



STUDIJA SLUČAJA

RAZVOJ PROIZVODA I PROCESA U INTEGRISANOM OKRUŽENJU VIRTUELNOG INŽENJERINGA

CTC Kragujevac

Acronym: WBC-VMnet

Naziv projekta: WBC Virtual Manufacturing Network – Fostering an Integration of the Knowledge Triangle,

Broj projekta: 144684-TEMPUS-2008-RS-JPHES

Datum: Jul 2011,

Mesto: Kragujevac, Srbija



Revision Sheet

Broj revizije	Datum	Opis revizije
Rev. 1	25/07/2011	Prva verzija dokumenta CTC tima
Rev. 2	29/07/2011	Finalna verzija odobrena od Koordinatora CTC Kragujevac

This publication has been funded by the European Commission. The publication reflects only the views of the authors. The European Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

SADRŽAJ

1. Uvod	4
2. Komponente sistema virtuelnog inženjeringa	4
2.1 Virtuelni prototipovi (<i>Virtual prototyping – VP</i>)	5
2.2 Fizički prototipovi (<i>Physical prototyping – Rapid prototyping/manufacturing - RPM</i>)	6
2.3 Reverzni inženjering (<i>Reverse engineering - RE</i>)	7
2.4 Virtuelna stvarnost (<i>Virtual reality - VR</i>)	8
2.5 Virtuelna proizvodnja (<i>Virtual manufacturing - VM</i>)	8
2.6 Digitalni model (<i>Digital mock up - DMU</i>)	10
2.7 Upravljanje podacima o proizvodu (<i>Product data management - PDM</i>)	10
2.8 Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (<i>Product life cycle management -PLM</i>)	10
2.9 Kolaborativno okruženje (<i>Collaborative framework</i>)	11
2.10 Virtuelna kontrola kvaliteta i verifikacija (<i>Virtual quality control and verification</i>)	11
3. Integracija tehnologija virtuelnog inženjeringa	12
4. Praktični primer	16
5. Zaključci	30
6. Literatura	30

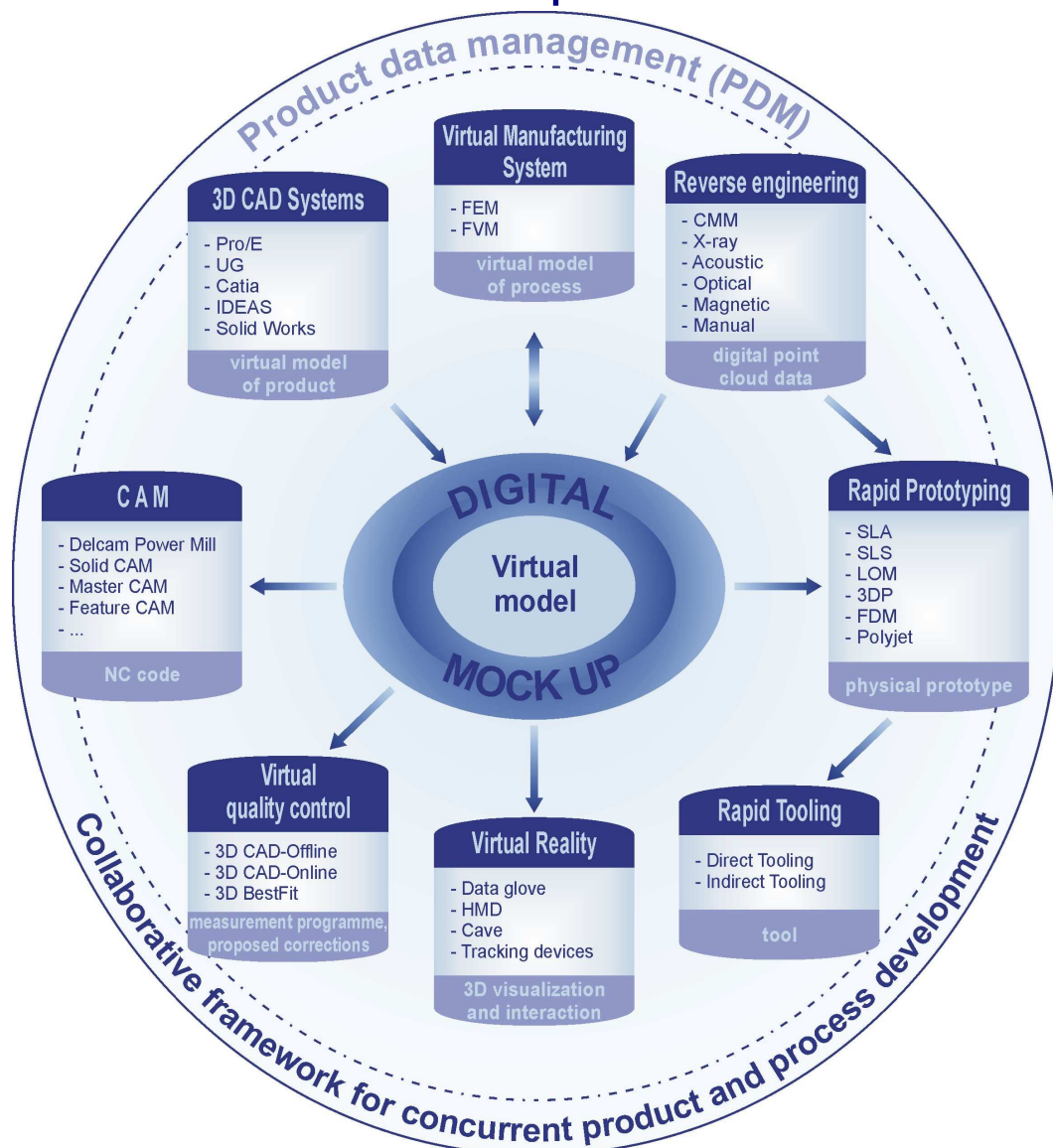
1. UVOD

Virtuelni inženjering (VE) je napredna tehnologija koja pomaže inženjerima u donošenju odluka i uspostavljanju kontrole u procesu razvoja proizvoda i njegove izrade, koristeći računarsko okruženje za preciznu simulaciju geometrijskih i fizičkih osobina realnih sistema. VE uključuje simulaciju različitih inženjerskih aktivnosti, počev od projektovanja, proizvodnje alata i komponenti proizvoda, montaže, kontrole i servisiranja. Primena simulacija može eliminisati skupe fizičke prototipove i eksperimente. Vreme razvoja se drastično smanjuje, više projektnih alternativa se može proveriti, što rezultira povećanju kvaliteta. VE takođe obezbeđuje izvanredni korisnički interfejs, koji dozvoljava korisniku da vidi trodimenzionalni model proizvoda unapred, da preduzme neophodne izmene, i da prati ponašanje materijala u proizvodnim procesima. Takve sposobnosti VE sistema su veoma dragocene u automobilskoj i avio industriji, gde su fizički modeli skupi, zahtevaju veliko vreme razvoja, a proizvodi su ekstremno složeni.

U prvom delu je dat opis komponenti VE sistema, tj. tehnologija virtuelnog inženjeringa koje se primenjuju u virtuelnom razvoju proizvoda i procesa, brzom izradi prototipova, validaciji i verifikaciji projektnih rešenja i kontroli kvaliteta. To uključuje takođe i prikaz literature i *state of the art* u ovoj oblasti, a pre svega u integrativnom pristupu u primeni VE tehnologija u inženjerskom projektovanju. U drugom delu je kroz studiju slučaja prikazana kompletna VE integracija u reinženjeringu proizvoda i tehnologije za njegovu izradu. Predloženi integrisani sistem predstavlja veoma koristan „alat“ u inženjerskom projektovanju, ne samo za istraživače već i za inženjere iz industrije.

2. KOMPONENTE SISTEMA VIRTUELNOG INŽENJERINGA

Tehnologije virtuelnog inženjeringa, integrišu inženjerske i proizvodne aktivnosti, koristeći virtuelne modele i simulacije umesto realnih objekata i operacija nad njima. To je svojevrsni «digitalni alat» za simulaciju i optimizaciju proizvodnje, kroz modele proizvoda i procesa razvijene u virtuelnom okruženju, sa naprednim mogućnostima brze izrade prototipova i brze proizvodnje, prikaza u 3D okruženju, kolaborativnih funkcija za efikasnu saradnju timova, čak i onih udaljenih, uz pouzdano čuvanje svih elektronskih podataka koji opisuju proizvod i procese za njegovu izradu, servisiranje i prodaju [1]. Na slici 1 su prikazane komponente sistema virtuelnog inženjeringa gde centralno mesto zauzima virtuelni model proizvoda, odnosno njegov kompletan opis i svi generisani digitalni podaci u životnom ciklusu proizvoda tzv. Digital mock up. U daljem će biti opisane sve komponente pojedinačno i biti istaknut značaj njihove primene. Kao što se može videti, prikazane VE tehnologije su međusobno povezane i skoro sve baziraju na generisanju ili primeni virtuelnog modela proizvoda.



Slika 1 – Komponente sistema virtuelnog inženjeringa i njihove interakcije

2.1 Virtuelni prototipovi (*Virtual prototyping – VP*)

Virtuelni prototipovi (VP) su nezaobilazni deo procesa razvoja novog proizvoda. U fazi kreiranja virtuelnog prototipa proizvoda, vrši se procena i provera njegovog dizajna, ponašanja u sklopu i razmatranju uslovi njegove eksploatacije. Često se u ovoj fazi otkrivaju greške u projektovanju, pa je ova faza iterativna, odnosno posle eliminacije eventualnih grešaka prototip se ponovo kreira, sve do njegovog konačnog izgleda. Različite vrste analiza se mogu realizovati u ovoj fazi razvoja proizvoda. Posebno je značajna primena virtuelnih prototipova u onim industrijskim oblastima gde je inače razvoj novog proizvoda veoma skup i zahtevan proces, kao što je automobilska industrija.

VP tehnologije korišćenjem virtuelnih modela omogućavaju vizuelizaciju proizvoda, ispitivanje njegove funkcionalnosti i eksploatacijskih karakteristika pre same proizvodnje, procenu uticaja parametara procesa na karakteristike proizvoda u njegovom konceptualnom

dizajnu. Moderni CAD/CAM/CAE sistemi su moćni alati koji mogu simulirati ceo životni ciklus proizvoda, od konceptualnog do detaljnog dizajna, testiranja, montaže, održavanja i same prodaje. Pored toga, oni omogućavaju simulaciju toka materijala u proizvodnom procesu, optimizaciju lead time, kinematike mašina, putanje alata za mašinsiranje i ostalih proizvodnih uređaja. Mogućnosti automatskog generisanje NC koda i simulacije kretanja alata, izbora strategija i provere tolerancija su posebno značajne u izradi alata i delova na CNC mašinama. Takođe, u savremenim CA alatima na raspolaganju su moduli za automatsko projektovanje gravura alata na osnovu modela proizvoda, u procesima injekcionog brizganja plastike, kovanja, livenja, obrade lima i ostalih.

2.2 Fizički prototipovi (*Physical prototyping – Rapid prototyping/manufacturing - RPM*)

RP tehnologije preko fizičkog modela proizvoda i alata omogućavaju analizu funkcionalnosti proizvoda u sklopu, proveru dizajna, ergonomsku analizu i ostala funkcionalna testiranja. Nesumljivo je da razvoj proizvoda i procesa na virtuelnim modelima ima esencijalni značaj za projektante, ali fizička izrada prototipa može značajno unaprediti proces projektovanja. Na ovaj način se rezultati dobijeni CAD/CAM/CAE tehnologijom mogu verifikovati korišćenjem fizičkih modela proizvoda i alata.

RP se pojavila kao ključna enabling tehnologija, čija primena je pokazala skracenje lead time oko 60% u odnosu na tradicionalni način. Na primer, za razvoj automobila je bilo potrebno oko 60 meseci, pre 10 godina, a sada je vreme razvoja skraceno na 18 meseci prosečno. Primenjuju se u širokom spektru industrijskih oblasti, za dostizanje niza ciljeva koje moderno tržište stavlja ispred njih, kao što su primarni zahtevi skraćenja vremena do pojave proizvoda na tržištu i smanjenje cene proizvoda. Kao najvažnije prednosti brze izrade prototipova može se izdvojiti sledeće:

- izradu modela namenjenih istraživanju tržišta, marketinga i dizajna ambalaže;
- smanjenje vremena do pojave novog proizvoda na tržištu;
- zadovoljenje zahteva korisnika u pogledu kvaliteta proizvoda;
- povećanje asortimana proizvoda uz smanjenje rizika u plasmanu novog proizvoda;
- uočavanje i eliminacija projektnih grešaka u ranoj fazi projektovanja;
- transformacija 3D CAD modela u precizne fizičke modele uz troškove koji predstavljaju mali deo od ukupnih troškova izrade po tradicionalnim metodama, jer ne postoje troškovi izrade alata;

Smanjenje troškova postiže se kroz značajnu redukciju vremena potrebnog za iterativno dolaženje do konačnog idejnog rešenja proizvoda, kao i kroz smanjenje troškova alata. Fizički prototip zamišljenog proizvoda može se izraditi za nekoliko dana, uz uočavanje eventualnih grešaka u dizajnu pri tome. To omogućava da se analiza proizvoda sa nekog tržišnog aspekta vrši još u ranoj fazi izrade proizvoda, pre nego što je on dospelo na tržište. Time se postiže kvalitetna uključenost krajnjeg korisnika proizvoda, jer je moguće, kroz realizovane tržišne analize sprovedene nad prototipom, implementirati poboljšanja proizvoda s aspekta primedbi korisnika. Testiranje proizvoda može se vršiti sa prototipom, što je naročito značajno ako se on izrađuje od krajnjih materijala, što nove RP tehnologije omogućavaju. Otkrivanje većih grešaka u ranoj fazi može kompaniji uštedeti milione dolara, naročito u oblasti velikoserijske proizvodnje (kao što je na primer, automobilska industrija).

Kada RP model sadrži I ostale funkcije osim geometrije I oblika, kao što su specijalne mehaničke karakteristike (RP na bazi plastike, kompozita, metala), elektromagnetne osobine, ili biološke osobine (biokompatibilni materijali), onda se mogu koristiti ne samo u proizvodnji u avio- I auto-industriji, već I u household appliance fields and biomedicini. Tako je RP, I trend skraćanja vremena razvoja uslovio pojavu RT (rapid tooling) and BM (biomanufacturing) tehnologija. Sve zajeno čine integrisani rapid pristup RPM (rapid prototyping/manufacturing). Tako razvijeni delovi/alati/implantanti se mogu koristiti direktno za analizu I procenu structure, funkcionalnog ponašanja, dizajna I uklapanja za tzv. customized products.

2.3 Reverzni inženjering (*Reverse engineering - RE*)

Tehnika brze izrade prototipova proizvoda i alata je usko povezana sa RE tehnologijom. Reverzni inženjering je process digitalizacije postojećeg dela, sklopa ili celog proizvoda, preciznim merenjem ili skeniranjem. Primena ove tehnologije je posebno korisna kada nisu dostupni računarski modeli tehnicke dokumentacije, u proveru modela ili redizajnu postojećeg proizvoda, kao i u pripremi digitalnih modela za RP. 3D digitalizacija i rekonstrukcija 3D objekata primenom RE tehnika ima brojne primene u oblastima koje uključuju proizvodnju, umetnost, nauku, medicinu i marketing.

Razlikuju se dve faze RE procesa: prva koju čini digitalizovanje podataka ili merenje posmatranog objekta, i druga, u okviru koje se vrši 3D modeliranje objekta na osnovu prikupljenih podataka. Izlaz iz prve faze RE procesa predstavlja digitalni opis objekta u trodimenzionalnom prostoru, koji se naziva oblak tačaka.

U primeni je danas veliki broj različitih metoda za 3D digitalizaciju. Kao najpoznatiji, odnosno sa najvećom primenom u praksi, mogu se izdvojiti sledeći sistemi za 3D digitalizaciju: koordinatne merne mašine (sa kontaktnim i beskontaktnim - laserskim mernim glavama), zatim danas sve popularniji ručno upravljani 3D pantografi, interferometrija, fotogrametrija, a u poslednje vreme sve više i kompjuterska tomografija (CT). Digitalni podaci, uobičajeno predstavljeni kao oblak tačaka, ne sadrže potrebne topološke informacije. Oni se dalje procesiraju i modeliraju u neki pogodniji format s aspekta dalje primene, kao što su: 3D poligonalni model (dobijen triangulacijom), 3D geometrijski model (dobijen primenom NURBS površina) ili CAD model. Za obradu oblaka tačaka koriste se softveri kao što su Imageware, Rapidform ili Geomagic. Oni oblak tačaka prevode u oblik pogodniji za ulaz u druge sisteme (CAD/CAM/CAE, RP/RT/RM) ili za vizuelizaciju. Kada se generišu površine od digitalizovanih podataka, one se procesiraju do formiranja prostornog, solid modela objekta.

Reverzni inženjering se koristi u slučaju kada je dokumentacija za neki proizvod izgubljena (ili nikada nije ni sačinjena). Često je potrebno i nešto što je proizvedeno na zastarelim sistemima redizajnirati i prilagoditi novim tehnologijama. Generalno, može se reći da se u praksi RE realizuje iz jednog od sledećih razloga:

- originalni proizvođač/dobavljač više ne proizvodi, ne želi ili nije sposoban da proizvede određeni proizvod/alat/komponentu, ili zahteva visoke cene za pojedinačne delove;
- neadekvatna, nepotpuna ili izgubljena tehnička dokumentacija o proizvodu;
- originalni CAD model nije pogodan za modifikacije proizvoda i tehnologija;
- radi reinženjeringa zastarelih proizvoda ili procesa modernijim materijalima i tehnologijama;

- redizajn proizvoda radi otklanjanja loših karakteristika proizvoda;
- analiziranja dobrih i loših karakteristika konkurentskog proizvoda i istraživanja novih pristupa.

2.4 Virtuelna stvarnost (*Virtual reality - VR*)

Prirodni nastavak 3D kompjuterske grafike su nove VR tehnologije sa naprednim ulazno-izlaznim uređajima, koje se u poslednjoj dekadi intenzivno razvijaju i primenjuju u vodećim istraživačkim centrima u svetu. VR tehnologijom se generiše sintetičko, odnosno virtuelno okruženje u kome je omogućeno trodimenzionalno predstavljanje proizvoda, alata, procesa u realnom vremenu, u realnim uslovima, uz interakciju sa korisnikom (konstruktor, projektant, krajnji korisnik...), što otvara nove perspektive u industriji. Osnovni problemi u VP tehnologijama su predstavljanje trodimenzionalnih geometrija i funkcija kroz dvodimenzionalne ulazno-izlazne medije. Primenom VR tehnologija ti problemi se eliminišu, s obzirom da projektant u imerzivnom VR okruženju ima osećaj stvarne interakcije sa modelom proizvoda i procesa, koji može biti u prirodnoj veličini. Posebno je to značajno u fazi detaljnog dizajna proizvoda, virtuelnoj montaži sklopova, ili proveru karakteristika složenih proizvoda u automobilske i avio industriji. Značajne su primene VR tehnologija i u biomedicini za dijagnostičke aktivnosti i preoperativne analize kroz 3D prikaz virtuelnih modela generisanih na osnovu CT snimaka unutrašnjih organa pacijenata.

Virtuelna realnost se može definisati na više načina, pri čemu se sve svode na definisanje određenog značajnog odnosa između čoveka i računara. Može se opisati kao simulacija u okviru koje se kompjuterska grafika primenjuje za kreiranje sveta realističnog izgleda, pri čemu taj sintetički svet nije statičan, već odgovara na određeni način na reakciju korisnika i modifikuje okruženje u realnom vremenu. Interaktivnost i njena snaga doprinose snažnom osećaju imerzije – uključenja u akcije u okruženju u kome se korisnik nalazi. Korisnik ne samo da vidi i manipuliše grafičkim objektima na ekranu, već ih on takođe može dodirivati i čak osećati. Istraživanja u ovoj oblasti idu čak i u pravcu razvoja odgovarajućih senzora za čulo ukusa i mirisa.

Velika potreba za realnošću u prezentaciji postoji u okviru širokog spektra oblasti, od edukacije, umetnosti, medicine, pa sve do virtuelne proizvodnje. I pored toga, primena VR sistema se još uvek može najvećim delom posmatrati kao eksperimentalna. Veća primena VR sistema može se očekivati u budućnosti, kada svi nedostaci postojećih tehnologija budu otklonjeni, kada ona bude prilagođenija i sa aspekta softverske i hardverske podrške, ali i kada određene konzervativnosti u poslovanju budu prevaziđene, kod ključnih grupa za uvođenje VR tehnologija u praksu.

2.5 Virtuelna proizvodnja (*Virtual manufacturing - VM*)

Termin Virtuelna proizvodnja se široko koristi u literaturi, sa nekoliko različitih definicija, koje na sledeći način karakterišu VM: „*To manufacture of virtual products defined as an aggregation of computer based information that... provide a representation of the properties and behaviours of an actualized product*” [2]. Ključne reči koje asociraju na VM su “manufacturing in the computer”. Kao što primena CAD/CAM tehnologija omogućava skraćivanje vremena u dizajnu proizvoda, tako VM ima slične efekte u projektovanju

tehnologije I proizvodnih procesa za njegovu proizvodnju, kroz njihovo modeliranje, simulaciju I optimizaciju.

Često okarakterisana kao «Sledeća revolucija u globalnoj proizvodnji», virtuelna proizvodnja podrazumeva nelinearnu FEM (Finite Element Method) ili FVM (Finite Element Method) analizu i simulaciju svih procesa u tehnologiji izrade nekog proizvoda. Simulacija tehnologije omogućuje kompanijama da optimiziraju ključne faktore koji direktno utiču na profitabilnost proizvoda, kao što su: obradivost, finalni oblik i tačnost, nivo zaostalih napona, pouzdanost u eksploataciji itd. Profitabilnost se povećava smanjenjem troškova proizvodnje, uštedom materijala, eliminisanjem otkaza, skraćanjem vremena i troškova razvoja proizvoda i projektovanja alata kroz smanjenje neuspelih pokušaja.

Primena numeričkih simulacija je dobro proveren i ekstremno koristan alat za predviđanje problema u industrijskoj proizvodnji i smanjenje vremena i troškova u razvoju novih proizvoda. Skupo testiranje alata i korekcije u više navrata su prisutne u tradicionalnom «trial-and-error» projektovanju procesa. Iako je baziran na bogatom iskustvu eksperata iz industrije, takav način ne može zadovoljiti potrebe kompanija da na brz i efikasan način, razviju nove konkurentne proizvode za globalno tržište. S obzirom da koncept konkurentnog inženjeringa podrazumeva simultano izvođenje svih projektnih aktivnosti, to su VM tehnologije našle punu primenu u inženjerskim analizama proizvoda i procesa, u ranoj fazi konceptualnog projektovanja, pri proceni projektnih alternativa.

Njihova osnovna prednost je mogućnost izvođenja «šta-ako» simulacija, omogućavajući projektantima da procene različite projektne alternative na virtuelnim modelima procesa, koji se planiraju u izradi proizvoda. Kako su virtuelni modeli procesa jako fleksibilni, omogućavaju ispitivanje uticaja projektnih izmena, kako geometrije proizvoda tako i parametara procesa, na kvalitet proizvoda i troškove proizvodnje. U takvim uslovima moguća je relativno brzo uraditi sensitivity analizu u uslovima paralelnog procesiranja, i utvrditi područja optimizovanog projektonog rešenja. Pored toga, moguće je predviđanje otkaza i pojave defekata u proizvodu, optimalno korišćenje proizvodne opreme i alata, procena habanja i životnog veka alata, i prevencija loma. Optimalni izbor relevantnih parametara proizvodnje ima pozitivne konsekvence na smanjenje time-to-market, troškova proizvodnje, materijala i alata, kao i povećanje finalnog kvaliteta proizvoda [3].

Alati za numeričku simulaciju proizvodnih procesa su ne samo podrška razvoju proizvoda i optimizaciji proizvodnih procesa, već i sredstvo za podršku PLM sistemu, za donošenje pravih odluka od strane menadžmenta, u ranoj fazi projektovanja, jer omogućuju između ostalog:

- pravi izbor proizvodnih tehnologija za proizvodnju proizvoda
- pravi izbor materijala za proizvod
- verifikaciju geometrije alata
- smanjenje broja prototipova alata
- optimizaciju parametara procesa za specifične proizvodne tehnologije
- pravilan izbor proizvodne opreme kroz procenu deformacione sile
- predviđanje tečenja materijala,
- određivanje distribucija deformacija, napona, temperatura, naprezanja na alatima,
- identifikovanje potencijalnih izvora defekata
- procena osobina i mikrostrukture proizvoda,
- procenu elastičnog ispravljanja i zaostalih napona.

2.6 Digitalni model (*Digital mock up - DMU*)

DMU je termin koji se poslednjih godina koristi kao ključna reč za inovativno projektovanje proizvoda primenom tehnologija virtuelnog inženjeringa. DMU je platforma za digitalno, virtuelno opisivanje proizvoda u njegovom razvoju, projektovanju i proizvodnji, odnosno platforma za integraciju svih gore navedenih tehnologija virtuelnog inženjeringa. Razvoj proizvoda baziran na ovoj platformi je optimiziran 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 €, uz dosta veliko vreme izrade. Najbolji primeri u primeni DMU u autoindustriji je Chrysler Corporation koja je rešila oko 1200 potencijalnih grešaka pre probne proizvodnje. Boeing je smanjio broj grešaka i potrebu za reprojektovanjem 70-80%, štedeći pri tome 100 000 projektnih sati i milione dolara.

2.7 Upravljanje podacima o proizvodu (*Product data management - PDM*)

Potpuna integracija tehnologija virtuelnog inženjeringa u procesu projektovanja proizvoda, tehnologija i alata omogućuje simulaciju i procenu više projektnih alternativa do dostizanja optimalne, koja zadovoljava zahteve tržišta i potrošača. Velika složenost modela i analiza, koja u osnovi ima mnoštvo različitih tipova podataka može dovesti do problema u protoku digitalnih informacija i podataka. PDM tehnologija nudi rešenje za pouzdano čuvanje i praćenje podataka, tako da prava informacija i podatak budu pravovremeno dostupni pravoj osobi u projektnom timu. Osim toga, elektronski podatak mora biti raspoloživ u različitim formatima, kako bi se nesmetano prenosio između podsistema VE okruženja, preko odgovarajućih interfejsa (Slika 1). Pri razvoju PDM sistema, koji treba da zadovolji gore navedenu osnovnu funkciju mora se izbeći postojanje: različitih korisničkih interfejsa, nestandardnih pristupa u upravljanju podacima u CAD podsistemu, nepouzdanog upravljanja i smeštanja meta-podataka, komplikovanih struktura, nedozvoljenih pristupi i vlasništva nad podacima, inkompatibilnosti različitih CAD sistema, složenih inženjerskih procesa i nepouzdanog povezivanja više korisnika.

2.8 Upravljanje životnim ciklusom proizvoda (*Product life cycle management - PLM*)

Poslednjih godina, vodeći proizvođači su prihvatili PLM kao sredstvo za snažno i pozdano 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 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.

2.9 Kolaborativno okruženje (*Collaborative framework*)

Kolaborativna okruženja za integrisano projektovanje omogućuje različitim grupama uključenim u proces projektovanja da rade zajedno na razvoju efikasnog virtuelnog modela proizvoda. Ovakav pristup otvara nove mogućnosti i područja za markentišku analizu, višekriterijumsku procenu dizajna proizvoda i varijanti proizvodnje, optimizaciju karakteristika proizvoda za obezbeđenje visokog kvaliteta, pouzdanosti i proizvodnosti, laku montažu i održavanje. Na taj način se značajno smanjuje vreme i troškovi razvoja, životni ciklus proizvoda, a poboljšava njegov kvalitet i eksploatacijske karakteristike. Vodeći proizvođači softvera nude industriji kao krajnim korisnicima kompletna rešenja (tzv. *Total Solution*) integrisanih VPD¹.

2.10 Virtuelna kontrola kvaliteta i verifikacija (*Virtual quality control and verification*)

Poznato je da je metrologija integralni deo proizvodnih procesa, a sa razvojem sistema za digitalizaciju geometrije i objekata, koji se ujedno koriste i u RE tehnologijama, ona zauzima značajno mesto i u ranim fazama projektovanja proizvoda i verifikacije alternative projektnih rešenja. Izbor metoda i tehnika za kontrolu kvaliteta proizvoda i verifikaciju projektnih rešenja zavisi od fizičke skale (mili, micro, nano), oblika komponenti proizvoda (složene, sa ili bez unutrašnjih features), boje i topografije površina itd. Klasifikacija metoda dimenzione verifikacije obuhvata bezkontaktne (magnitne, akustičke, optičke) and kontaktne metode (robotske ruke i CMM), pri čemu su optičke metode i koordinatna metrologija najzastupljenije.

Današnji trendovi su adresirani na primenu sistema koji omogućavaju kontrolu i merenje primenom više metoda, tj. senzora, kao što su multisenzorske CMM. One kombinuju prednosti optičkih i kontaktnih metoda za dobijanje mnoštva informacija za dimenzionu i verifikaciju topografije površina. Mogućnosti modernih metroloških sistema su u najvećoj meri podržane moćnim softverima koji upravljaju procesom akvizicije podataka i obradom merenja, do automatizovane procene the measurement uncertainty. Dodatno, CAD on-line i CAD off-line funkcije omogućavaju pripremu programa za merenje bez fizičkog dela, a na osnovu njegovog virtuelnog modela.

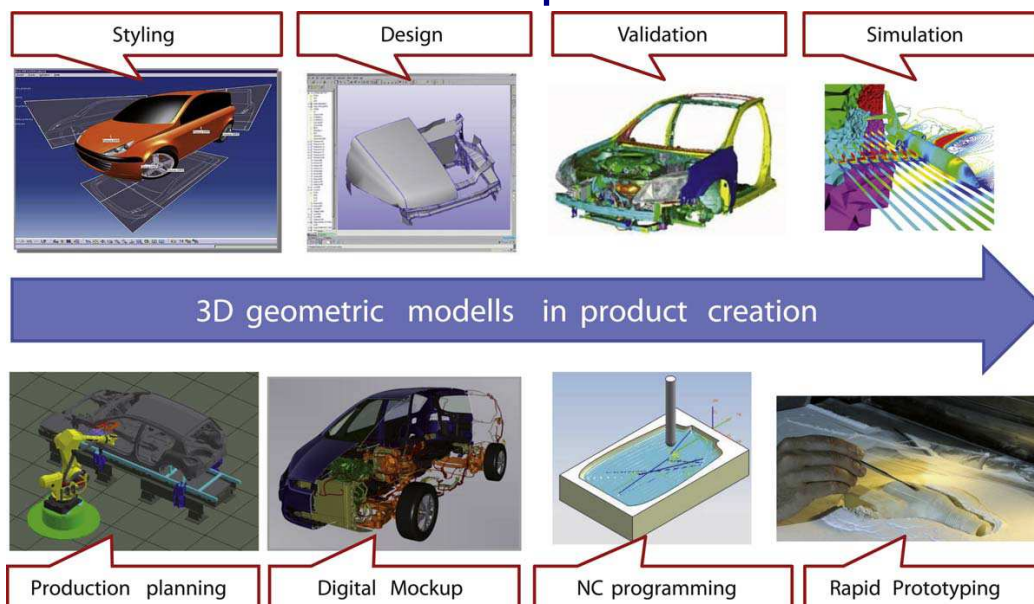
¹ VPD – *Virtual Product Development*

3. INTEGRACIJA TEHNOLOGIJA VIRTUELNOG INŽENJERINGA

Jedan od osnovnih problema u proizvodnji je kako integrisati inženjerske i proizvodne aktivnosti, s obzirom da se integracija mora bazirati na interakciji između dizajnera, projekatara, tehnologa, dobavljača i kupaca, u celom životnom ciklusu proizvoda, odnosno, u aktivnostima dizajna, projektovanja, proizvodnje, testiranja, održavanja i marketinga. Da bi se dostigao zadovoljavajući stepen integracije, neophodno je imati model koji pokriva sve inženjerske funkcije, protok informacija i precizne karakteristike proizvodnih sistema. Proizvodne kompanije su prinuđene da digitalizuju proizvodne informacije i ubrzaju proizvodnu inovativnost, kako bi povećale svoju konkurentnost na globalnom tržištu. VE sistem ne daje materijalizovani izlaz, odnosno fizički proizvod, ali pruža sve neophodne informacije o njima i dozvoljava njihovu procenu i verifikaciju. Virtuelni modeli proizvoda i procesa su fleksibilni i omogućavaju željeni broj iteracija do dostizanja optimalnog rešenja. Pored toga, njegovim korišćenjem se mogu pouzdano predvideti poslovni rizici, i time podržati menadžment u donošenju odluka i strateškom upravljanju u kompaniji.

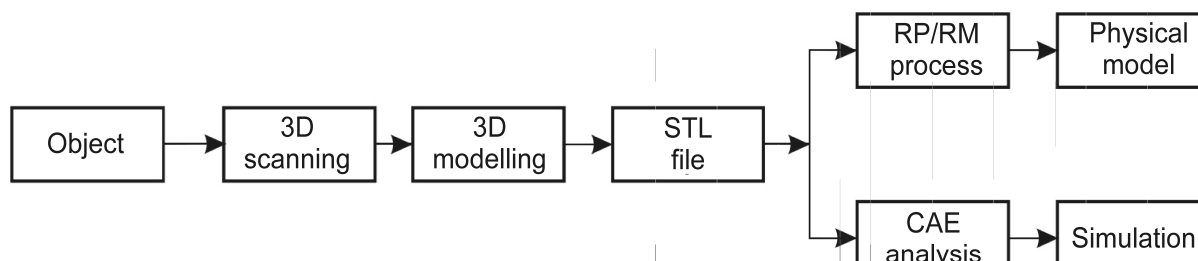
Integrirano VE rešenje obezbeđuje objedinjeno okruženje za modeliranje, analizu i simulaciju proizvoda i proizvodnih procesa, i takođe onemogućava gubitak informacija i elektronskih podataka, koje često postoji u njihovom transferu. Ono omogućava lak prenos podataka iz različitih sistema, od projektovanja do njihove analize i provere, i obezbeđuje dobru osnovu za virtuelni inženjering baziran na modelima i simulacijama. Pored toga, virtuelno okruženje pruža dizajnerima i projektantima vizuelizaciju proizvoda i njegovo bolje razumevanje, vodeći ka poboljšanju kvaliteta, skraćanju vremena do plasmana proizvoda, obezbeđujući projektno rešenje koje je pravo, bez potrebe za kasnijim skupim redizajnom.

Veliki broj radova u literaturi prezentira najnovija istraživanja i dostignuća u oblasti virtuelnog razvoja proizvoda i procesa, realizavanog u integrisanom VE sistemu, koji koristi set gore opisanih tehnologija za modeliranje, simulaciju, optimizaciju, kontrolu i verifikaciju realnih proizvodnih sistema i projektovanih proizvoda. Stark et al [4] su analizirali ključne elemente u modernom virtuelnom dizajnu i projektovanju proizvoda, koji uključuje parametarski dizajn u 3D-CAD modeliranju, CAE analize, CNC proizvodnju, validaciju simulacijama i brzim prototipovima, Digital Mock-ups, za kreiranje robustnog integrisanog sistema u competitive engineering design (Slika 2). Takođe se ističu prednosti korišćenja VR tehnika za interaktivnu procenu virtuelnih prototipova.



Slika 2 – Virtuelne tehnologija u projektovanju proizvoda [4]

Sa razvojem CAD tehnologija, reverzni inženjering postaje održivi metod za kreiranje 3D virtualnog modela postojećeg fizičkog objekta, koji se dalje koristi kao ulaz u različite CAD/CAM/CAE sisteme. Najčešće je korisno izraditi brzi prototip od skeniranog objekta, pa se digitalni model dobijen RE tehnikom, prevodi u STL format, koji predstavlja standardnu formu ulaznih podataka za bilo koji RP proces. Pošto se STL fajl učitava u operativni sistem mašine za RP proces, izrađuje se replika skeniranog fizičkog objekta. Na slici 3 šematski su prikazane faze RE tehnike za uključivanje u CAD/CAM/CAE sisteme ili RP/RM procese.



Slika 3 - Šematski prikaz integracije RE tehnike u CAD/CAE/RP/RM sistem

Pristup integrisanog projektovanja i proizvodnje je primenjen u [5] za optimizaciju oblika strukturnih komponenti, startujući od projektovanja jednostavnih struktura, baziranom na reverznom inženjeringu primenom CMM ili laser scanning, zadavanja graničnih uslova vezano za složeni sklop i eksploatacijske zahteve, preko primene VM tehnologija u proveru tehnološkosti proizvodnje i proceni troškova za predložene strukturne komponente. Za validaciju su osim virtuelnih modela komponenti i tehnoloških procesa, korišćeni brzi prototipovi. Na kraju primena CAM tehnologija i CNC proizvodnja funkcionalnih delova i alata.

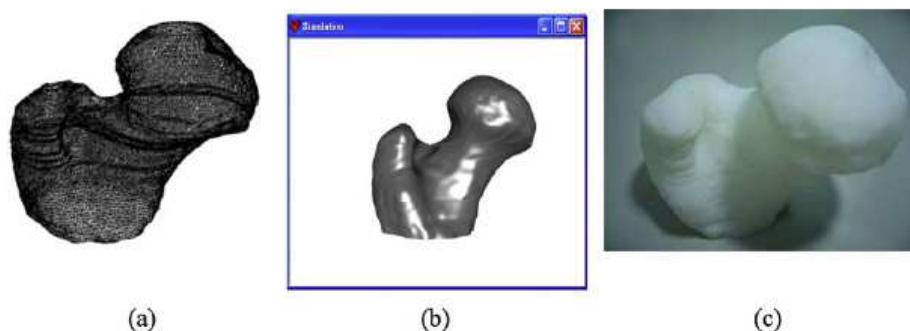
Rezultati integrisane primene 3D digitalizacije i RE tehnika u rapid tooling konceptu u tehnologijama livenja, zajedno sa FE analizom (CAE) za obezbedjenje tačnosti i geometrije alata i optimizacije, predstavljeni su u [6]. Prednosti ovog koncepta su demonstrirane na četiri studije slučaja. Autori sitiču da integracija RE/CAE/RT tehnologija značajno poboljšava

konkurentsku poziciju proizvođača na tržištu kroz smanjenje vremena i troškova projektovanja, ako i same proizvodnje.

Sličan RT integrisani proizvodni sistem je razvijen i demonstriran kroz studije slučaja [7] baziran i na RP tehnikama. Arhitektura sistema sadrži 4 bloka: digitalni prototip, virtuelni prototip, fizički prototip i RT sistem. Digitalni prototip se generiše CAD softverom ili RE tehnikom. Virtuelni prototip se odnosi na CAE (FE) analizu za optimizaciju projektovanja alata i planiranje proizvodnje, dok se RP tehnike koriste za izradu master modela za dalji RT sistem. Kroz integraciju *virtual/rapid* tehnika ovaj sistem vodi ka sigurnom smanjenju ciklusa i troškova u dizajnu alata kroz minimizaciju grešaka. Dosta istraživanja je u poslednje vreme sprovedeno primenom integracije RP i RT tehnika, ili poznatih kao RPM (*Rapid Prototyping/Manufacturing*) tehnika [8,9,10].

Tehnike reverznog inženjeringa se uspešno koriste za optimizaciju dizajna komponenti, podsklopova ili podsistema u smislu promena materijala već postojećih, novih tehnologija i generalno poboljšanju i re-engineeringu postojećih proizvoda i procesa. Javidrad i ost. [11] su predložili integrisani re-inženjering plan za zamenu avio-komponenti i pod-sistema, koji se sastoji iz četiri koraka: prikupljanje tehničkih podataka (RE-CMM), analiza podataka i simulacija (FEA), procesiranje i implementacija. Predloženi plan su demonstrirali na re-inženjeringu sigurnosne membrane (*rupture disc*), gde su primenjeni novi materijali i novi proizvodni procesi, verifikujući predloženo rešenje funkcionalnim testom.

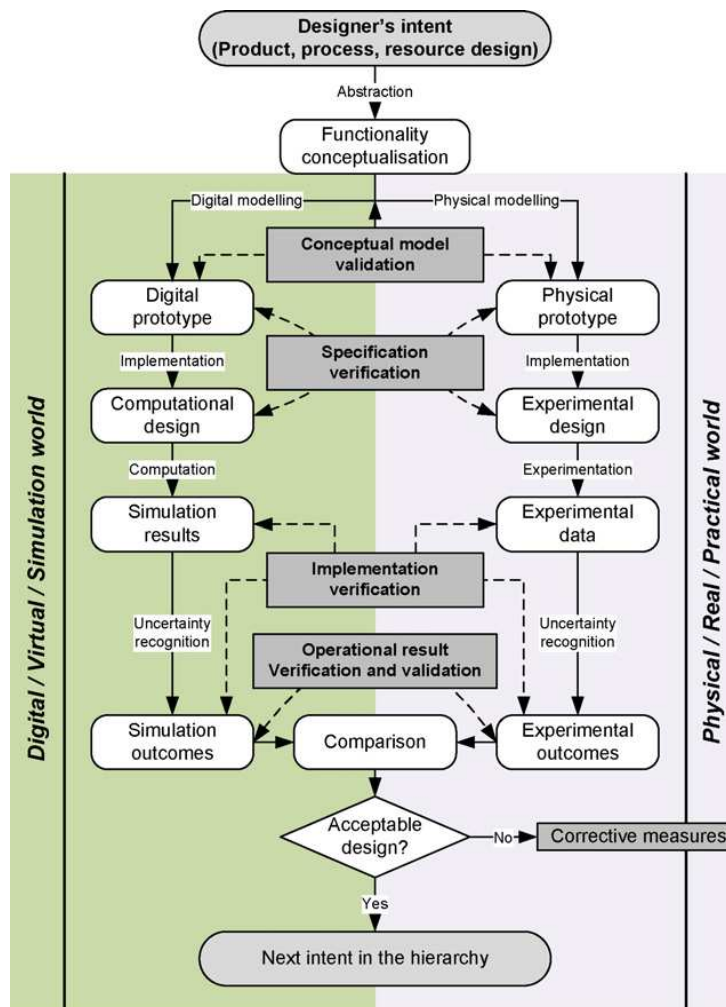
Osim razvoja, istraživanja i aplikacija integrisanih sistema u inženjerstvu, u poslednjim godinama je taj koncept sve više u primeni u medicini, koja predstavlja značajan potencijal za buduće aplikacije. CT snimci internih struktura ljudskog tela imaju limitiranu primenu u dijagnostici kao 2D slike, stoga je 3D CAD modeliranje unutrašnjih struktura veoma važno kako za samu dijagnostiku, predoperativne pripreme i RP fizičkih modela i implantanata. Korak napred je i prikaz CAD modela u VRML formatu primenom VR tehnologija uz podršku hardverskih i softverskih komponenti, ulaznih i izlaznih uređaja VR sistema [12]. Na slici 4 prikazan je rekonstruisan CAD model u vidu STL fajla, VR prikaz i RP model femur bone.



Slika 4 – Rekonstrukcija butne kosti: a) STL mreža b) VR prikaz c) RP model [12]

Nesumljivo da su tehnike virtuelnog inženjeringa zastupljene i u virtuelnoj kontroli kvaliteta, pa je teško postaviti granicu izmedju digitalnog i fizičkog sveta u modernoj metrologiji. Process integracije digitalne i fizičke verifikacije i validacije je izložen u [13]. Autori analiziraju metode i tehnike za verifikaciju i validaciju dizajna, posebno kod složenih proizvoda u njihovom životnom ciklusu, uz razmatranje industrijskih zahteva i potreba i trendova u istraživanju pokrivenih internacionalnim standardima. Integracija metrologije u procese dizajna, kao rana verifikacija konceptualnih varijanti, i same proizvodnje su ključni budući

trendovi. Razvoj naprednih PLM capabilities, po mišljenju autora, je vitalno važno za uspešnu primenu I implementaciju novih metoda za verifikaciju&validaciju (V&V) dizajna. Polazeci od širokih definicija V&V u digitalnim I fizičkim domenima, ističe se da je digitalna/virtuelna verifikacija kroz modeliranje I simulaciju u sve većoj primeni u ranim fazama razvoja proizvoda, s obzirom da su troškovi znatno manji nego u fizičkoj. Sa slike 5 je evidentno da se oba "sveta" mogu kombinovati I koristiti jer sve faze verifikacije su moguću u oba domena I komplementarna.



Slika 5 – Verifikacija u digitalnom I fizičkom svetu [13]

4. PRAKTIČNI PRIMER

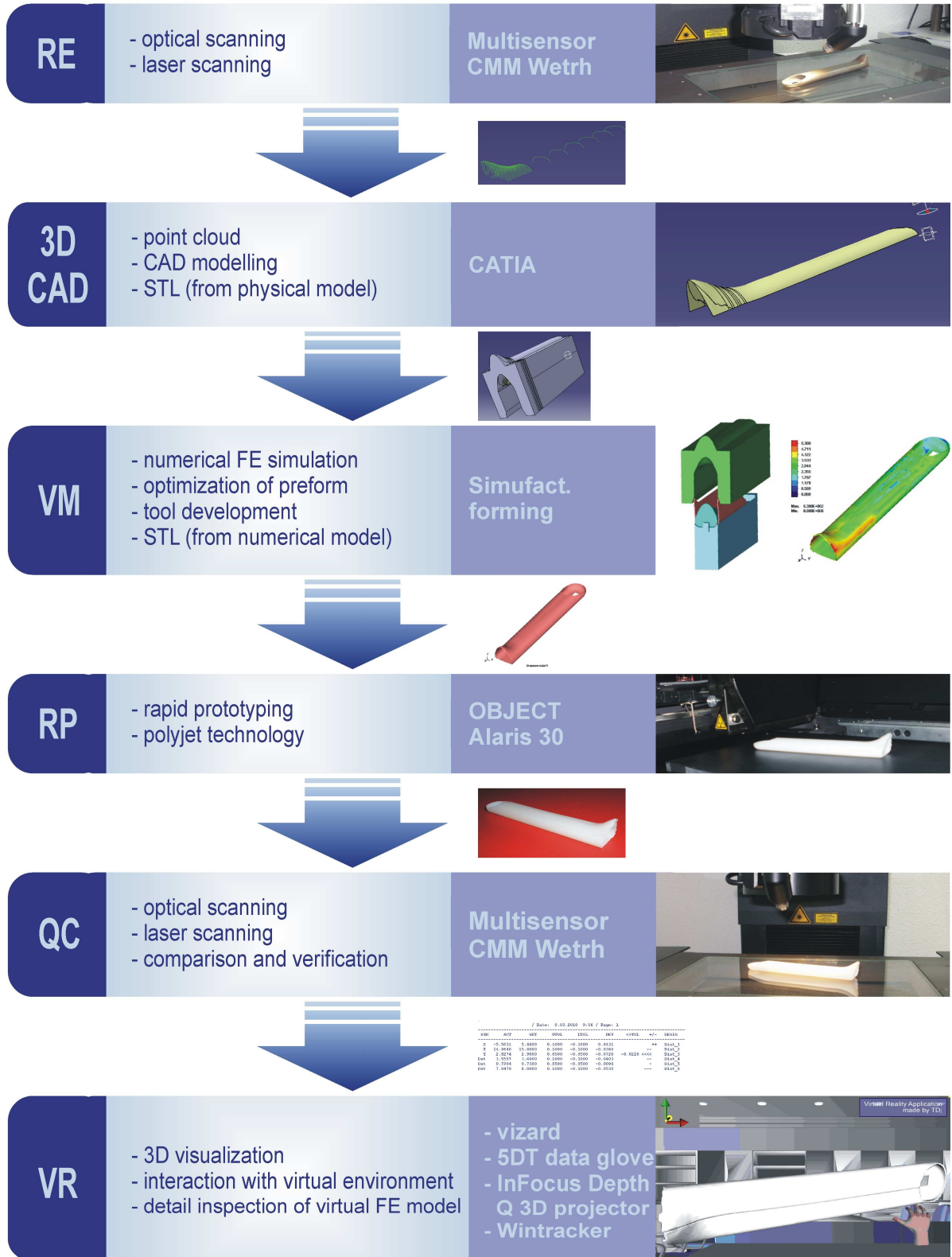
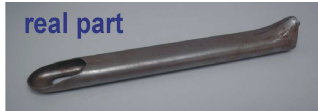
Glavni cilj prikazane studije slučaja je da se na proizvodljivo izabranom proizvodu, odnosno komponenti proizvoda, primeni integrisani VE pristup u re-inženjeringu tehnoloških procesa u obradi lima I verifikacija predloženog dizajna alata primenom virtuelnih I fizičkih prototipova. Ručica od lima, koja se koristi u izradi različitih vrsta posuđa, dobija se postupcima prosecanja, probijanja, dubokog izvlačenja I savijanja. Poslednja operacija savijanja, I zatvaranja ručice može biti nestabilna, u zavisnosti od oblika pripremla I prethodne operacije dubokog izvlačenja/savijanja, dodatno uslovljena I anizotropijom lima. Ako se takva komponenta kupuje, ne postoji tehnološka dokumentacija za tehnološki postupak I izradu alata.

Ukoliko se razvoj tehnologija I dizajn alata radi isključivo na bazi iskustva projekatana, potrebno je dosta fizičkih prototipova alata i *try-outs*. Virtuelni razvoj proizvoda I optimizacija tehnoloških procesa daje značajno skraćanje vremena razvoja I smanjenje vremena I troškova razvoja. Pored toga, projektni timovi mogu dati više rešenja za različite varijante stylinga ovakvih proizvoda za široku potrošnju, što daje mogućnost kompanijama da se konkurentski pozicioniraju na tržištu sa redizajniranim proizvodima.

Kako je digitalni model komponente proizvoda osnova za integrisanu primenu VE tehnologija, kako je to prikazano na slici 1, primenjeni re-inženjering pristup je obuhvatio sledeće tehnologije:

1. Revezni inženjering (CMM–optički I laserski senzori) – za skeniranje pripremla I nepravilnih površina proizvoda
2. CAD modeliranje – za 2D model pripremla I 3D model proizvoda
3. Virtuelna proizvodnja (FE simulacije) – za virtuelnu verifikaciju I validaciju predloženje tehnologija izrade ručice i projektovanje alata
4. Brza izrada prototipova (PolyJet) – za fizičku verifikaciju FE modela proizvoda
5. kontrola kvaliteta (CMM) – za upoređenje izmedju realnog dela ručice I RP modela virtuelnog FE rezultata
6. Virtuelna stvarnost (5DT instrument rukavica, uređaj za praćenje kretanja, 3D projector I stereoskopske naočari) – za 3D vizuelizaciju I interakciju korisnika sa virtuelnim modelom
7. CAM modeliranje – za generisanje NC koda za CNC mašine

Na slici 6 prikazana je predložena re-inženjering procedura za razvoj proizvoda i procesa u integrisanom okruženju virtuelnog inženjeringa.



Slika 6 – Proporučena procedura re-inženjeringa u integrisanom VE okruženju

Polaz je gotov deo od lima, dobijen od proizvođača posuđa (Metalac d.o.o), koji koristi gotove alate i tehnološki postupak izrade čiji je razvoj realizovan kao outsourcing. Postojala je potreba da se uradi re-inženjering tehnologija I dalji redizajn ručice za ostale proizvode, ako se primenjena procedura pokaže korisnom I pouzdanom. Na slici 7 prikazana je ručica I pripremak koji se opseca iz lima C0146 (Fe P01 / St12).



Slika 7 – Finalni deo I pripremak

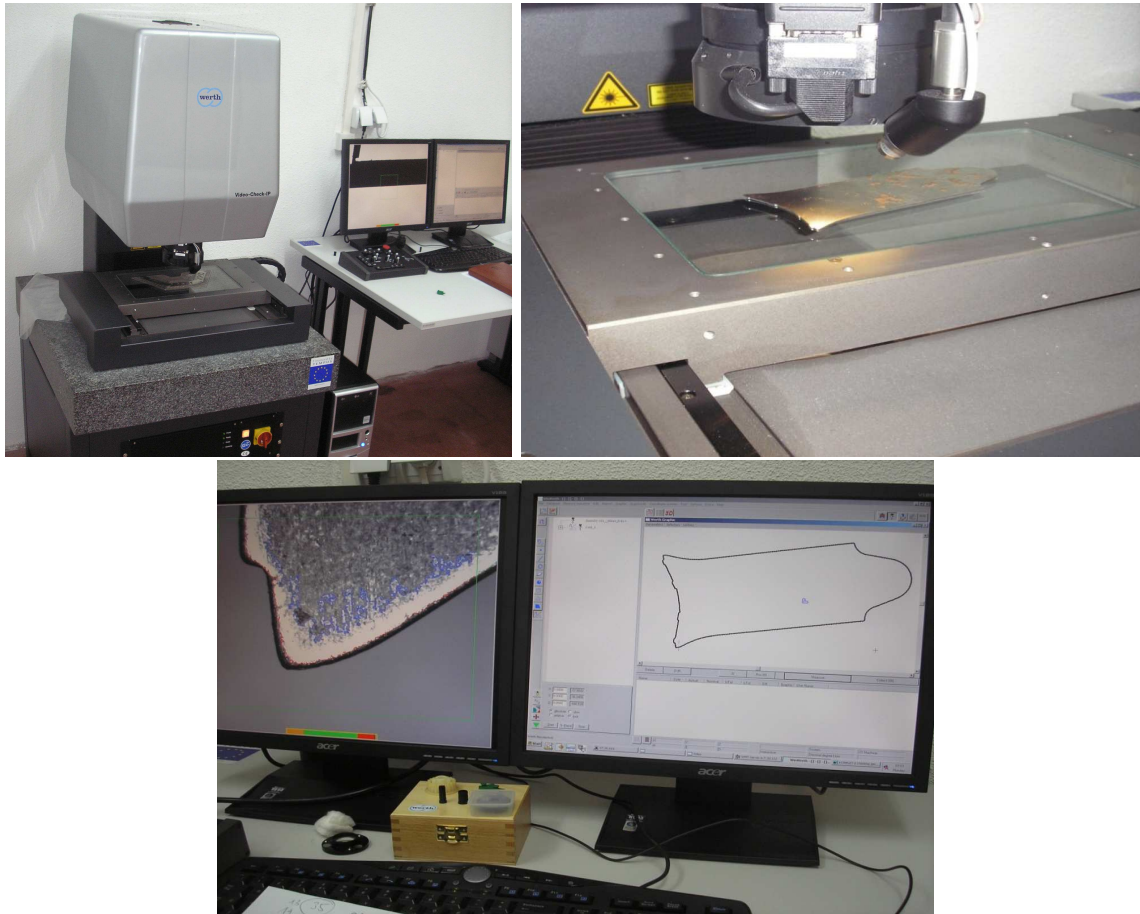
Primenjena tehnologija za proizvodnju ručice obuhvata sledeće operacije:

- Prosecanje sa probijanjem - ovom operacijom se iz table lima dobija razvijeno stanje radnog komada
- Dvougono savijanje sa dubokim izlačenjem - predstavlja prvu operaciju oblikovanja donje površine ručice
- Savijanje - poslednja operacija kojom se oblikuje gornja površina ručice i finalno zatvaranje lima na zahtevani oblik

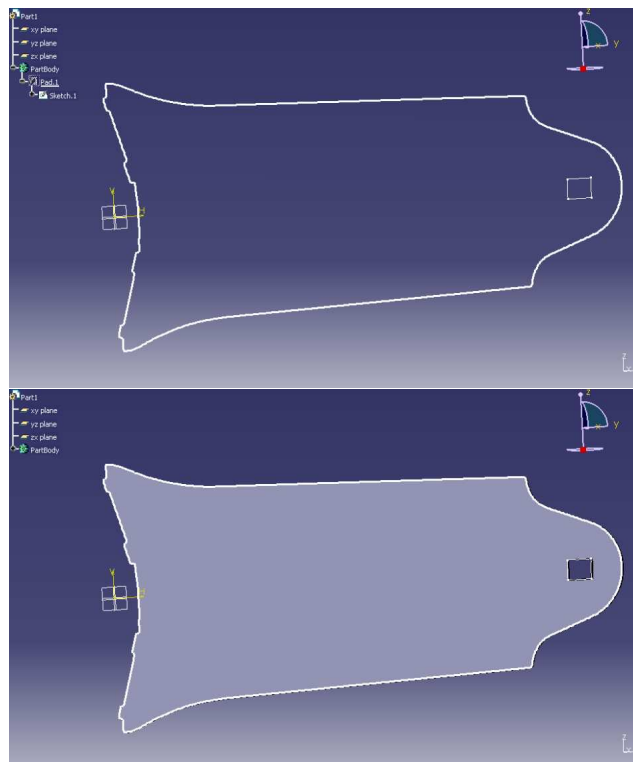
Gotov deo i pripremak su skenirani na multisenzorskoj koordinatoj mernoj mašini WERTH VideoCheck IP250, koja je opremljena sa tri senzora: optički, laser I fiber kontakti senzor. Pošto je pripremak ravanska figura uradjeno je optičko skeniranje za zatvorenom 2D konturom i kao izlaz je dobijen ASCII fajl sa koordinatama tačaka na ivicama opsečenog priprema. Pritom je izabrana opcija *backlighting* kada svetlost koja osvetljava radni komad dolazi odozdo, čime su konturne ivice vidljive na ekranu kao senka. Na slici 8 prikazan je pripremak na stolu CMM I odgovarajući prikaz rezultata skeniranja na monitoru.

Oblak tačaka u ASCII formatu je importovan u programski paket CATIA, u Digitized shape editor, gde se povezivanjem tačaka dobija konturna linija priprema. Konturna linija se koristi u Part-design za dobijanje 3D modela priprema sa definisanom debljinom lima. Oba CAD modela su prikazana na slici 9. Pripremljen model priprema je exportovan u STL format za dalje korišćenje u CAE softveru Simufact.forming.

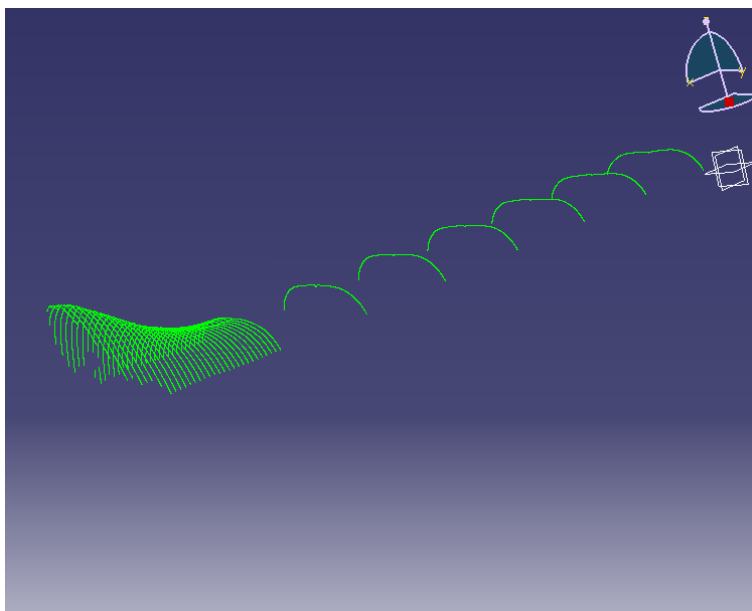
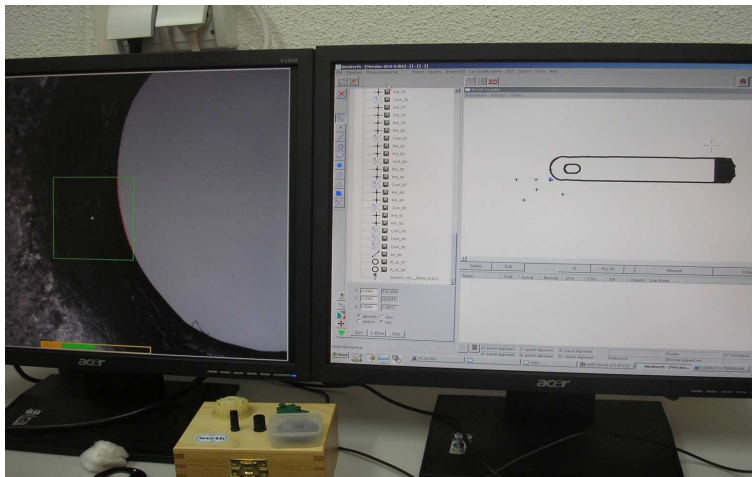
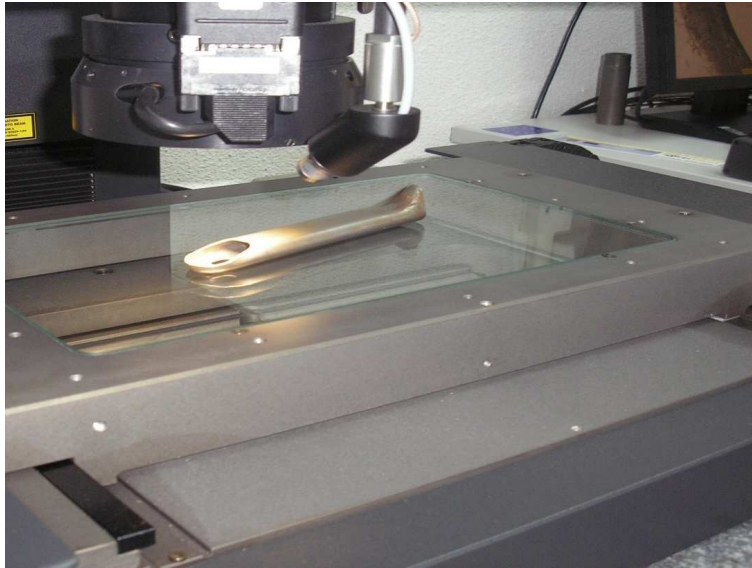
Skeniranje gotovog dela je izvedeno korišćenjem optičkog i laser senzora u opciji 3D scanning. Optičkim skeniranjem je registrovan konturni oblik sa opcijom autofocus, kao što je to prikazano na slici 10, a laser senzorom je skenirana gornja površina ručice. Na delu ručice sa promenljivim presekom I složenom površinom registrovane su laser scan lines na međusobnom rastojanju 0.75mm, dok je na ravnom delu ručice skeniranje 3D oblika radjeno sa linijama udaljenim po 20mm. Kao I u prethodnom slučaju, rezultat oba skeniranja je exportovan kao ASCII fajl, naknadno importovan u CATIA posredstvom Digitized shape editor (v.sl. 10).



Slika 8 – Optičko 2D skeniranje priprema od lima na CMM



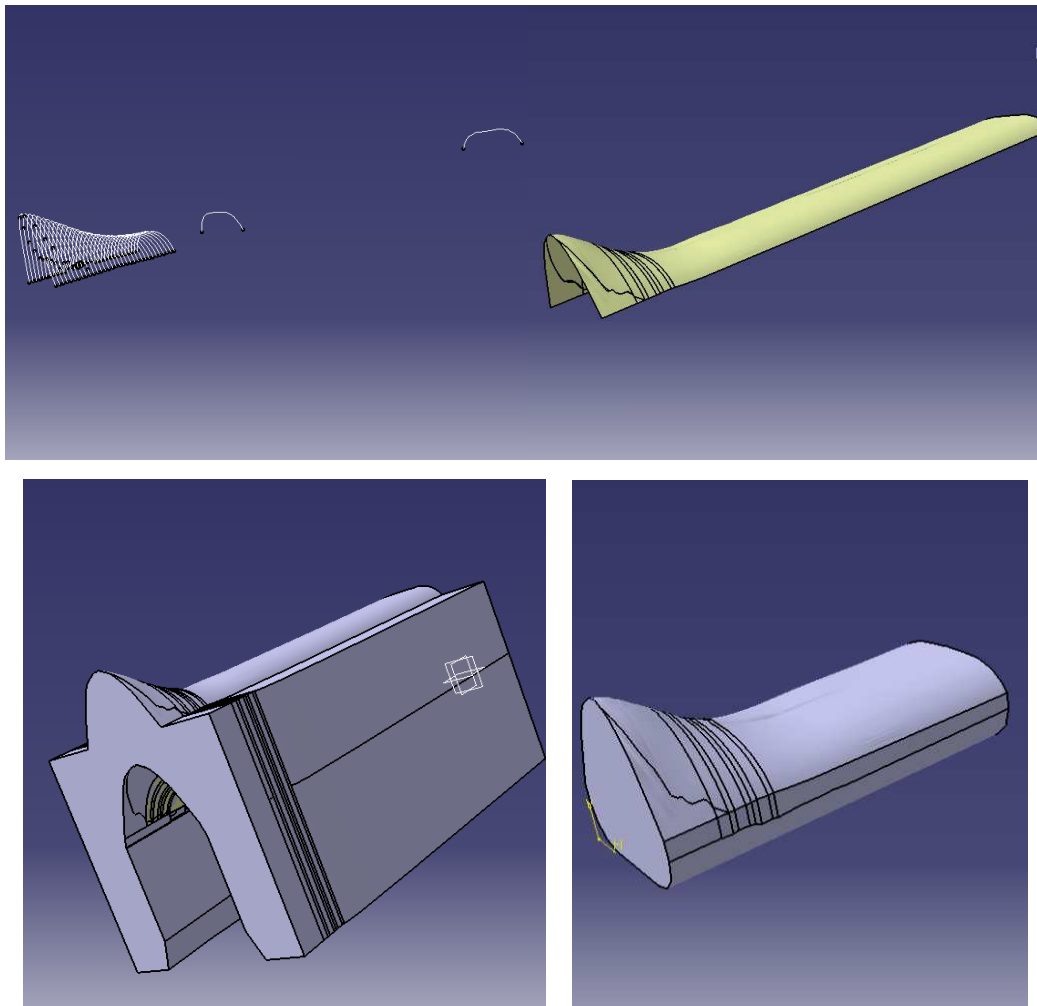
Slika 9 – CAD model skeniranog priprema



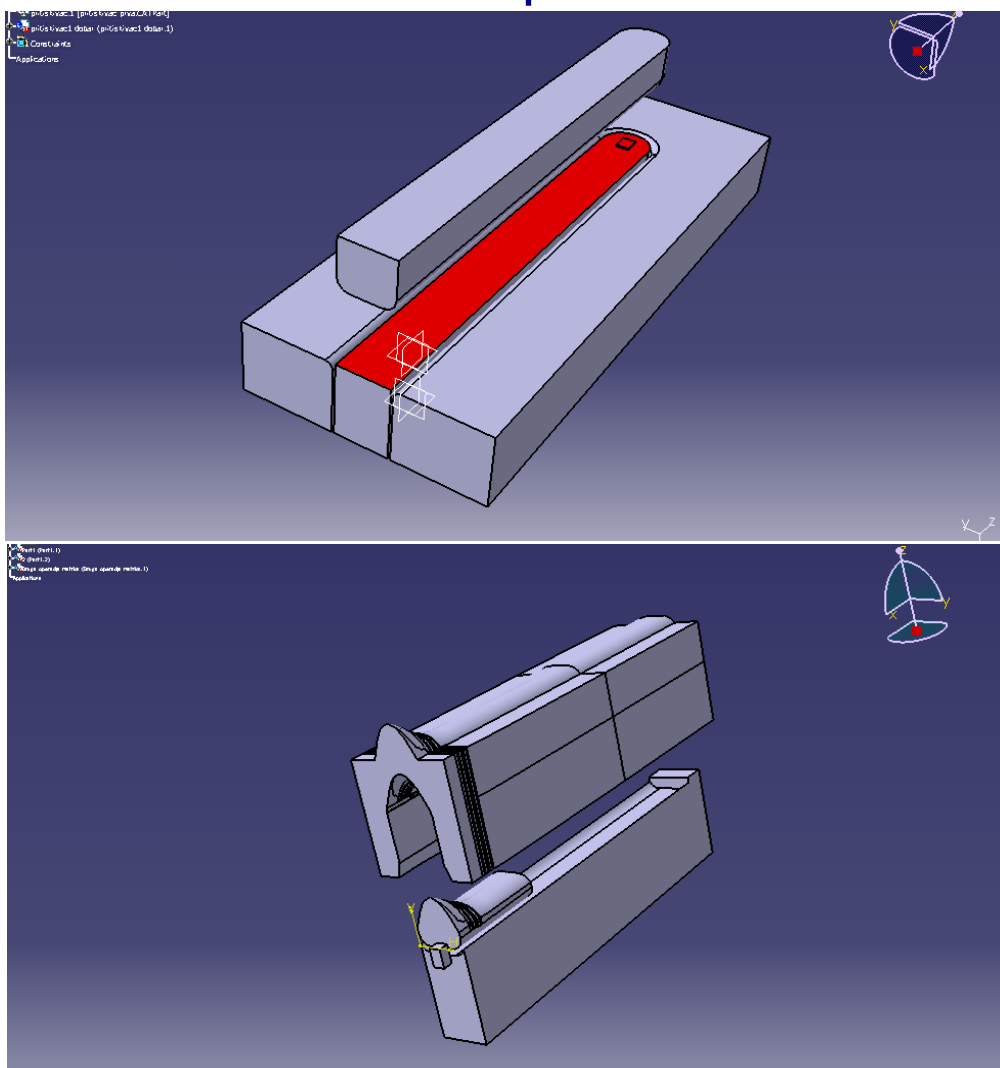
Slika 10 – Optičko I lasersko 3D skeniranje finalnog dela na CMM, I importovan oblak tačaka

U Generativ shape desing su imprtovane scan linije iskorišćene za provlačenje presečnih površi, čime je generisana čitava kontaktna površina gornjeg dela alata za drugu operaciju savijanja i finalnog oblikovanja ručice. Generisana površina je korišćena za modeliranje gornjeg dela alata, čiji je CAD model prikazan na slici 11. U slučaju CAD modeliranja mandrel površina je offset za debljinu lima 0.7mm. Model madrel je prikazan na slici 11, takodje.

Za operacije oblikovanja lima uradjeni su CAD modeli alata, prikazani na slici 12. Za prvu operaciju oblikovanja, na osnovu scan conture i merenja je definisan oblik gornjeg pritiskivača. Matrica za prvu operaciju oblikovanja odgovara obliku pritiskivača, uzimajući u obzir proračinate zazure. Centralni deo alata se oslanja na opruge, obezbedjujući potrebnu silu držanja u toku oblikovanja a nakon toga ima funkciju izbacivača. Alat za drugu operaciju oblikovanja se sastoji iz pritiskivača, mandrel I oslone ploče koja prima prethodno oblikovani deo.

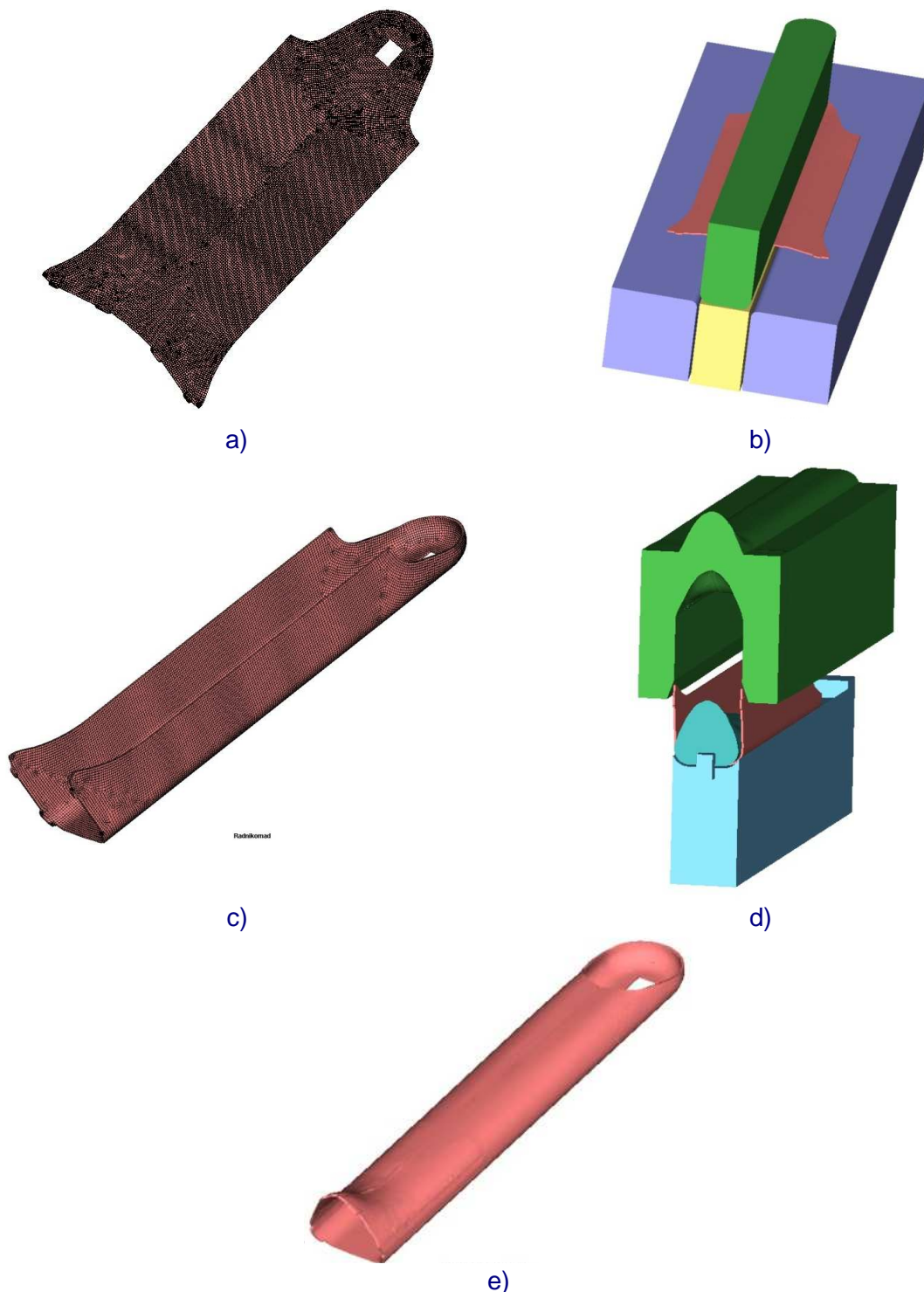


Slika 11 – Transformisanje laser-scan linija u CAD površine I 3D modele (gornji alat i umetak)



Slika 12 – CAD modeli alata za operacije oblikovanja savijanje I duboko izvlačenje (levo) I finalno oblikovanje (desno)

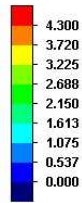
Simulacija metodom konačnih elemenata (FE) za obe operacije oblikovanja je realizovana korišćenjem komercijalnog softvera Simufact.forming, kao softverskog rešenja za specijalne simulacione zahteve baziranog na MSC Marc tehnologiji. Primenjen je nelinearni FE pristup sa korišćenjem 3D solid elemenata (HEX), optimizovanih za simulaciju obarde lima, i korišćenjem "2½ D sheet mesher - Sheetmesh". Na slici 13 prikazan je pripremak na kome je inicijelno formirana FE mreža (veličina elementa 0.7mm, dva sloja po debljini), virtuelni sklop alata za prvu operaciju savijanja I dubokog izvlačenja lima, oblikovan obradak nakon prve operacije sa FE mrežom, virtuelni sklop alata za drugu operaciju oblikovanja i konačno virtuelni model drške na kraju oblikovanja. Kriva tečenja je odredjen atestom zatezanja, i definisana matematičkim oblikom $\sigma = 180 + 350\epsilon^{0.23}$, MPa. Uslovi u medjukontaktu su opisani *Coulomb*-ovim zakonom trenja, sa koeficijentom trenja 0.1.



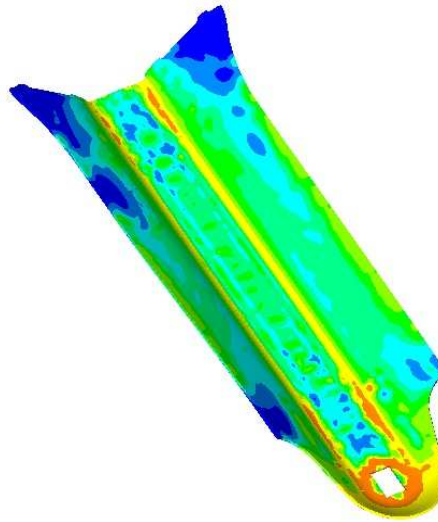
Slika 13 – Numerički modeli: a) pripremak I inicijalna FE mreža b) virtuelni sklop za I operaciju c) FE model posle I operacije d) virtuelni sklop za II operaciju e) finalni FE model

Na slici 14 prikazane su distribucije efektivnog napona u tri numerička stepa u prvoj operaciji oblikovanja, a na slici 15 u finalnoj operaciji oblikovanja. Kada se process modelira numerički metodom konačnih elemenata moguće je analizirati veliki broj izlaznih veličina, u bilo kojem trenutku procesa. Na taj način se osim procene tečenja materijala, pojave defekata u obradi, mogu proceniti I kvalitet proizvoda, preciznost obrade I nivo zaostalih napona.

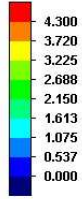
Effective Stress
 E+2 MPa



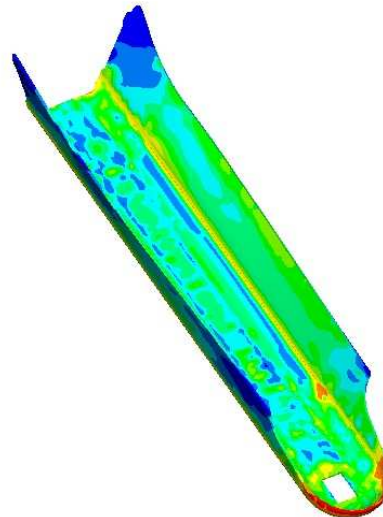
Max. 3.600E+002
 Min. 0.000E+000



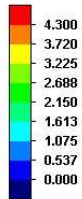
Effective Stress
 E+2 MPa



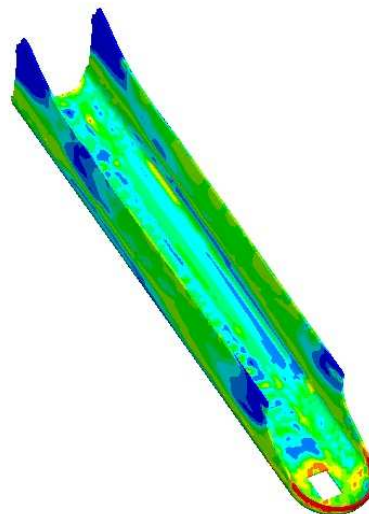
Max. 4.300E+002
 Min. 0.000E+000



Effective Stress
 E+2 MPa

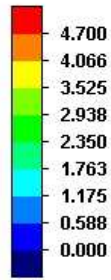


Max. 4.300E+002
 Min. 0.000E+000

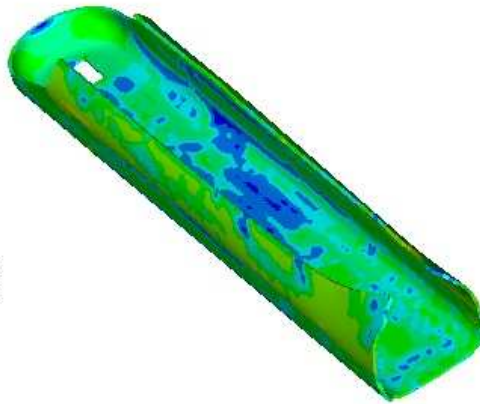


Slika 14 – Polja efektivnog napona u toku prve operacije, savijanja I dubokog izvlačenja

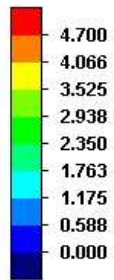
Effective Stress
 E+2 MPa



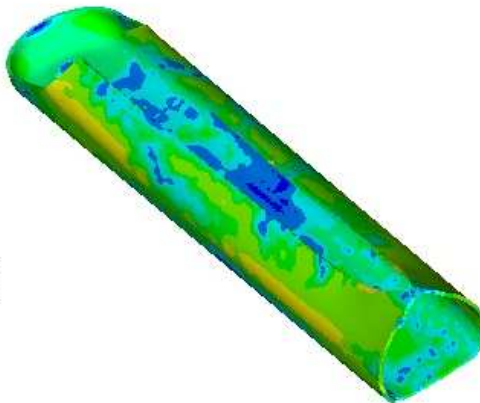
Max. 5.300E+002
 Min. 0.000E+000



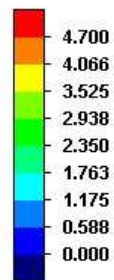
Effective Stress
 E+2 MPa



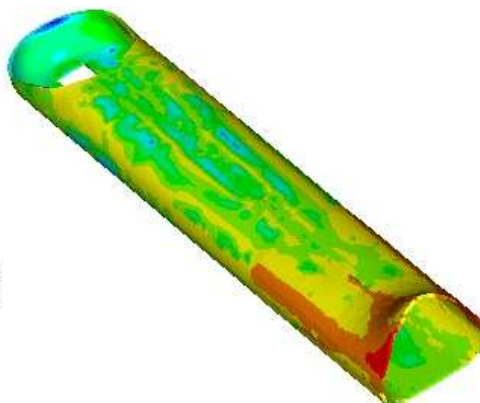
Max. 4.700E+002
 Min. 0.000E+000



Effective Stress
 E+2 MPa

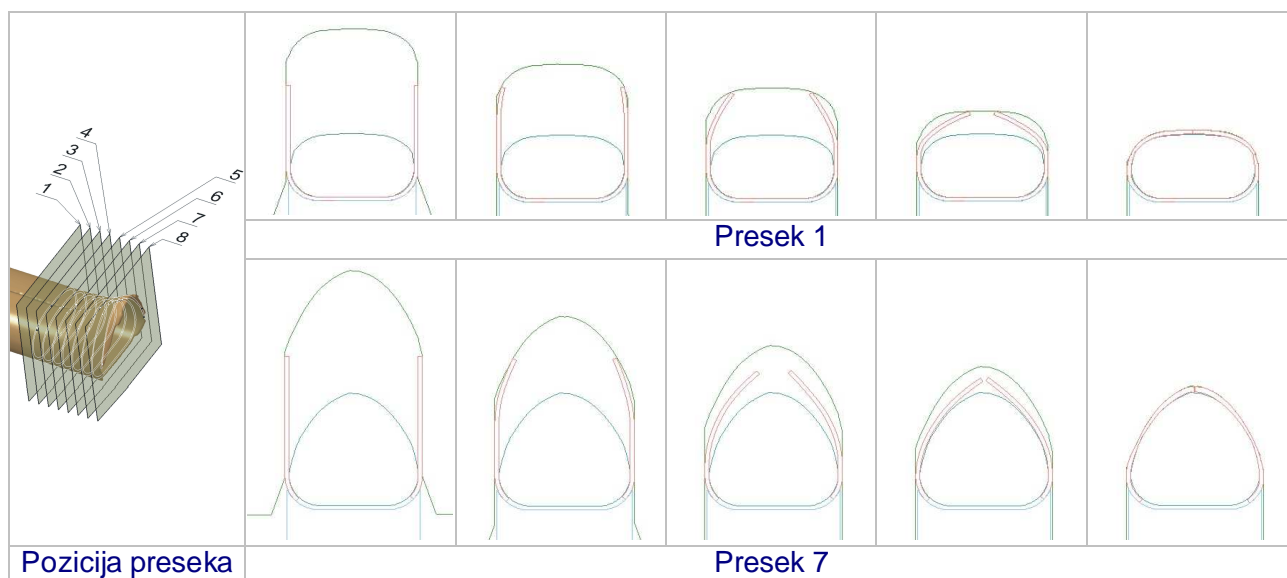


Max. 4.700E+002
 Min. 0.000E+000



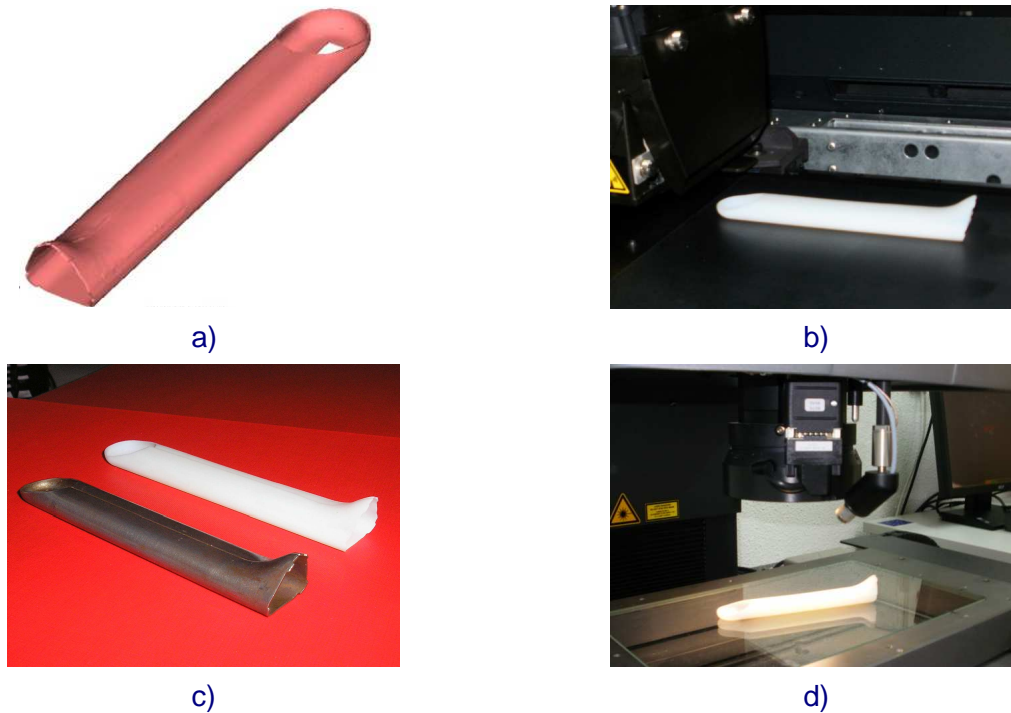
Slika 15 – Polja efektivnog napona u toku druge operacije FE simulacije

U ovom slučaju reinženjeringa procesa I tehnologija dobijanja drške od lima, oblik površina pritiskivača I mandrel, dimenzije I oblik priprema su važne sa aspekta pravilnog popunjavanja alata, tj. savijanja lima I dobijanja finalnog sastava bez preklopa na gornjoj površini ručice. Precizna provera oblikovanja lima I “zatvaranja” ručice u finalnoj operaciji je analizirana u 8 karakterističnih preseka, prikazanih na slici 16. U ovom radu su prikazani neki rezultati FE procene, za preseke 1 I 7, gde je evidentno da je obezbedjeno pravilno popunjavanje alata, oblikovanje lima drške, bez pojave defekata preklopa ili šupljina u spoju.

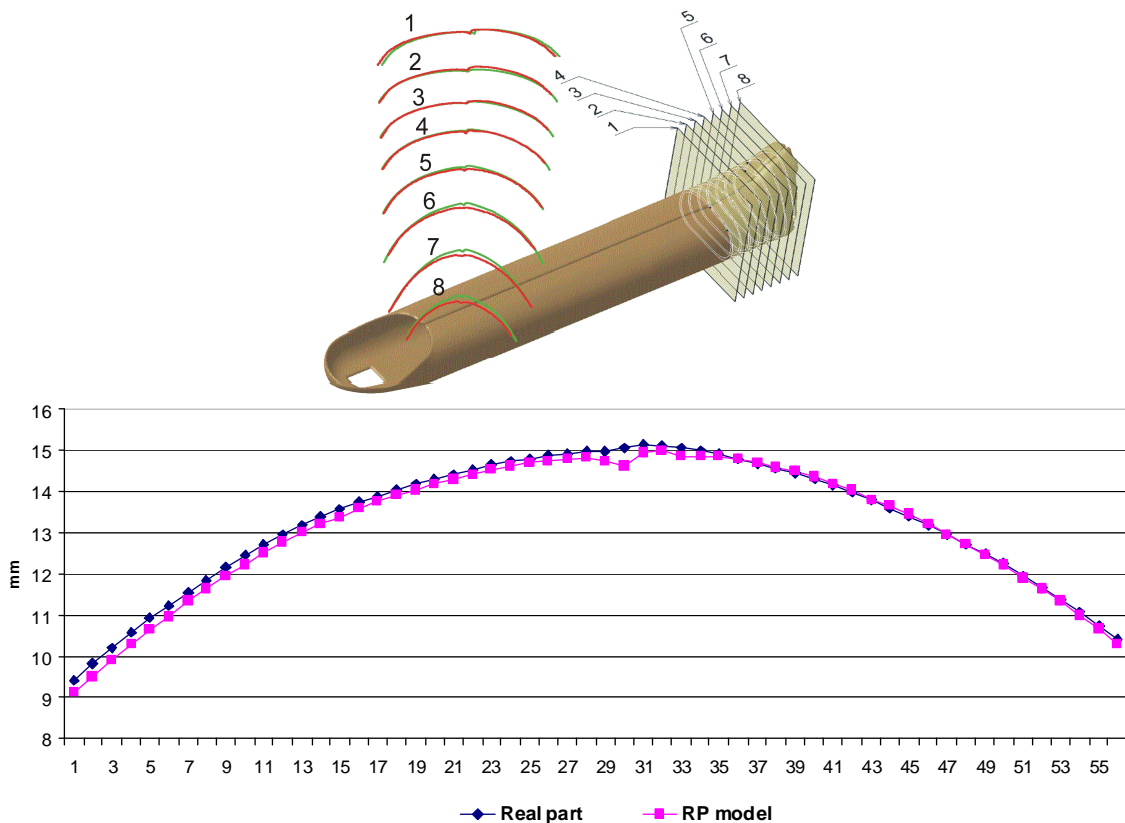


Slika 16 – FE results of final forming of handle, in sections 1 and 7

Ma koliko su numerički modeli procesa I proizvoda dobijeni virtuelnom proizvodnjom sveobuhvatni I pouzdani, postoji potreba da se takvi modeli transformisu u fizičke modele posredstvom RP tehnika, u cilju finalne provere dimenzija I uklapanja. Virtuelni model drške, dobijen FE simulacijom, je exportovan u STL fajl (Slika 17.a) I korišćen za izradu prototipa od plastike primenom PolyJet tehnologija I 3D printera ALARIS 30. PolyJet tehnologija omogućava dobijanje prototipova finih površina, sitnih detalja visoke rezolucije od fotopolimera VeroWhite FullCure 830, nanošenjem tankoh slojeva od 28 μ m, koji očvršćuju po dejstvom UV zraka. Na slici 16 prikazane RP model drške, koji je osim vizuelne kontrole površina korišćen za precizno merenje modela na CMM mašini WERTH. Strategija merenja je identična kao na merenju realnog dela, u cilju reverznog inženjeringa površina. Pozicije preseka za upoređenje oblika I dimenzija realnog dela I RP modela, indirektno FE modela, prikazane su na slici 18. Dijagram na istoj slici prikazuje uporedjenje Z I Y koordinata za presek 4. Ovakav pristup je moguće primeniti za reinženjering I ostalih vrsta procesa, gde se želi precizna verifikacija rezultata FE simulacija I upoređenje fizičkih modela I realnog proizvoda.



Slika 17 – Brza izrada prototipa na osnovu rezultata FE simulacije I kontrolno merenje modela na CMM: a) exportovani STL iz FE simulacije b) RP model na random stolu 3D printera ALARIS 30 c) realni deo i RP d) RP model na CMM za kontrolno merenje



Slika 18 – rezultati merenja – uporedjenje RP-FE modela i realnog dela ručice, presek 4

U integrisanom VE okruženju korisnik može analizirati procese, sisteme, proizvode na realiciji virtuelno-fizički-virtuelno, gde se virtuelni model proizvoda uvodi u VR sistem za 3D prikaz I interakciju sa korisnikom. Virtuelni model drške se može detaljnije analizirati u VR okruženje. Za te potrebe razvijena je VR aplikacija korišćenjem sledećih softverskih I hardverskih komponenti:

1. Vizard VR Toolkit program za kreiranje VR okruženja, pri čemu je softverska aplikacija rađena u programskom jeziku Pyton. Prilikom pravljenja VR aplikacije, korišćen je već ugrađeni modul u Vizard-u, za ostvarivanje komunikacije sa 5DT Data Glove rukavicom
2. 5DT data glove koja omogućava softversko prepoznavanje gestova za određene operacije nad objektom koji se analizira u VR okruženju. U ovom radu su korišćena 4 predefinisana gesta, prikazana na slici 19, kome su dodeljene sledeće akcije nad objektom: translation, rotation, scaling and initial positioning.
3. Wintracker, magnetic 6DOF tracking device za praćenje pokreta data glove, odnosno manipulisanje objektom u VR okruženju. Na osnovu podataka koji se dobijaju od jednog od senzora uređaja za praćenje pokreta, monitiranog na ruku, pomera se virtuelna ruka na ekranu, a samim tim omogućno je I pomeranje virtuelnih objekata od strane korisnika.

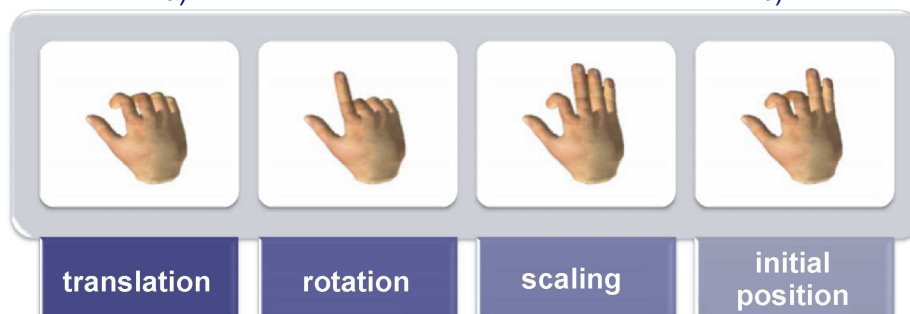
Neki od screenova iz VR aplikacije prikazani su na slici 19. U ovako pripremljenu aplikaciju moguće je uvoditi ostale 3D objekte modelirane u CAD sistemu, ili exportovane iz različitih CAE sistema u vidu STL ili VRML fajla.



a)

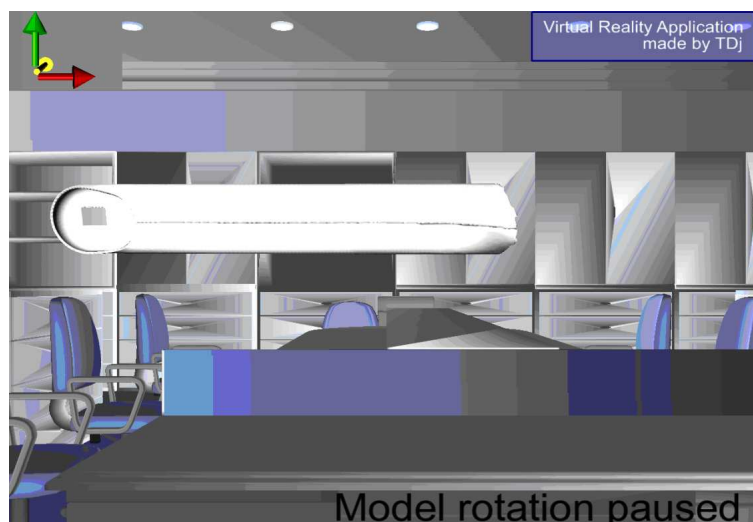
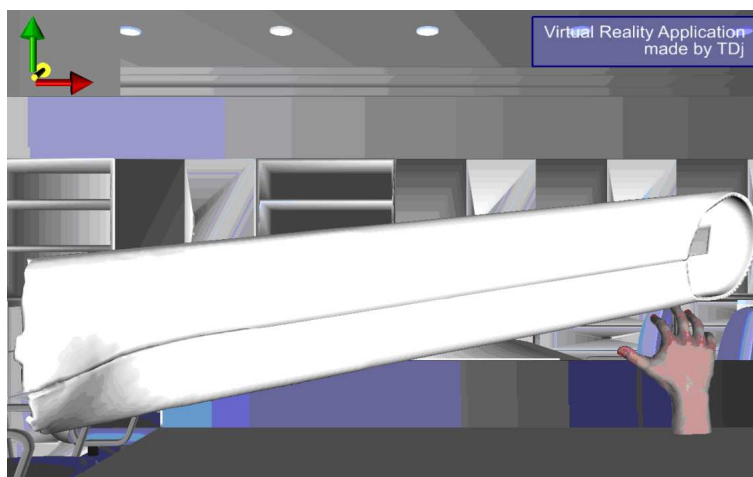


b)



c)

Slika 19 – Oprema za Virtuelnu Stvarnost and 5DT gestovi korišćeni u VR aplikaciji: a) Wintracker, magnetni 6DOF sistem za praćenje kretanja b) 5DT instrument rukavica c) korišćenji gestovi i pridružene akcije



Slika 20 – Virtual reality aplikacija

5. ZAKLJUČCI

U studiji slučaja su prezentirane komponente VE sistema, koje kao rezultat primene daju virtuelne/rapid prototipove proizvoda I procesa, čija je analiza I verifikacija moguća I u fizičkom I virtuelnom smislu. Svaka komponenta VE sistema ima svoje prednosti I nedostatke, tako da je integrisani pristup, koji koji podrazumeva njihovu komplementarnu primenu postao moćan alat za projektante I istraživače. Polaz u integrisanom razvoju proizvoda I procesa primenom VE tehnologija može biti 3D CAD model pripremljen od projektanta ili modeliran nakon 3D skeniranja/digitalizacije objekta primenom RE uređaja. Virtuelni model (Digital mock-up) zauzima centralno mesto u kolaborativnom okruženju za podršku integrisanom VE sistemu s obzirom da se koristi I unapređuje kroz primenu virtuelne proizvodnje, brze izrade prototipova, virtuelne kontrole kvaliteta i konačno *virtual reality* sistema.

Kroz prikazanu studiju slučaja na primeru re-inženjeringa procesa dobijanja drške od lima demonstrirane su prednosti I mogućnosti integracije VE tehnologija, kroz primenu CAD/CAM/CAE, VM, RP/RE I VR tehnika. Pokazano je da, zahvaljujući razvoju IT tehnologija, softverskih I hardverskih komponenti, inženjersko projektovanje I razvoj, kao I ostale faze u životnom ciklusu proizvoda, mogu biti veoma uspešno realizovane, u pogledu kvaliteta, troškova I vremena, primenom virtual/rapid prototyping/manufacturing tehnologija virtuelnog inženjeringa.

6. LITERATURA

- [1] Mandić, V.: *Virtual Engineering*, University of Kragujevac, Mechanical Engineering Faculty, 2007, Kragujevac.
- [2] Dépincé, P., Chablat, D., Noël, E., Woelk, P.O.: *The Virtual Manufacturing Concept: Scope, Socio-economic Aspects and Future Trends*, Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, September 28-October 2, 2004, Salt Lake City, Utah, USA.
- [3] Mandić, V., Adamović, D., Jurković, Z., Stefanović, M., Živković, M., Ranđelović, S., Marinković, T.: *CAE Analysis of Ironing Process with Experimental Verification*, Proceeding MOTSP 2010 International Scientific Conference management of Technology – Step to Sustainable Production, 2-4 jun 2010, Rovinj, ISBN 978-953-7738-09-9, FSB Zagreb, Croatia.
- [4] Stark, R., Krause, F.-L., Kind, C., Rothenburg, U., Müller, P., Hayka, H., Stöckert, H.: *Competing in engineering design — The role of Virtual Product Creation*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 3 (2010) 175–184.
- [5] Chang, K.-H., Tang, P.-S.: *Integration of design and manufacturing for structural shape optimization*, Advances in Engineering Software 32 (2001) 555-567.
- [6] Ferreira, J.C., Alves, N.F.: *Integration of reverse engineering and rapid tooling in foundry technology*, Journal of Materials Processing Technology 142 (2003) 374–382.

- [7] Ding, Y., Lan, H., Hong, J., Wu, D.: *An integrated manufacturing system for rapid tooling based on rapid prototyping*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 20 (2004) 281–288.
- [8] Yan, Y., Li, S., Zhang, R., Lin, F., Wu, R., Lu, Q., Xiong, Z., Wang, X.: *Rapid Prototyping and Manufacturing Technology: Principle, Representative Technics, Applications, and Development Trends*, Tsinghua Science and Technology, June 2009, 14(S1): 1-12.
- [9] Yang, D.Y., Ahn, D.G., Lee, C.H, Park, C.H, Kim, T.J.: *Integration of CAD/CAM/CAE/RP for the development of metal forming process*, Journal of Materials Processing Technology 125-126(2002) 26-34.
- [10] Bernard, A., Fischer, A., *New Trends in Rapid Product Development*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 51, Issue 2, 2002, Pages 635-652.
- [11] Javidrad, F., Rahmati, R.: *An integrated re-engineering plan for the manufacturing of aerospace components*, Materials and Design 30 (2009) 1524–1532.
- [12] Wang, C.-S., Wang, W.-H. A., Lin, M.-C.: *STL rapid prototyping bio-CAD model for CT medical image segmentation*, Computers in Industry 61 (2010) 187–197.
- [13] Maropoulos, P.G., Ceglarek, D., *Design verification and validation in product lifecycle*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 740–759.