

Predstavljajo perspektivno področje za nadaljnje raziskave in pa za razvoj uporabnih izvedb naprav nove vrste, ki bodo v perspektivi služile uporabniku na najboljši možni način.

## Literatura

- [1] K. Steblovnik: Inteligentni dom Gorenje, Gorenje d.d., Rosus 2006.
- [2] Konrad Steblovnik: "New Technologies and Ergonomics in White Goods", V: PROCEEDINGS of the 2005 International appliance technical conference : 56<sup>th</sup> International Appliance Technical Conference & Exhibition: March 28-30, 2005 Ramada Plaza Hotel OHare Rosemont, Illinois U.S.A. Lexington, str. 84-95, 2004.
- [3] K. Steblovnik, D. Zazula: "Designing agent-based household appliances", V: Intelligent production machines and systems : 2<sup>nd</sup> I\*PROMS Virtual Conference, 3-14 July 2006. Amsterdam; Oxford: Elsevier, 2006, str.171-178.
- [4] K. Steblovnik, J. Tasič, D. Zazula: "RAZUMNI HIŠNI POMOČNIK. Uporaba teorije o razumnih agentih za izvedbo inteligentne hišne naprave", Informacije MIDEEM, Vol. 35/4, 2005.
- [5] K. Steblovnik: "New technologies for the friendly user interface in white goods", International Appliance Manufacturing, 2006.

**Avtor:**  
**Mitja Dobravc**

## Računalniško podprt razvoj izdelkov iz umetnih snovi

### *Povzetek specialistične naloge*

*Mitja Dobravc je v letošnjem letu uspešno zaključil specialistični študij na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za strojništvo. V svojem specialističnem delu, ki vam ga predstavljamo v nadaljevanju, je predstavil princip uporabe in izvedbe celotnega postopka računalniško podprtega razvoja novega gumba programatorja sušilnika perila SP-05. Svojo profesionalno pot nadaljuje v razvoju Programa kuhalnih aparatov.*

## 1. Uvod

Računalniško podprt inženiring (angl. CAE – Computer Aided Engineering) je skupno ime za metode in postopke uporabe namenske računalniške opreme pri razvojnem inženirskem delu. Konstruiranje in oblikovanje izdelkov brez računalniške podpore, si je danes težko predstavljati. Zmogljiva strojna oprema in pripadajoča programska oprema, sta osnovno orodje vsakega konstrukterja in oblikovalca. Rezultat dela je računalniško izdelan 3D model izdelka, ki predstavlja osnovo za njegovo optimiranje in kasnejšo izdelavo.

Vse bolj razvita računalniška tehnologija in konkurenca na tržišču silita proizvajalce k nenehnemu razvoju izdelkov, ki morajo biti kakovostni, funkcionalni ter estetsko oblikovani, hkrati pa proizvedeni s čim manjšimi stroški.

### 1.1. Namen specialistične naloge

V specialistični nalogi je predstavljen princip uporabe in izvedbe celotnega postopka računalniško podprtega razvoja novega gumba programatorja sušilnika perila SP-05, od idejne zasnove do realizacije v proizvodnji. S pomočjo najrazličnejših pristopov in metod dela so prikazani in opisani postopki, od oblikovanja, konstruiranja gumba programatorja in pripadajočega orodja, optimiranja gumba, številna testiranja do proizvodnje v podjetju Gorenje d.d., Velenje.

**Vse bolj razvita računalniška tehnologija in konkurenca na tržišču silita proizvajalce k nenehnemu razvoju izdelkov, ki morajo biti kakovostni, funkcionalni ter estetsko oblikovani, hkrati pa proizvedeni s čim manjšimi stroški**

**Predstavljen je princip uporabe in izvedbe celotnega postopka računalniško podprtega razvoja novega gumba programatorja sušilnika perila SP-05, od idejne zasnove do realizacije v proizvodnji**

## 1.2. Predstavitev problema

Novi gumb programatorja sušilnika perila je ena izmed komponent, ki sestavljajo najcenejši odzračevalni sušilnik perila – "Projekt baznih modelov SPO". Obstoječi gumb programatorja (slika 1) je bil sorazmerno velik (velika poraba materiala), sestavljen iz štirih komponent (dodatna predmontaža) ter signiran (dražji gumb), zato je bilo potrebno izdelati novi gumb programatorja, ki bo izdelan iz enega dela in cenejši.

Pri oblikovanju in konstruiranju gumba programatorja SP-05 (slika 2), je bilo potrebno upoštevati obstoječe razmere odzračevalnega sušilnika perila v predelu čelne plošče, dve varianti čelnih plošč ter novo pozicijo pritrditve novega programatorja.

Slika 1: Sestavni deli obstoječega gumba programatorja



Slika 2: Novi gumb programatorja



## 2. Oblikovanje novega gumba programatorja SP-05

Oblika novega polizdelka je vedno pogojena z obliko ostalih komponent, ki predstavljajo celoto, tj. izdelek. Določanje zunanje podobe polizdelka je odvisna od tega, kje se polizdelek nahaja. Kadar govorimo o polizdelkih, ki so sestavni del nekega aparata in se nahajajo znotraj njega, jih oblikuje konstrukter, v nasprotnem primeru oblikovalec.

Oblikovanje novega gumba programatorja je temeljilo na podlagi obstoječih komponent sušilnikov perila in pralnih strojev. To so bile čelne plošče, gumbi in tipke. Tako so bile izdelane štiri nove oblikovne variante gumba programatorja SP-05 (slika 3 - varianta 1, 2, 3 in 4). Vse štiri variante so bile izdelane s programsko opremo Solid Works 2006.

### 2.1. Izdelava pramodelov (prototipov)

Računalniško pripravljene 3D modeli oblikovnih variant gumbov so osnova za izdelavo pramodelov, ki jih v Gorenju lahko izdelamo s postopkom 3D tiskanja (Thermojet postopek) in so narejeni iz voska (slika 4) ali pa jih izdelamo s pomočjo stereolitografije in so izdelani iz epoksidne smole.

Slika 3: Oblikovne variante novega gumba programatorja



Slika 4: Pramodeli gumbov izdelani iz voska



## 2.2. Izbira oblike novega gumba programatorja SP-05

Na podlagi vseh izdelanih pramodelov, vseh možnih kombinacij med pramodeli gumbov in čelnimi ploščami, kakor tudi glede na obstoječe komponente in oblike aparatov SP ter PS, ki se trenutno proizvajajo, je bila podana odločitev o oblikovni skladnosti, zato je bila izbrana oblikovna varianta 4, ki najbolj ustreza vsem zahtevam.

## 3. Konstruiranje gumba programatorja SP-05

### 3.1. Konstruktivski pogoji

Pri konstruiranju novega gumba programatorja SP-05 je bilo potrebno upoštevati naslednje konstruktivske pogoje ter zahteve:

- imeti mora ustrezno obliko (povezano z obliko aparata);
- izdelan mora biti iz enega dela (vpliv na ceno gumba in orodja);
- pri vstavljanju v čelno ploščo, se mora v njo zaskočiti (varnostne zahteve);
- zaskočke morajo biti izdelane tako, da bo konstrukcija gumba še vedno enostavna, hkrati pa bo dosežena predpisana sila izvleka (predpisan standard);
- vidne površine morajo biti gladke in sijajne – brez vpadnih mest;
- novi gumb mora biti cenejši od obstoječega.

### 3.2. Postopek konstruiranja

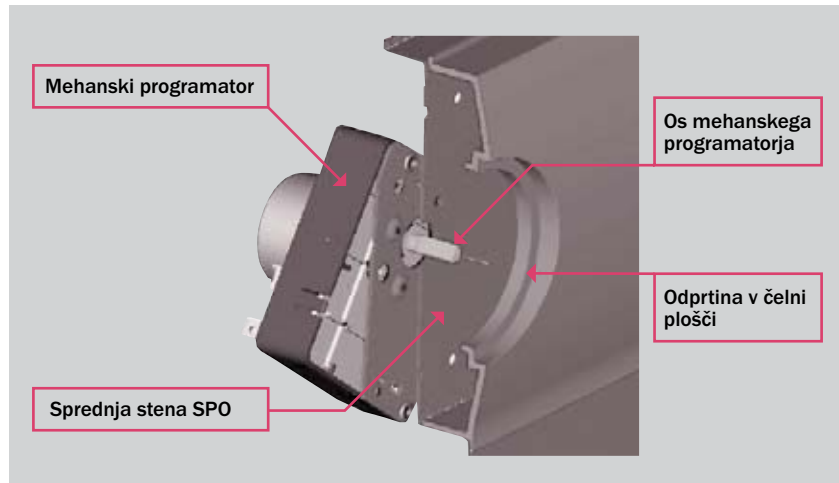
Konstruiranje gumba programatorja SP-05 se je pričelo takoj po izboru oblikovne variante. Obstoječ gumb programatorja je bil po premeru sorazmerno velik ( $\varnothing$  66 mm), saj je bil zunanji venec gumba potiskan. Glede na to, da se oblika čelne plošče ne sme spremeniti, je potrebno dani predel čelne plošče zapolniti z obliko novega gumba, ki bo enakega premera kot obstoječi gumb programatorja. Novi mehanski programator bo glede na obstoječega pritrjen direktno na sprednjo steno, kar pomeni, da bo novi gumb programatorja lahko krajši, gledano po globini. Premer odprtine v čelni plošči ter pozicija osi mehanskega programatorja določata gabarite novega gumba SP-05 (slika 5).

Ko je definirana pozicija novega gumba programatorja SP-05 (koliko sme gledati gumb iz čelne plošče), lahko pričnemo s konstruiranjem notranjega dela gumba.

Pri konstruiranju gumba je bilo potrebno upoštevati nekatera osnovna pravila konstruiranja, kot so:

- a) enakomernost debelin sten;

**Slika 5: Pozicija in mejna mesta namestitve novega gumba v prerezu**



- b) mehki prehodi – oblikovanje radijev v ostrih predelih;
- c) nagnjene sten – snemalni koti (izogibanje ravnim površinam);
- d) zaskočke in odpiranje orodja;
- e) izogibanje kopičenju materiala;
- f) ojačitve z rebri.

### 3.3. Izdelava prototipov

**Slika 6: Pramodel gumba izdelan iz epoksidne smole**



Pramodele, ki nastanejo s postopkom stereolitografije (slika 6), lahko uporabimo za vakuumsko litje ali litje v formo. Postopek izberemo glede na rezultat, ki ga želimo – tj. prototip iz dvokomponentne poliuretanske smole ali prototip iz raznih zlitin.

## 4. Moldflow analize in simulacije (optimizacija)

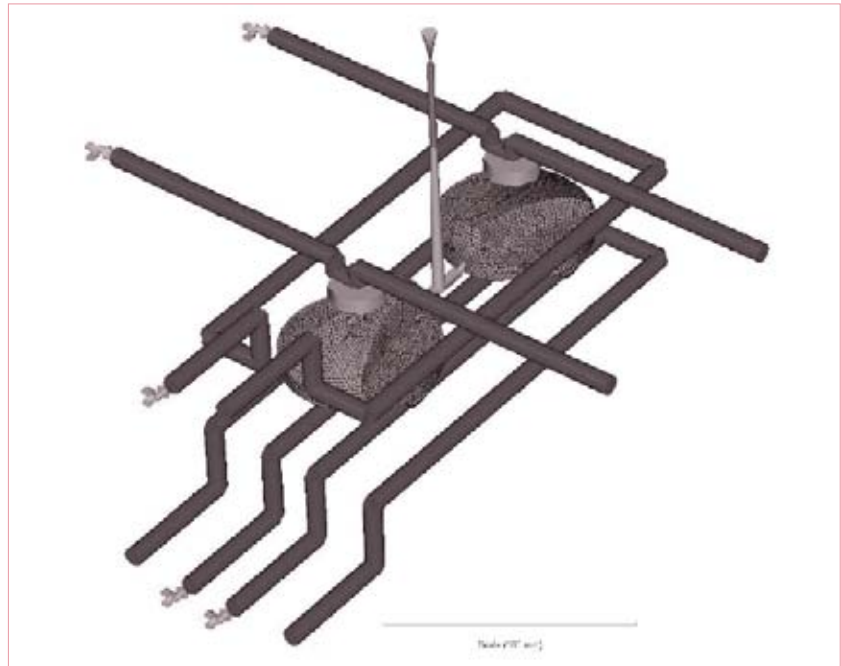
Podjetje Gorenje ima s podjetjem Tecos iz Celja sklenjeno pogodbo o sodelovanju pri optimiranju novo konstruiranih komponent iz plastike. Namen sodelovanja je predvsem zmanjšati napake v izdelkih iz umetnih mas – pravilno konstruirani izdelki, kakor tudi odpravljanje težav pri brizganju izdelkov. Podjetje Tecos uporablja za izdelavo simulacij programski paket Moldflow MPI 5.0, s katerim lahko izdelajo analize zapolnjevanja orodne votline s plastično maso (Flow: fill, pack), analize ohlajanja izdelka v orodju (Cool) ter analize izkrivljenja in skrčkov (Warp). Simulacije se izvajajo na površinskih modelih (Midplane) ali na volumskih modelih (Fusion ali 3D).

### 4.1. Osnovni podatki za izdelavo analize

Za uspešno izdelavo simulacije so potrebni naslednji podatki: računalniški 3D model polizdelka, definirana oblika dolivnih in hladilnih kanalov ter številni tehnološki parametri materiala in stroja za brizganje, ki se dobijo iz ustreznih podatkovnih baz – Moldflow in drugih. Zamrežen volumski model gumba programatorja skupaj z dolivnim in hladilnim sistemom za dvognezdno orodje prikazuje slika 7.

Osnova za izbiro tehnoloških parametrov (temperature, časi, ipd.) je izbira materiala, ki se v startu predpiše. Za gumb programatorja SP-05 smo predpisali material ABS P3H-AT.

Slika 7: Dolivni in hladilni sistem dvognezdnega orodja gumba programatorja SP-05



#### 4.2. Pomembni dejavniki pri izvajanju simulacij

Za gumb programatorja SP-05 so bile opravljene številne simulacije, pri katerih so nas zanimali predvsem rezultati zapolnjevanja orodne votline, naknadnega tlaka, temperiranja orodja ter deformacij. Estetika zunanje (vidne) površine gumba je zelo pomembna, zato so na optimizacijo gumba vplivali predvsem parametri: tlak, temperatura in čas. Razmerje med njimi je sledeče:

- velik pretok materiala → višja temperatura → manjši tlak
  - manjši pretok materiala → nižja temperatura → višji tlak
- 
- prekratek / predolg čas zapolnjevanja → visok tlak
  - optimalen čas zapolnjevanja → nizek tlak

Temperatura brizganja za ABS material je 240 °C. To je temperatura, s katero plastična masa vstopa v dolivni sistem. Zaradi strižnih deformacij se masa segreva, v stiku s hladno (orodno) površino, pa se masa ohlaja. Padec temperature fronte tečenja je lahko  $\leq 20$  °C. V nasprotnem primeru je potrebno brizgati hitreje, da se zapolnijo kritična mesta v orodni votlini.

Temperatura izmetavanja za ABS material je 85 °C. V kolikor se ta temperatura preseže, pride pri izmetu iz orodja do deformacij na polizdelku. To pomeni, da je potrebno dodatno hlajenje orodja oz. vsaj tistega dela orodja, kjer se temperatura izmeta preseže – posamezna lokalna mesta.

Celoten ciklus izdelave se sestoji iz časov za: zapiranje orodja, brizganja v orodje (max. brizgalni tlak + naknadni tlak + hlajenje orodja), odpiranje orodja in izmet polizdelka.

#### 4.3. Rezultati simulacij

Izdelava Moldflow simulacij je iterativni postopek, s katerimi želimo priti do optimalnih rezultatov tako za izdelek, ki ga brizgamo, kot za sam proces brizganja.

Optimalni rezultati, ki smo jih dobili s pomočjo Moldflow analiz in z upoštevanjem prej omenjenih dejavnikov za gumb programatorja SP-05, so bili naslednji:

- uravnoteženo zapolnjevanje orodne votline v času 1,46 s (slika 8);
- 98,78 % zapolnitev orodja pri času 1,43 s
- 100 % zapolnitev orodja pri času 1,46 s
- zadovoljiv padec temperature pri brizganju – cca. 10 °C;
- temperatura izmeta gumba programatorja ≤85 °C. Kriterij izmetavanja je izpolnjen;
- max. brizgalni tlak je 56,02 MPa (slika 9);
- uporabljen dvostopenjski naknadni tlak: 42,02 MPa in 28,01 MPa;
- čas hlajenja orodja je cca. 31 s;
- trajanje celotnega ciklusa je 41,08 s.

## 5. Razvoj orodja za brizganje gumba programatorja SP-05

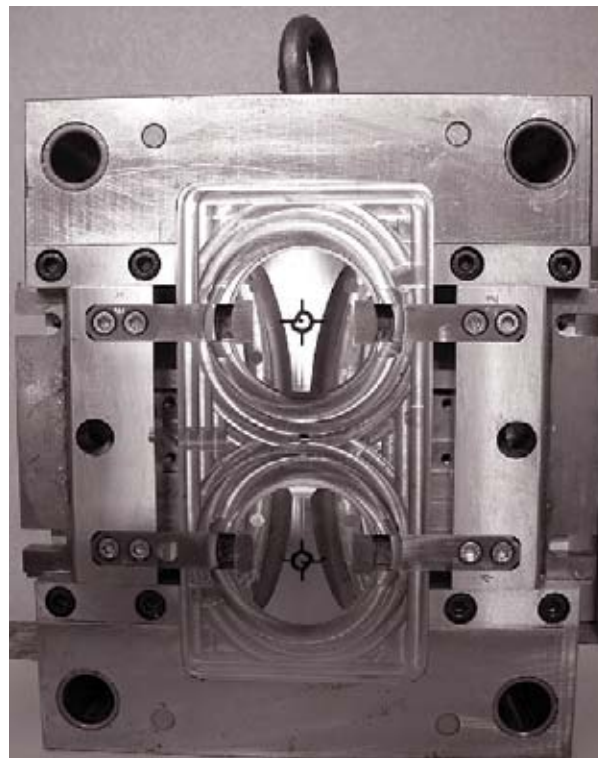
Za vsako novo izdelano orodje potrebujemo ustrezno 2D in 3D dokumentacijo polizdelka, na podlagi katere vodstvo podjetja sprejme odločitev ali se bo orodje razvijalo preko kooperantov ali se bo izdelalo v okviru lastnega podjetja. Orodje za novi gumb programatorja SP-05 je bilo dodeljeno kooperantu, ki se z ustrezno podpisano pogodbo zaveže tako za rok izdelave kot ceno orodja.

### 5.1. Konstruiranje orodja gumba programatorja SP-05

Funkcija polizdelka je za konstrukterja najbolj pomembna, v kolikor gre tudi za dizajn, pa še estetika, zato je potrebno uskladiti vse zahteve, ki jih predpiše konstrukter in jih mora orodjar pri izdelavi orodja upoštevati. Prav tako je potrebno upoštevati letne količine, od katerih je odvisno število гнеzd v orodju, kakor tudi material, iz katerega bo gumb izdelan.



Slika 8: Šobna stran orodja  
Slika 9: Izmetalna stran orodja



Pri konstruiranju orodja za gumb programatorja je bilo potrebno upoštevati naslednje zahteve:

- orodje v predelu zaskočk izdelati tako, da je možno višino zoba zaskokov (po potrebi) enostavno odebeliti (erodiranje orodja);
- celotna oblika zaskokov mora biti izdelana tako, da ne pride do vpadnih mest na vizualni strani gumba;
- vrsta doliva in pozicija dolivne točke;
- izdelava pesta gumba ne sme povzročiti vpadnega mesta na vizualni strani gumba;

- e) ustrezno izdelan hladilni sistem orodja gumba – zmanjšanje možnosti pregrevanja materiala in ustvarjanja notranjih napetosti;
- f) upoštevati skrčke za material ABS P3H-AT;
- g) upoštevati število gnezd v orodju.

Sliki 8 in 9 prikazujeta šobno in izmetalno stran dvognezdnega orodja gumba programatorja SP-05. Orodje je veliko (295 x 270 x 295) mm, težko 160 kg in primerno za brizganje na stroju z zapiralno silo 80 ton ali manj.

## 6. Testiranje gumba programatorja SP-05

Vsako novo konstruirano komponento je potrebno ustrezno testirati. Testi se izvajajo na komponentah, ki so izdelane iz orodja, običajno pa se že prej na ustrezno pripravljenih prototipih. Vseh testov se na prototipih ne da izvesti. Za novi gumb programatorja SP-05 smo izvedli sledeče vrste testov: preizkus vgradnje, meritve sile izvleka ter testiranje notranjih napetosti z metanolom. V sklopu izdelave celotnega aparata SP/O so se izvedli še preizkusi transportne embalaže, to pa so: preizkus na trk (strmina) ter preizkusa na vertikalni in bočni pritisk.

### 6.1. Preizkus vgradnje gumba programatorja SP-05

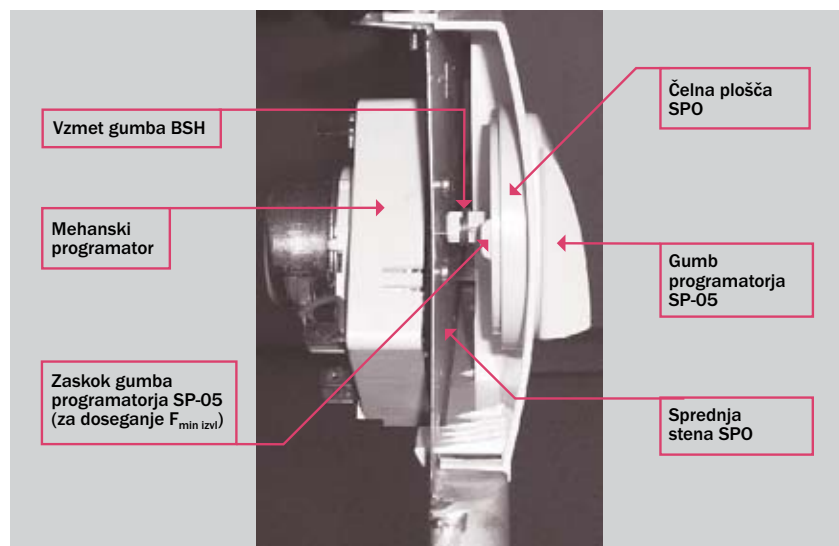
Preizkus vgradnje je eden izmed najosnovnejših preizkusov, ki ga je bilo potrebno izvesti za gumb programatorja SP-05. Prva testiranja so se izvedla že na prototipih, nadaljevala pa so se na novih gumbih programatorja, izdelanih iz orodja. Gumb programatorja smo vgradili v aparate SPO na način, kot ga prikazuje slika 10.

Pri preizkusu vgradnje se preverita montaža in demontaža gumba, kakor tudi delovanje gumba med obratovanjem sušilnika perila. Gumb programatorja mora imeti funkcijo, da se zaskoči v čelno ploščo, nato pa se mora skupaj z osjo mehanskega programatorja vrteti, dokler se ta ne vrne v izhodiščni položaj. Testiranje poteka v laboratoriju za trajnostno testiranje 24 ur/dan. Pri normalnih pogojih se v enem dnevu običajno opravi 8 ciklov.

### 6.2. Meritve sile izvleka

Na področju bele tehnike je v standardu za varnostne zahteve IEC60335-1:2006 točka 22.11 zapisano, da je potrebno vse komponente, ki preprečujejo stik z gibljivimi deli, vlago ipd. skonstruirati na zanesljiv način, da pri normalni uporabi preprečijo dostop do komponent, ki so človeku nevarne.

Slika 10: Montaža gumba programatorja SP-05 v prerezu



**Slika 11: Princip izvajanja meritev**


Za testiranje sile izvleka gumba programatorja SP-05 iz čelne plošče je bilo potrebno pripraviti ustrezen sklop, ki ga sestavljajo komponente: sprednja stena SP, mehanski programator, čelna plošča ter vzmet gumba. Minimalna potrebna sila, ki se predpisuje v danem primeru, je 50 N. Testiranje sile izvleka je potekalo na 8 vzorcih gumba programatorja, za vsak gumb pa smo izvedli 5 meritev pri različnih kotih ( $0^\circ$ ,  $72^\circ$ ,  $144^\circ$ ,  $216^\circ$ ,  $288^\circ$ ), gledano v smeri vrtenja gumba.

Merjenje sile izvleka je potekalo z merilno uro, kot prikazuje slika 11. Meritve sile izvleka gumba programatorja so pokazale, da je v vseh primerih sila večja od predpisane sile po standardu. Skupna povprečna sila izvleka je bila 69,35 N.

**Slika 12: Testiranje notranjih napetosti z metanolom**


Testiranje se uporablja za ugotavljanje notranjih zaostalnih napetosti, ki so prisotne v polizdelku. Postopek temelji na pospešenem staranju termoplastičnega materiala, morebitne prisotne napetosti, pa se pokažejo v obliki pojava razpok na polizdelku. V primeru pojava prevelikih zaostalnih napetosti, se razpoke pojavijo v kritičnih delih polizdelka že po času cca. 2 min, nato pa se le te samo še nadaljujejo. Čas trajanja testiranja v metanolu je 60 min. Metanol se uporablja za testiranje notranjih napetosti v polizdelkih, ki so narejeni iz materiala ABS.

Testiranje je potekalo na osmih vzorcih gumba programatorja SP-05, izdelanih iz obeh gnezd orodja. Polovico vzorcev smo obremenili z osjo mehanskega programatorja, ostala polovica, pa je ostala neobremenjena. Testiranje notranjih napetosti z metanolom prikazuje slika 12. Rezultati testiranja so pokazali, da v gumbih ni bilo prisotnih zaostalnih notranjih napetosti.

**Modeliranje oblikovnih variant je potekalo s programom SolidWorks 2006, konstruiranje pa je bilo izvedeno s programskim paketom I-DEAS Master Series 11**

## 7. Zaključek

Celoten proces razvoja gumba programatorja sušilnika perila, od ideje do realizacije v proizvodnji, je obsegal različne metode in postopke dela ter vključeval različne time ljudi, ki so sodelovali na posameznih področjih dela. Celoten proces je bil računalniško podprt, z izjemo nekaterih testiranj končnega izdelka.

Modeliranje oblikovnih variant je potekalo s programom SolidWorks 2006, konstruiranje pa je bilo izvedeno s programskim paketom I-DEAS Master Series 11. V sodelovanju s podjetjem Tecos pa so bile izvedene tudi simulacije brizganja plastike z uporabo programskega paketa Moldflow MPI 5.0. Pri razvoju gumba smo nadalje uporabili tudi dve tehnologiji hitrega razvoja prototipov, in sicer smo voščene pramodele oblikovnih variant izdelali s pomočjo 3D tiskalnika ThermoJet, prototipe celotnega modela izbranega gumba pa s postopkom stereolitografije. Z vakuumskim litjem smo slednje prototipe tudi reproducirali.

Na podlagi vgradnje prototipov in testiranja v laboratoriju ter računalniških simulacij smo prišli do zaključkov, ki smo jih upoštevali pri optimiranju gumba. S tem pa razvoj gumba še ni bilo zaključen, saj je bilo potrebno izdelati še orodje. Pri konstruiranju orodja je vedno potrebno upoštevati predloge orodjarja, vendar do tiste mere, ki so za razvojnega inženirja še sprejemljivi. Orodje običajno predstavlja velik strošek, ki je odvisen tako od velikosti izdelka kot od njegove kompleksnosti. Orodje je najcenejše takrat, kadar se odpira samo v eno smer in nima dodatnih odmikal, šiberjev ipd. Pri orodju za gumb programatorja so bila dodatna odmikala v predelu zaskočk potrebna, saj mora biti gumb na zunanji – vidni površini estetsko lep, hkrati pa se mora zaskočiti v čelno ploščo.

Prve vzorce gumba programatorja, ki smo jih dobili iz orodja skupaj z merilnim protokolom, smo temeljito pregledali in testirali v laboratoriju. Na podlagi pozitivnih preizkusov in ustreznega merilnega protokola, smo gumb programatorja lahko potrdili in uporabili za redno proizvodnjo.

Na podlagi izdelanih kalkulacij je novi gumb programatorja skupaj z vzmetjo, ki je potrebna pri montaži, cenejši od starega gumba za 34 %!