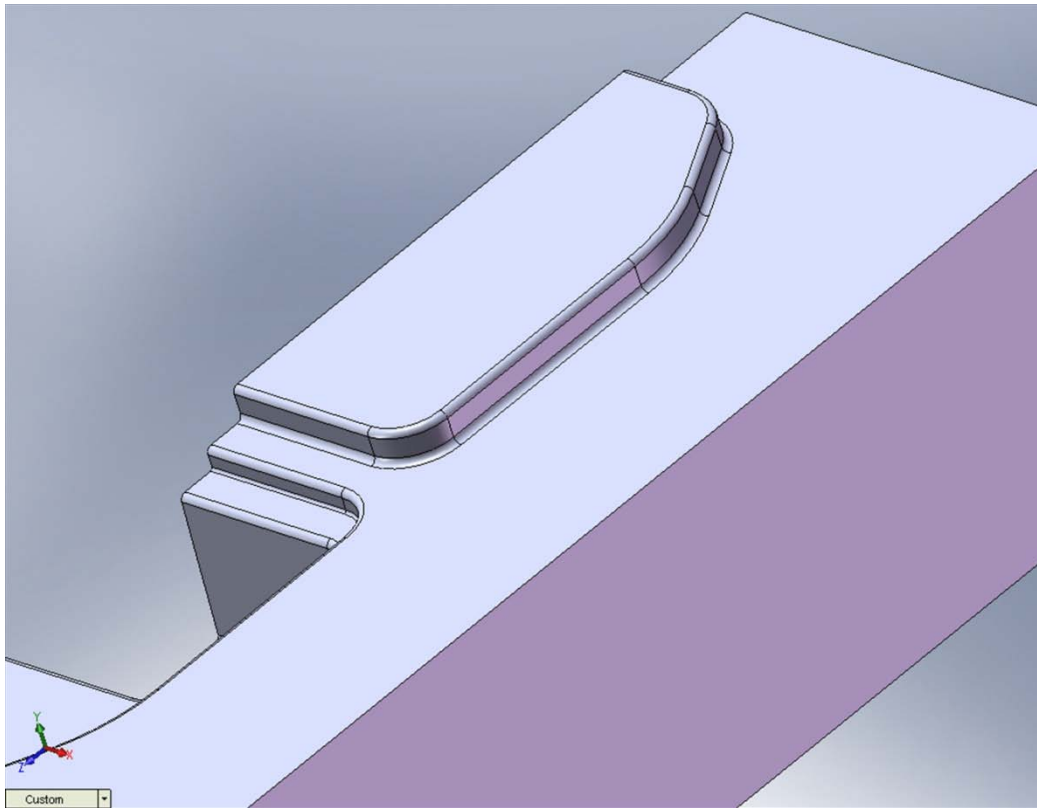
Na sljedećim slikama (slike 5.5 do 5.10) prikazane su slike najvažnijih faza izrade modela kalupa za toplo oblikovanje plastomera prema redoslijedu izrade modela.



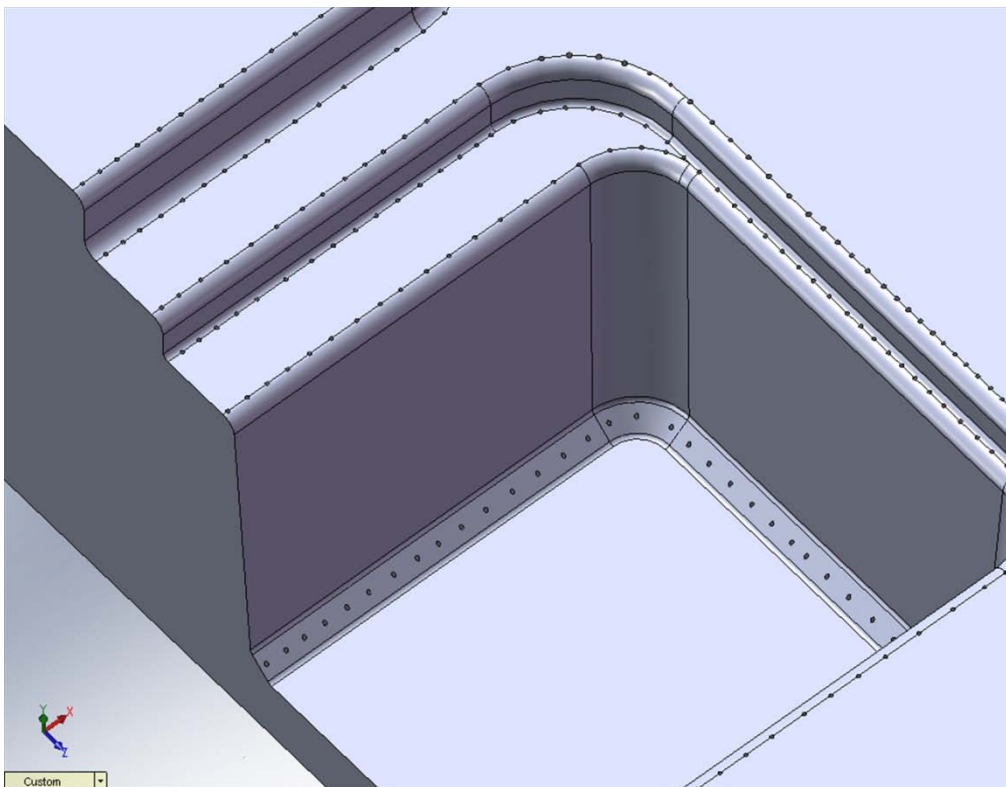
Slika 5.5. Model kalupa za TO



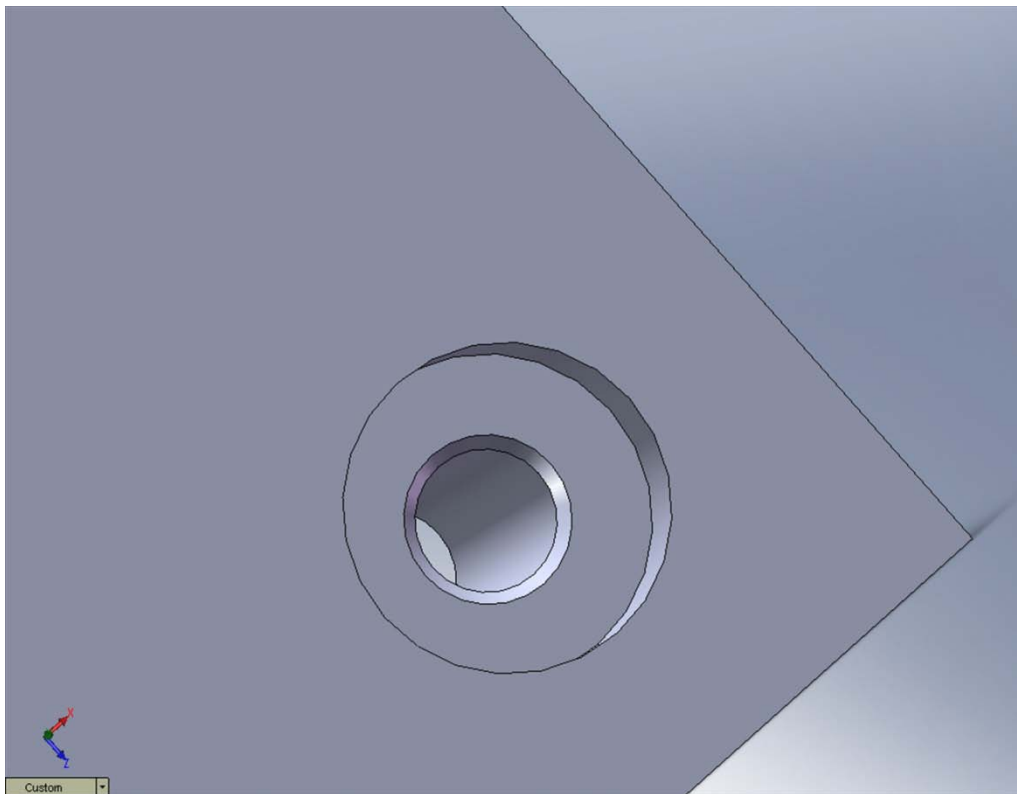
Slika 5.6. Model kalupa za TO



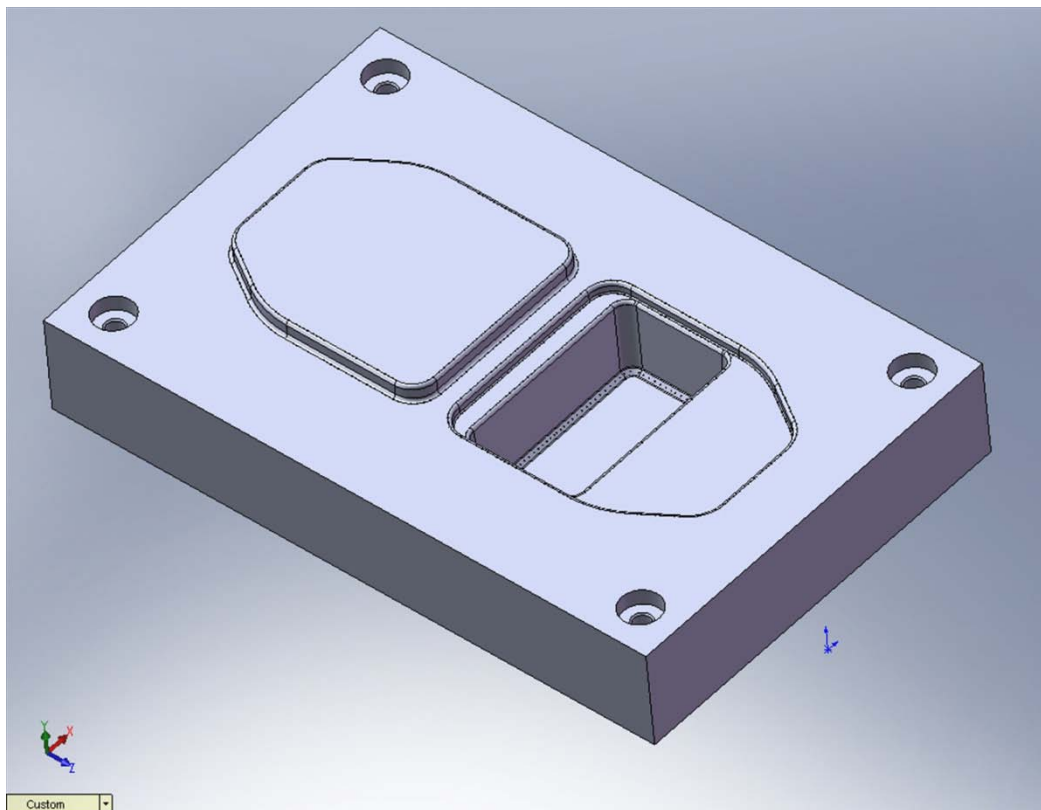
Slika 5.7. Model kalupa za TO - zaobljenja bridova



Slika 5.8. Model kalupa za TO - izradba provrta za odzračivanje



Slika 5.9. Model kalupa za TO - izradba provrta za pričvrščivanje kalupa za oblikovalicu



Slika 5.10. Završni model kalupa za TO

5.2.2.5. Pregled karakteristika kalupa

U tablici 5.3. naveden je pregled najvažnijih karakteristika kalupa za toplo oblikovanje.

5.3. Tablica karakteristika kalupa

KARAKTERISTIKA KALUPA	VRIJEDNOST
Materijal kalupa:	AL 99.5
Promjer provrta za odzračivanje:	D = 0,5 mm
Površinska hrapavost kalupne šupljine:	N 12 (50 μ m)
Stanje površine kalupne šupljine:	pjeskareno
Hlađenje kalupa:	bez sustava za pospješivanje izmjene topline
Masa kalupa:	16,652 kg
Volumen kalupa:	0,00616 m ³
Površina kalupa:	0,40276 m ²
Glavne izmjere kalupa:	400x260x73 mm
Pričvrzne točke:	4 točke, vijcima M10

6. ZAKLJUČAK

Nakon praktičnog upoznavanja s pojavama pri postupku toplog oblikovanja polimera u pogonu za toplo oblikovanje, načinio se načelni pregled postupaka toplog oblikovanja, te kratki osvrt na veličine stanja koje su važne za postupak. Načinjen je i pregled najvažnijih skupina polimera koji se preoblikuju postupkom toplog oblikovanja. Pritom su navedeni primjeri gotovih proizvoda kako bi se pokazalo koliko se u svakodnevnom životu primjenjuju proizvodi načinjeni toplim oblikovanjem.

Toplo oblikovanje plastomera je jedan od mnogih postupaka masovne proizvodnje koji su omogućili povoljne, pouzdane, široko raspoložive proizvode posebno prilagođene sa stajališta dizajna, karakteristika materijala, ekologije, energetike za točno one primjene u kojima će se rabiti. Samo neki od primjera su dijelovi unutrašnjosti osobnih i gospodarskih vozila, letjelica, dijelovi namještaja i rasvjetnih tijela u stambenim prostorima, te ambalaža za prehrambene i ostale proizvode široke potrošnje.

Tijekom konstruiranja kalupa za toplo oblikovanje uzele su se u obzir i analizirale fizikalne pojave koje se javljaju tijekom postupka toplog oblikovanja. Programski paket *SolidWorks* je omogućio intuitivno građenje modela koji sadrži veliku količinu informacija o površini i geometriji, te omogućuje mjerenje karakteristika kalupa.

Kalup je konstruiran prema pogonskim potrebama i naputcima iz literature. Dosadašnji rad predstavlja osnovu koju bi valjalo obogatiti termodinamičkim modelom koji bi opisao procese izmjene topline i pružio analitičku osnovu za razvoj sličnih kalupa.

Osim termodinamičkih procesa predviđena je i analiza naprezanja u pogonskim uvjetima metodom konačnih elemenata u svrhu optimalnog dimenzioniranja kalupa s obzirom na čvrstoću.

7. POPIS SLIKA

	Str.
Slika 2.1. Shema postupka toplog oblikovanja plastomera podtlakom	9
Slika 2.2. Shema postupka toplog oblikovanja plastomera pretlakom	10
Slika 2.3. Skica primjera toplog oblikovanja plastomera sa žigom	11
Slika 2.4. Shema toplog oblikovanja plastomera žigom i predrastezanjem	12
Slika 2.5. Prikaz mehaničkog toplog oblikovanja plastomera	13
Slika 3.1. Specifični toplinski kapacitet PVC-a	15
Slika 3.2. Toplinska provodnost polimera u ovisnosti o temperaturi	17
Slika 3.3. Tijek toplinske difuzivnosti PE-HD	18
Slika 3.4. Efektivna toplinska difuzivnost	18
Slika 3.5. Dijagram ovisnosti specifične entalpije o temperaturi za plastomere	19
Slika 4.1. Monomer PMMA, poli(metil-metakrilat)	20
Slika 4.2. PMMA u raznobojnim pločama	21
Slika 4.3. Podloga za odlaganje u industriji	21
Slika 4.4. Loptice za stolni tenis	22
Slika 4.5. Trzalice za gitaru	23
Slika 4.6. Ambalaža prehrambenog proizvoda načinjena od poliolefina	24
Slika 4.7. Bočnica i dio odbojnika BMW-a X5 (E70) koji je u proizvodnji od 2006.	24
Slika 4.8. Ambalaža prehrambenog proizvoda načinjena od poliolefina	25
Slika 4.9. Čaše načinjene toplim oblikovanjem PS-a	26
Slika 4.10. Dekorativni tanjuri načinjeni od PS-a	26
Slika 4.11. Molekulna struktura PVC-a	28
Slika 4.12. PVC ambalaža	28
Slika 4.13. PVC posuda	28
Slika 5.1. Ambalaža HDMI kabela	29
Slika 5.2. Kalup za toplo oblikovanje plastomera (dovršen model)	34
Slika 5.3. „Stablo“ značajki	35
Slika 5.4. Podaci o modelu	35
Slika 5.5. Model kalupa za TO	36
Slika 5.6. Model kalupa za TO	36
Slika 5.7. Model kalupa za TO - zaobljenja bridova	37
Slika 5.8. Model kalupa za TO - izradba provrta za odzračivanje	37
Slika 5.9. Model kalupa za TO - izradba provrta za pričvršćivanje kalupa za oblikovalicu	38
Slika 5.10. Završni model kalupa za TO	38

8. POPIS TABLICA

	Str.
Tablica 5.1. Zahtjevi na kalup	30
Tablica 5.2. Svojstva materijala kalupa	31
Tablica 5.3. Tablica karakteristika kalupa	39

9. POPIS OZNAKA

c_p	specifični toplinski kapacitet	[kJ/kgK]
D	promjer provrta	[m]
h	specifična entalpija	[kJ/kg]
HB	tvrdoća prema Brinelu	HB
m	masa	[kg]
R_m	rastezna čvrstoća	[N/mm ²]
ϑ	temperatura	[C°]
λ	toplinska provodnost	[W/mK]
ρ	gustoća	[kg/m ³]
q	gustoća toplinskog toka	[W/m ²]

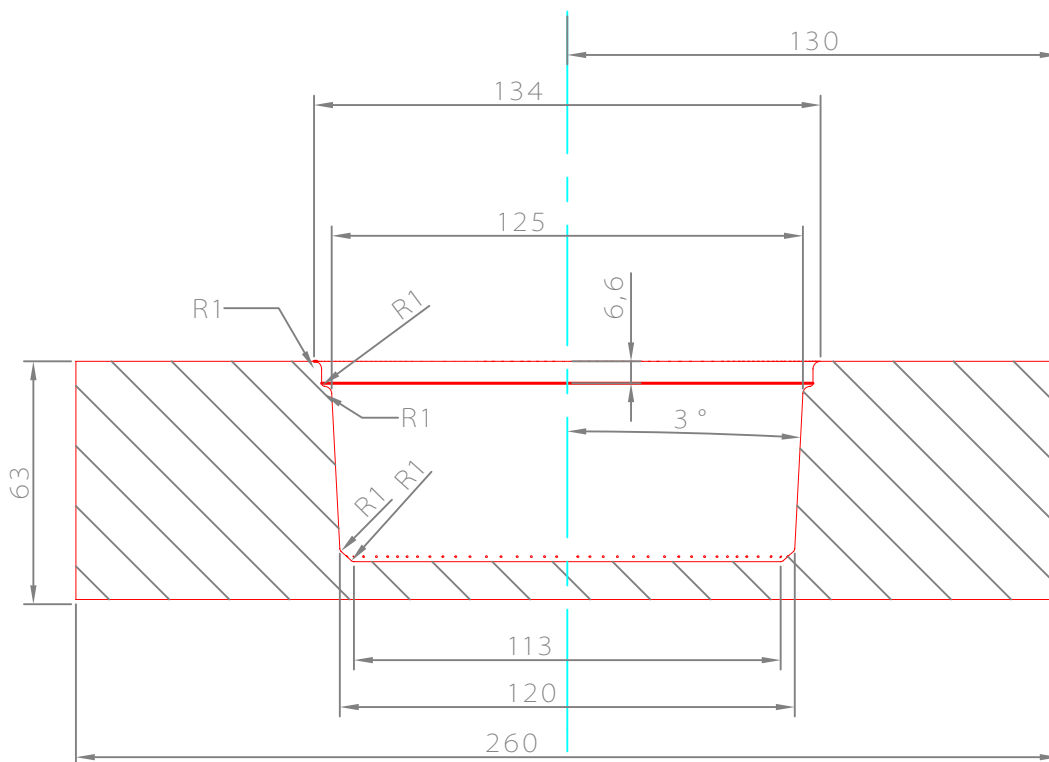
10. LITERATURA

- [1] <http://www.oshore.com/products/archived/thermoforming.html>, 23.3.2010.
- [2] Throne, J. L.: Understanding thermoforming, Hanser Publishers, München, 1999.
- [3] Čatić, I.: Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [4] http://www.fkit.hr/files/nastava/zpiokt/PreradaP/09Toplinska_svojstva.pdf, 25.3.2010.
- [5] Budimir, A.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1996.
- [6] www.duckol.com/Wholesale_p/Pmma-Sheet-9349.htm, 26.3.2010.
- [7] <http://freshome.com/2008/05/26/lamp-made-from-315-table-tennis-balls/>, 27.3.2010.
- [8] <http://www.google.hr/imgres?imgurl=http://www.westfieldguitar.co.uk>, 1.4.2010.
- [9] <http://www.eppm.com/x/guideArchiveArticle.html?gname=&id=32721>, 1.4.2010.
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/File:BMW_X5_4.8i_--_04-22-2010.jpg, 5.4.2010.
- [11] <http://www.jk-overseasexport.com/engineering-plastic-products.html>, 7.4.2010.
- [12] <http://www.commotrade.co.il/129616/Products>, 8.4.2010.
- [13] www.portal-ena.com/pvc.html, 8.4.2010.
- [14] <http://img.en.china.cn/0/0,0,260,2017,600,600,cbb7cdbf.jpg>, 8.4.2010.
- [15] <http://www.hertfordshelving.co.uk/Image/pvctray2.jpg>, 8.4.2010.

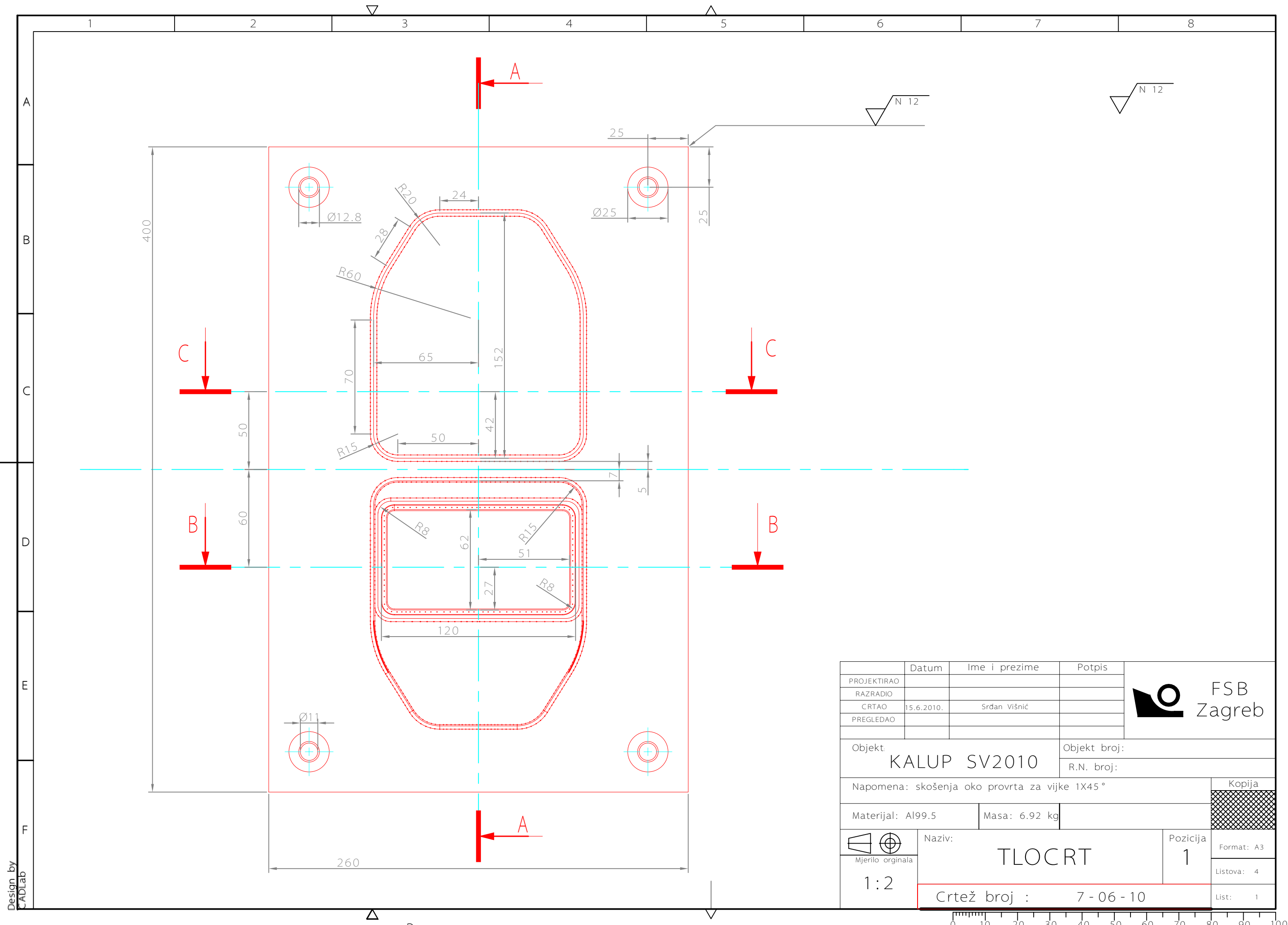
11. DODATAK


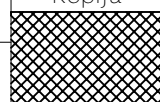
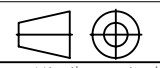
1. Crtež 7-06-10
2. Crtež 8-06-10
3. Crtež 9-06-10
4. Crtež 10-06-10

PRESJEK B - B

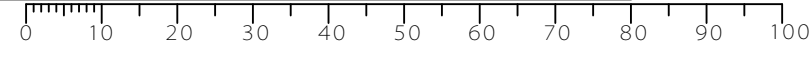


Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Razradio				
Crtao	15.6.2010.	Srdan Višnić		
Pregledao				
Objekt: KALUP SV2010			Objekt broj :	
Napomena: Provrti za odzračivanje Ø0.5			R.N. broj :	
Materijal:	Al99.5	Masa: 6,92		
 Mjerilo originala: 1 : 2				
Naziv : PRESJEK B - B			Pozicija 1	
Crtež broj : 09 - 06 - 10			Format: A4 Listova: 4 List: 3	

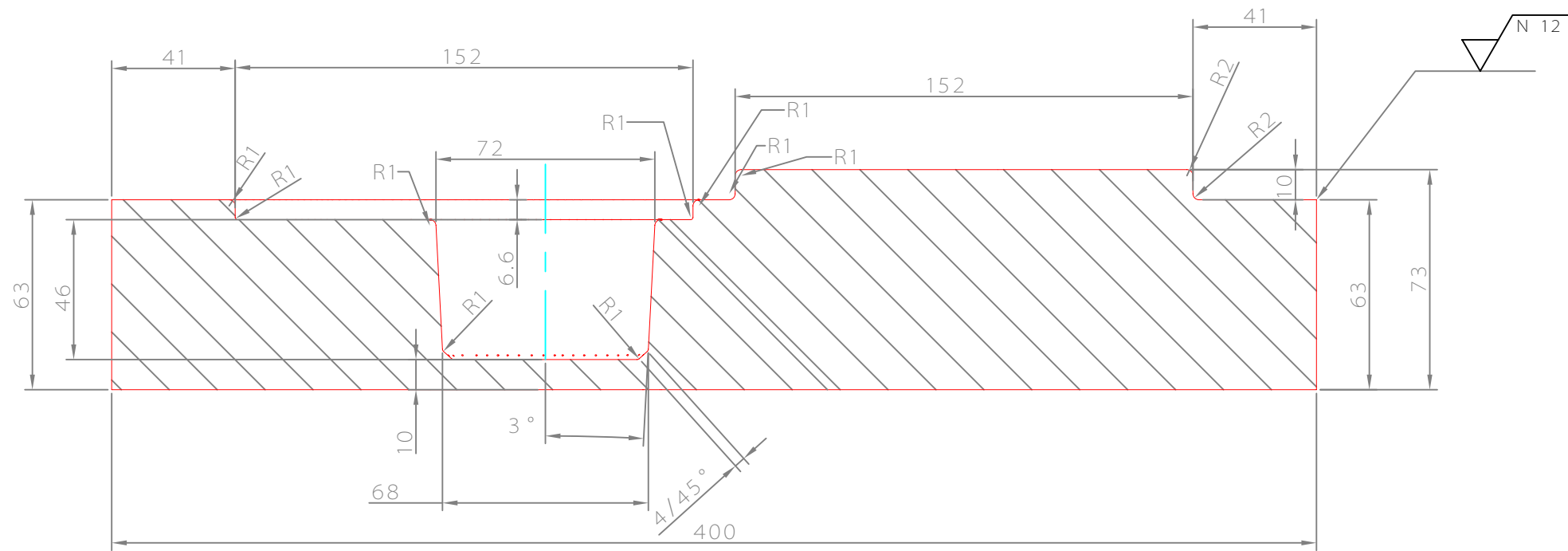


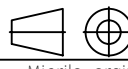
	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
PROJEKTIRAO				
RAZRADIO				
CRTAO	15.6.2010.	Srdan Višnić		
PREGLEDAO				
Objekt:		KALUP SV2010		Objekt broj:
				R.N. broj:
Napomena: skošenja oko provrta za vijke 1X45°				Kopija
Materijal: Al99.5		Masa: 6.92 kg		
 Mjerilo originala		Naziv:		
1:2		TLOCRT		1
		Crtež broj :		7-06-10
				List: 1

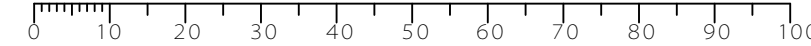
Design by
CADLab

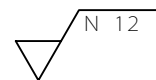


PRESJEK A - A

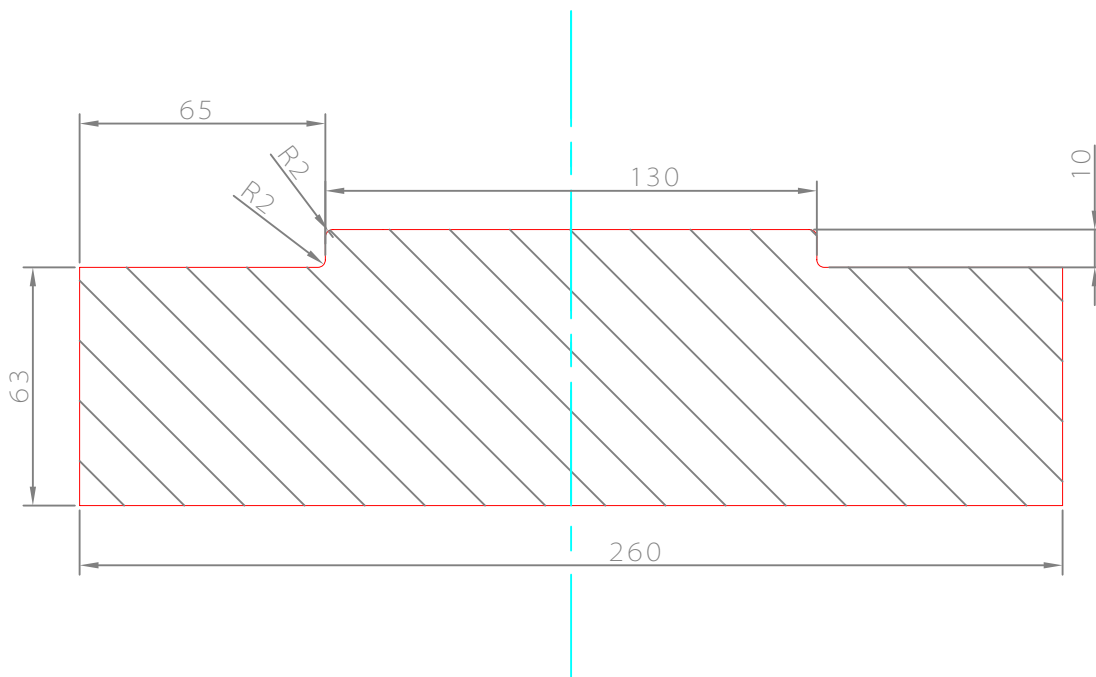



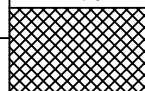
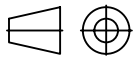
PROJEKTIRAO	Datum	Ime i prezime	Potpis	
RAZRADIO				
CRTAO	15.6.2010.	Srđan Višnić		
PREGLEDAO				
Objekt:		KALUP SV2010		Objekt broj:
Napomena:		Provrti za odzračivane Ø0.5		R.N. broj:
Materijal:		Al99.5	Masa: 6.92 kg	Kopija
 Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija
1:2		PRESJEK A - A		1
		Crtež broj		Format: A3
		8 - 06 - 10		Listova: 4
				List: 2





PRESJEK C - C



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Projektirao				
Razradio				
Crtao	15.6.2010.	Srđan Višnić		
Pregledao				
Objekt : KALUP SV2010		Objekt broj :		
Napomena :		R.N. broj :		
Materijal : Al99.5	Masa : 6,92			Kopija 
 Mjerilo originala: 1 : 2	Naziv : PRESJEK C - C		Pozicija 1	Format: A4
Crtež broj : 10 - 06 - 10				Listova: 4
				List: 4