

PRIMENA PRINCIPA INTEGRISANOG RAZVOJA PROIZVODA

APPLICATION OF INTEGRATED PRODUCT DEVELOPMENT PRINCIPLES

Milica Galjak, Goran Devedžić, Saša Ćuković

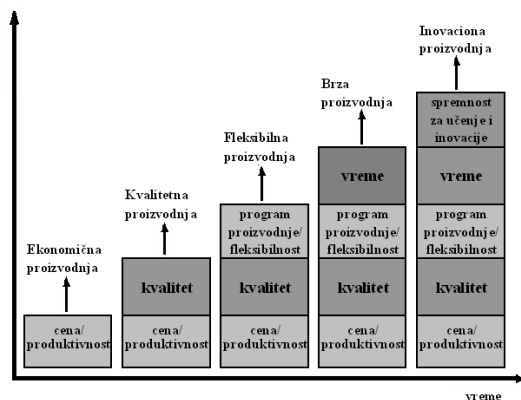
Mašinski fakultet u Kragujevcu
Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac
{ galjak.milica, devedzic, cukovic}@kg.ac.rs

Rezime: Situaciju na svetskom tržištu danas definišu dominacija zahteva kupaca i globalizacija tržišta. Pri tome je osnovni imperativ brzo i kvalitetno projektovanje i izrada proizvoda. U tom cilju neophodno je sveobuhvatno definisanje i upravljanje svim relevantnim aspektima i parametrima u životnom ciklusu proizvoda. Integralnost razvoja postiže se primenom CAD/CAM/CAE tehnologija, funkcionalnog modeliranja, znanjem baziranih sistema, proizvodnih modela, knowledgeware tehnologija, strukturnih i kinematskih analiza. Ove tehnologije i ključni principi u radu su prikazani na primeru razvoja uređaja za sabijanje aluminijumske ambalaže, kao osnovnog elementa sistema za sakupljanje, odvajanje i reciklažu otpadnog materijala.

Ključne reči: Integrisani razvoj proizvoda, Digital Mock-Up, FEM, reciklaža

1. UVOD

Savremeno tržište kompanijama postavlja složene zahteve u pogledu produktivnosti, kvaliteta, dizajna i brzine usvajanja proizvoda. Konkurencija na globalnom tržištu se svakodnevno povećava i zahteva od proizvođača da se konstantno edukuje i da stalno iznalazi nova rešenja kako bi zadovoljili potrebe i očekivanja kupca. Ovo se postiže praćenjem svetskih trendova, razvoja tehnike i tehnologije kroz stalnu komunikaciju sa potrošačima. Pri tome treba imati na umu važnu činjenicu da proizvod čini kompaniju, a ne obrnuto.



Slika 1 - Zahtevi vezani za proizvodnju

Proizvođač mora da iznalazi nova konstrukciona rešenja, a to zahteva znanje, učenje, različite inovacije, ekonomična tehnička rešenja, spremnost i spretnost zadovoljenja kupaca u velikoj tržišnoj konkurenciji. Pored kvaliteta, velika pažnja poklanja se i dizajnu proizvoda kao i

samom procesu plasiranja proizvoda na tržište. Nije dovoljno imati dobar proizvod već znati kako i na koji način taj proizvod približiti kupcu.

Istraživanje i razvoj znatno utiču na osnovne karakteristike proizvoda, kao što su pouzdanost, kvalitet, radna sigurnost i tehničko rešenje. Zahtevi vezani za kvalitet utiču na to da se visokokvalitetni proizvodi izbace na tržište u što kraćem roku.

Životni ciklus jednog proizvoda može se rasčlaniti na sledeće faze po [3]:

- (Strategijsko) planiranje proizvoda ili pravljenje ponuda;
- Koncept / principsko rešenje;
- Nacrt (gradivna struktura, grubo oblikovanje, materijali,...);
- Razrada (detaljno utvrđivanje oblika i dimenzija,...);
- Tržište materijala i logistika (kupovina, transport, uskladištenje,...);
- Razvoj proizvodnje (proizvodni procesi, proizvodna sredstva,...);
- Izrada delova;
- Montaža;
- Prototip, ispitivanje;
- Distribucija, prodaja;
- Isporuka (pakovanje, demontaža delova, konzerviranje...);
- Stavljanje u funkciju (probni rad i uhodavanje);
- Eksploatacija sa održavanjem, remont, dograđivanje, modernizacija;
- Stavljanje van funkcije, likvidacija, recikliranje.

1) Milica Galjak, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: galjak.milica@kg.ac.rs
2) Dr Goran Devedžić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: devedzic@kg.ac.rs
3) Saša Ćuković, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, mail: cukovic@kg.ac.rs

2. PRINCIPI INTEGRISANOG RAZVOJA PROIZVODA

Sve veća primena globalne strategije proizvoda, predstavlja dugoročno planiranje radi što adekvatnijeg razvoja proizvoda i postizanja krajnjih ciljeva. Najčešće se koristi radi postizanja tri osnovna cilja: skraćenje vremena trajanja razvoja proizvoda; poboljšanje kvaliteta proizvoda; smanjenje cene proizvoda.

Globalne strategije razvoja proizvoda su [3]:

- Integralni razvoj proizvoda (ili integralni razvoj proizvoda i procesa);
- Simultano / konkurentno inženjerstvo (*Simultaneous Engineering / Concurrent Engineering*);
- *Lean Management*;
- *Total Quality Management*, itd.

Konstrukciono - tehnološka dokumentacija predstavlja ulaz u svaku proizvodnju a to je jedna od etapa integralnog razvoja proizvoda.

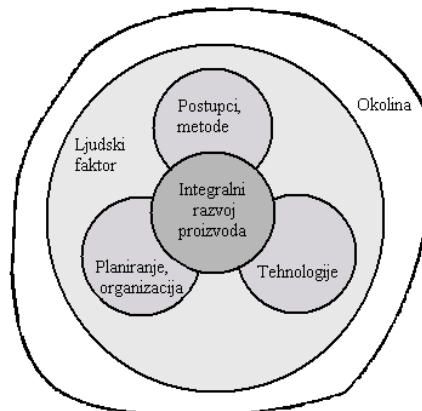
"Integralni razvoj proizvoda je sistemski prilaz razvoju visoko kvalitetnih, tržišno konkurentnih, radno sposobnih proizvoda ili usluga uz integrisanu primenu celovitih i multidisciplinarnih metoda, procesa i organizacionih formi kao i manuelno i kompjuterski podržane alate, sa minimalnim ali trajnim korišćenjem proizvodnih faktora i resursa" [3].

Najvažniji aspekti integralnog razvoja proizvoda (IRP) su:

- Uzimanje u obzir načina razmišljanja i postupke ljudi, kao što su kreativnost, proces donošenja odluka, forme rukovođenja.
- Dugoročno razmišljanje umesto kratkoročnog.
- Definisane razvoja proizvoda prema zahtevima tržišta i potrebama kupaca.
- Analiza i reinženjering procesa u toku nastajanja proizvoda.
- Opis/formalizacija postupka, metoda i pomoćnih sredstava za proces razvoja proizvoda – na primer metoda konstruisanja, modeliranja, TQM/QFD (totalno upravljanje kvalitetom/planiranje funkcije kvaliteta).
- Zajedničko vođenje faza procesa razvoja sa prethodnim i završnim fazama, na primer konstruisanja sa primenom proizvodnje, razvoj sa konstruisanjem.
- Uvođenje i uzimanje u obzir svih aspekata životnog ciklusa proizvoda, na primer konstruisanje sa različitim aspektima, permanentno osiguranje kvaliteta.

- Izgradnja mreže za odlučivanje i razvoj, na primer sa kupcima i isporučiocima, između prakse i nauke.
- Primena integralnog organizacionog modela, kao što je simultano / konkurentno inženjerstvo, inter i multidisciplinarni radni timovi, raspodela poslova i rukovođenje projektima, hijerarhijska struktura.
- Poboljšanje postojećih, odnosno razvoj tačnijih predpostupaka na primer za izbor tehnologije.
- Sveobuhvatna i forsirana kompjuterska podrška svih aktivnosti u razvoju proizvoda preko CAD/CAM, funkcionalnog modeliranja, Feature-based tehnologija, na znanju baziranih sistema, proizvodnih modela, integracije znanja.
- Korišćenje inovacionih tehnologija i pomoćnih sredstava, kao što je brza izrada prototipova, virtualna realnost, proširenje postupka simulacije i proračuna, na primer digitalni Mock-Up, FEM i BEM.
- Poboljšanje tokova komunikacija i informacija, na primer korišćenjem komunikacionih standarda i pravila.
- Višestruko uzimanje u obzir resursa, cena i ekonomičnosti.

Integrisani razvoj proizvoda obuhvata sve korake od nalaženja ideja i identifikacije tržišnih potreba do izrade i lansiranja proizvoda na tržište. Za optimizaciju aktivnosti vezanih za proizvode i procese moraju u integrisanom razvoju proizvoda zajedno da budu obuhvaćeni elementi kao što su ljudski faktor, postupci i metode, organizacija i planiranje i tehnički faktori. Humano orijentisani aspekt integrisanog razvoja proizvoda ogleda se u položaju radnika u preduzeću. On nije samo važan faktor proizvodnje već predstavlja važan resurs preduzeća.

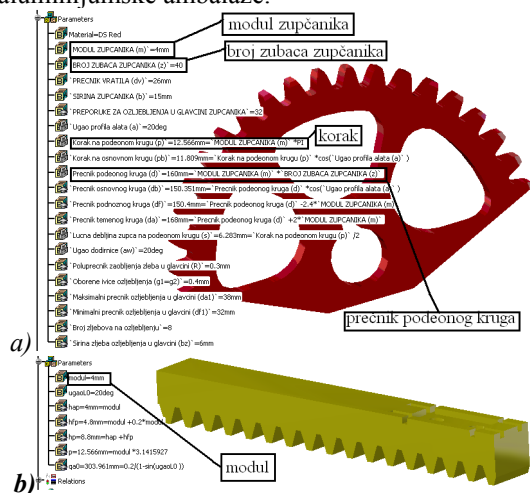


Slika 2 - Osnovni elementi integrisanog razvoja proizvoda

3. RAZVOJ PROIZVODA PRIMENOM CAD/CAM/CAE TEHNOLOGIJA

Veliku pomoć u zadovoljenju zahteva u savremenim principima razvoja proizvoda pruža nam projektovanje proizvoda (CAD) i procesa (CAM) pomoću računara. Primena ovih tehnologija nalazi se u pojedinim fazama integrisanog razvoja proizvoda. Konkurentno inženjerstvo koje predstavlja pristup integrisanom razvoju proizvoda, kojim je omogućeno istovremeno odvijanje svih relevantnih aktivnosti, postupka i procesa, uključujući proizvodnju i poslovanje, nad modelom proizvoda, na taj način olakšava rad projektantima.

Tokom razvoja proizvoda neophodna je primena raznih softverskih alata i tehnologija, kao i alata i tehnologija za automatizaciju projektovanja, analize, testiranja i izrade proizvoda. PLM kao sistem za upravljanje životnim ciklusom proizvoda, čini integracija softverskih alata koji se vezuju za pojedine faze razvoja ciklusa kroz CAD/CAM/CAE tehnologije. Ove sisteme primenjujemo prilikom rešavanja različitih inženjerskih, istraživačko-razvojnih i industriskih problema. To će biti pokazano na primeru mehaničkog uređaja za sabijanje aluminijumske ambalaže.



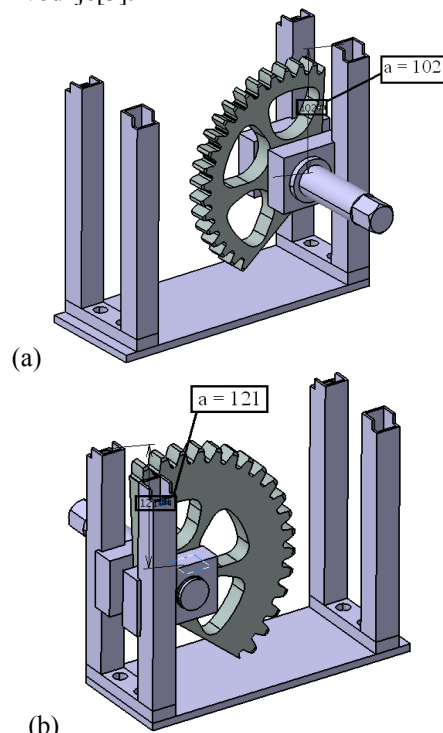
Slika 3 - Modeli definisani preko parametara
a) zupčanik, b) zupčasta letva

Pošto je za rešavanje ovakvih problema neophodno korišćenje znanja veliku ulogu pronašla je primena *knowledgeware* tehnologija, kao jedna od naprednih metoda rešavanja problema [2]. Ugradnja znanja u model zahteva visok nivo kreativnosti i znanja samog projektanta. Pored uobičajenih karakteristika u proizvod treba uključiti i specifične zahteve budućih korisnika. Da bi model zadržao tokom čitavog procesa razvoja konzistentnost neophodno je primeniti odgovarajuću parametrizaciju i kontrolne

mehanizme. Kontrolni mehanizmi se formiraju putem relacionih i funkcionalnih zavisnosti, kao i procedurama proveru. Na Slici 3 prikazani su primeri modela definisani preko parametara i zakonitosti vezanih za samu strukturu proizvodnog modela. Osnovne parametre predstavljaju elementi sprezanja zupčanika i zupčaste letve, a to su modul i broj zubaca zupčanika. Pored tih parametara definisani su prečnici osnovnog, podeonog podnožnog i temenog kruga zupčanika i korak u odnosu na osnovne parametre. Na Slici 4 možemo videti kako se pomoću parametra *a*, definiše rastojanje dva elementa u sklopu formulom koja zavisi od modula (parametar *a* definisan je prikazanom formulom). Formula glasi:

$$a = 25\text{mm} - 2 * \text{modul} + (\text{modul} * \text{broj zubaca} + 2 * \text{modul}) / 2 + 1\text{mm}$$

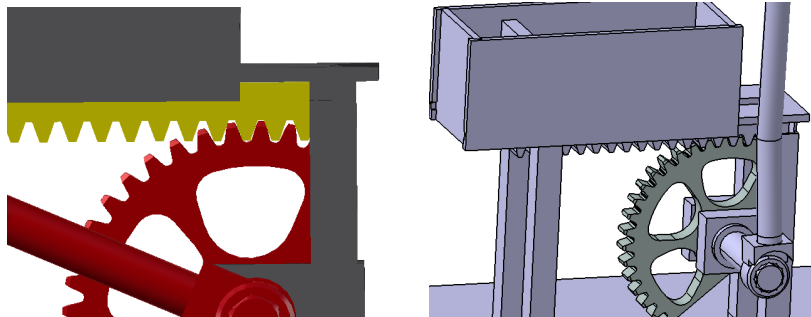
Digitalna proizvodnja predstavlja oblast koja uključuje više različitih faza životnog ciklusa proizvoda. Bazira se na CAM softverima i to kroz proširenu informaciono - tehnološku strukturu koja podržava razvoj proizvoda, proizvodnju, inspekciju i kontrolu. Digitalna proizvodnja je veliki korak u razvoju preduzeća kao podrška inovaciji i poboljšanju razvoja proizvoda. Ova tehnologija obezbeđuje kraće vreme lansiranja proizvoda na tržište i smanjivanje troškova razvoja i proizvodnje[3].



Slika 4 - Prikaz promene rastojanja;
(a) rastojanje kada je vrednost modula 4 (prikaz sklopa sa prednje strane),
(b) rastojanje kada je vrednost modula 5 (prikaz sklopa sa zadnje strane)

Dve faze životnog ciklusa proizvoda, koje čine osnovu digitalne proizvodnje su provera kretanja (planiranje procesa) i analiza delova u procesu. Na osnovu ovih faza, nad modelom uređaja za sabijanje aluminijumske ambalaže, izveden je deo analiza vezanih za proveru

tehnologija virtuelnog inženjeringa. DMU je platforma za digitalno, virtuelno opisivanje proizvoda u njegovom razvoju, projektovanju i proizvodnji, odnosno platforma za integraciju tehnologija virtuelnog inženjeringa. Razvoj proizvoda baziran na ovoj platformi je optimiziran



Slika 5 - Prikaz položaja zupčnika i zupčaste letve

sprezanja zupčanika (kinematska analiza), kao i napona i deformacija na obodu na kome deluje sila reakcije pri sabijanju limenke (strukturna analiza). Veliku važnost kada je reč o ovakvim analizama predstavlja koncept asocijativnosti proizvoda, koji nam omogućava pogodnosti brzih izmena i manipulacija nad modelom proizvoda i digitalne proizvodnje i izrade digitalnih prototipova kroz primenu DMU platforme za digitalno opisivanje proizvoda u njegovom razvoju, projektovanju i proizvodnji.

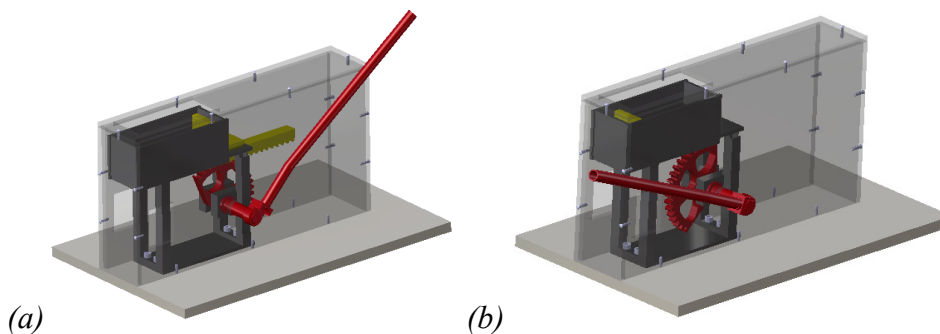
Uloga jednog ovakvog uređaja u društvu, kada mislimo na konkretan proizvod, je velika i odnosi se na razvoj svesti o reciklaži i očuvanju neobnovljivih izvora čije su zalihe u svetu ograničene. Uređaj za sabijanje aluminijumske ambalaže, limenki, ima ulogu smanjivanja zapremine prilikom skladištenja i transporta do sabirnih centara koji se bave preradom aluminijuma.

4. PRIMENA KINEMATSKE ANALIZE (DMU Kinematics)

DMU (eng. *Digital Mock-up*) je termin koji se poslednjih godina koristi kao ključna reč za inovativno projektovanje proizvoda primenom

sa aspekta vremena, troškova i kvaliteta. Primena DMU se nameće kao budući imperativ s obzirom da se životni ciklus proizvoda drastično skraćuje zbog sve dinamičnijih tehnoloških inovacija i oštrije konkurencije na svetskom tržištu, kako cenovne tako i kvalitativne. Očigledna prednost DMU je u smanjenju ili čak eliminisanju potrebe za fizičkim prototipovima, kao jednom od najskupljih aspekata u razvoju proizvoda. Na primer, kompletan dizajn automobila zahteva do 40 fizičkih prototipova, pri čemu izrada svakog košta oko milion evra, uz dosta veliko vreme izrade.

Poslednjih godina, vodeći proizvođači su prihvatili PLM kao sredstvo za snažno i pouzdano vođenje poslovne strategije i podršku inovacijama u procesu razvoja proizvoda. Podržavajući proces donošenja odluka u razvoju proizvoda, DMU je ključna komponenta PLM sistema. DMU dozvoljava projektnom timu da kreira digitalni model proizvoda i njegovo okruženje u realnom vremenu, da ga analizira, ulazeći u suštinu ključnih faktora koji određuju njegov kvalitet, karakteristike i cenu. To značajno smanjuje vreme i troškove razvoja proizvoda, uz istovremeno optimiziranje kvaliteta proizvoda i proizvodnosti. Rešenja PLM sistema, koja se danas nude, su



Slika 6 - Prikaz početnog (a) i krajnjeg (b) položaja ručice

esencijalna za kreiranje kolaborativnog okruženja u kojem inovacija proizvoda zauzima centralno mesto u procesu njegovog razvoja. Kada je DMU potpuno integrisan sa naprednim PLM alatima, prednosti i uštede su više nego značajne.

DMU Kinematic je modul u CAD/CAM softverskom paketu CATIA koji je specijalizovan za kinematsku analizu uređaja i mašina, tj. mehanizama [4]. Njegova osnovna uloga je simulacija kretanja, provera sprezanja između prenosnih elemenata. Na Slici 5 prikazan je izgled položaja prenosnog zupčastog para kada se nalaze u sprezi, dok se na Slici 6 prikazan početni i krajnji položaj ručice prilikom sabijanja aluminijumske ambalaže. Ovom analizom vršimo proveru sprezanja zupčanika i zupčaste letve kao i definisanje radnog hoda uređaja tokom sabijanja limenke, odnosno početni i krajnji položaj ručice. Ovom metodom kao izlaz možemo dobiti i dijagrame definisanih različitih zakonitosti kretanja [1].

5. PRIMENA STRUKTURNE ANALIZE (Generative Structural Analysis)

U okviru kompjuterski podržanog inženjerstva – CAE - vrši se strukturna analiza modela. CAE ne zahteva velika ekonomska ulaganja i u tom smislu je sve veća tendencija za razvijanjem softverskih paketa koja bi mogla predvideti kritična mesta na konstrukciji koja se razvija. Strukturna analiza je postupak kojim se pri modeliranju neke konstrukcije dolazi do fizičkih podataka poput: pomeranja, napona, oscilovanja, termičkog ponašanja i dr. Ona se koristi u svim granama industrije a posebno je značajna u vojnoj i civilnoj vazduhoplovnoj industriji, automobilske industriji, brodogradnji, i dr.

Strukturna analiza pruža mogućnosti da se još u ranoj fazi projektovanja dobijaju pouzdane

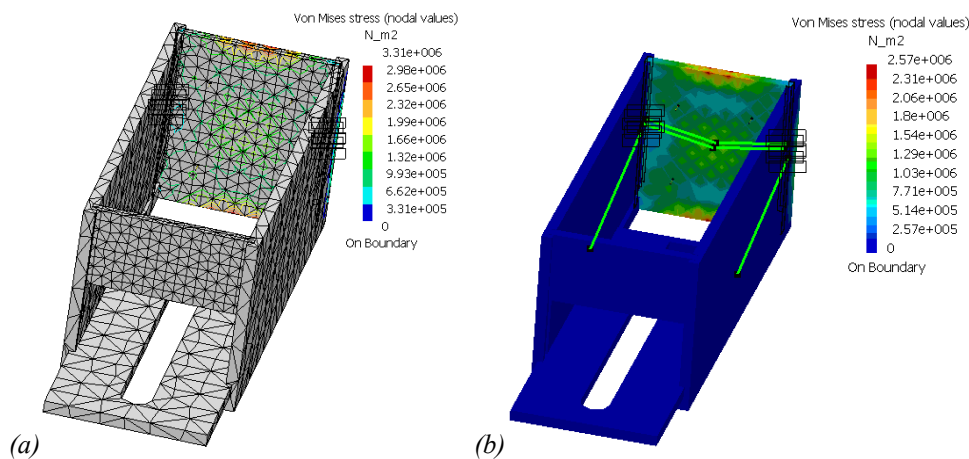
informacije o valjanosti pretpostavljenih dimenzija, izboru materijala kao i ispravnosti predviđenih konstrukcionih rešenja. Ovakav vid analiza omogućava optimizaciju čitave konstrukcije u odnosu na date zahteve i propisane uslove. Kao što je već ranije rečeno ovi moduli za strukturne analize zasnivaju se na korišćenju metoda konačnih elemenata – FME [5].

Osnovna ideja FME metode je fizička diskretizacija stvarnog modela, a to podrazumeva podelu neke strukture na konačan broj elemenata malih dimenzija. Ti elementi nazivaju se konačni elementi. Oni su najčešće poznati geometrijski oblici, poput prizme, tetraedra i sl. Karakteristike konačnih elemenata vezane su za čvorove temena geometrijskih figura ili slika. U čvorovima se zadaju nepoznate veličine, npr. pomeranja. Pomoću interpolacionih funkcija može se odrediti varijacija fizičkih veličina unutar konačnog elementa. Interpolacione funkcije moraju da zadovolje granične uslove na rubovima konačnih elemenata da bi diskretizovani proračunski model zadovoljio i granične i početne uslove. Tačnost numeričkih rezultata je veća ukoliko je veći broj konačnih elemenata kao i veći red interpolacionih funkcija.



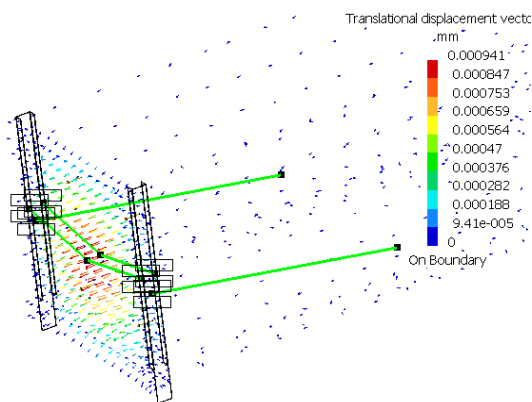
Slika 7 - Fotografija izgleda ispitivane limenke

Na Institutu IMS (Institut za ispitivanje materijala) u Beogradu vršeno je ispitivanje limenke na statičko naprezanje (sabijanje), čija je fotografije posle naprezanja uzorka prikazana na



Slika 8 - Izgledi naponske analize pri stvarnim silama

Slici 7. Ispitivanje je izvedeno na mašini čija je maksimalna sila naprezanja 10000 N a sam uzorak izložen je maksimalnoj sili od 735 N. Prve deformacije javljaju se pri sili od 686 N.



Slika 9: Izgled položaja naponskih vektora stvarnog napona

Vrednost stvarne sile upotrebili smo za analizu oboda koji predstavlja oslonac za sabijanja limenke. Na obod i na limenku deluje ista sila prema trećem Njutnovom zakonu. Analizu vršimo tako što ograničimo element nad kojim se vrši ispitivanje, da ne može da se kreće. Izgledi oboda posle izvršene analize prikazani su na Slikama 8 i 9. Analiza je izvedena u modulu *Generative Structural Analysis* softverskog paketa CATIA [5].

6.ZAKLJUČAK

Uslovi koji nastaju globalizacijom tržišta obično diktiraju vođenje razvoja proizvoda, i u zavisnosti od potrošača, rukovanje postupkom projektovanja. Česte promene od strane kupaca na tržištu daju kao rezultat pojavu više varijanti proizvoda i pre svega, izmena u samom modelu proizvoda. Stoga je sve veći osvrt na korišćenje simultanog / konkurentnog inženjerstva pa se projektanti i tehnolozi prilagođavaju razvoju novih tehnologija i korišćenja naprednih softvera CAD/CAM sistema za rešavanja problema. Neophodna je izrada modela i njihova primena kroz različite softverske pakete, kako u nauci tako i u praksi. Neminovna je težnja smanjenja vremena trajanja razvoja novog proizvoda i troškova, uz povećanje kvaliteta u fazi projektovanja proizvoda i tehnologije izrade i automatizovanog unošenja izmena u toku faza dizajna, projektovanja i planiranja. Za sada se mogu koristiti prethodna znanja, stečena primenom tehnologija proizvodnje. Međutim, još uvek nedostaju alati koji bi obuhvatili rad sa različitim varijantama i porudžbinama kupaca i to sve do faze koja se odnosi na reciklažu i odlaganje proizvoda, na kraju životnog ciklusa proizvoda. Dešava se da u nekim

slučajevima zakonodavna tela primoravaju proizvođače da preuzmu odgovornost za proizvod tokom čitavog trajanja njegovog životnog ciklusa. i proizvođača.

Bitani faktori tokom svakog razvoja proizvoda su uzimanje u obzir reursa, cena i ekonomičnosti. Izrada prototipova nekog proizvoda kako bi se na njemu obavila određena probna ispitivanja zahteva velika novčana ulaganja. Savremeni softverski alati omogućavaju projektantima provere i analize i na taj način smanjuju njihove troškove. Ponekad se broj probnih uzoraka smanji ili nam u potpunosti nisu potrebni radi razmatranja određenih problema.

Na primeru mehaničkog uređaja za sabijanje aluminijumske ambalaže pokazana je primena CAD/CAM/CAE sistema kroz analize spreznja zupčanika i zupčaste letve i analize napona na obodu gde je ostvaren kontakt sa limenom prilikom delovanja sile sabijanja.

Jedan ovakav uređaj trebalo bi da nađe primenu u ugostiteljskim objektima koji svojim posetiocima nude pića u aluminijumskoj ambalaži. Pre svega jer se na taj način smanjuje zapremina skladištenja otpadnog materijala. Na taj način se javlja potreba za reciklažom i mogućnošću dodatne zarade od strane preduzeća koja se bave otkupom aluminijuma.

7.LITERATURA

- [1] Cozzens R. , SouthernUtah University,: „*ADVANCED CATIA V5 Workbook*“, Knowledgeware and Work Benches, Relases 12&13, SDC Publications, Schoff Development Corporation 2004.god.
- [2] Devedžić G.: „*CAD/CAM tehnologije*“, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2006.god.
- [3] Miltenović V.: „*Razvoj proizvoda- strategija, metode, primena*“, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet u Nišu, Niš 2003. god.
- [4] Zamani G. Nader, University of Windsor, Weaver M. Jonatan, University of Detroit Mercy,: „*Priručnik CATIA V5 – Dizajn mehanizama i njihova animacija*“, SDC Publications, Kompjuter biblioteka.
- [5] Zamani G. Nader, University of Windsor,: „*FEA Tutorials CATIA V5*“, Relases 16, SDC Publications, Schoff Development Corporation 2007.god.