

# Softverska podrška za Reverzibilno inženjerstvo i CAQ

UVOD U SOFTVERSKU PODRŠKU ZA REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

---

- *PREDAVANJE 2* -

DOC. DR MARIO ŠOKAC

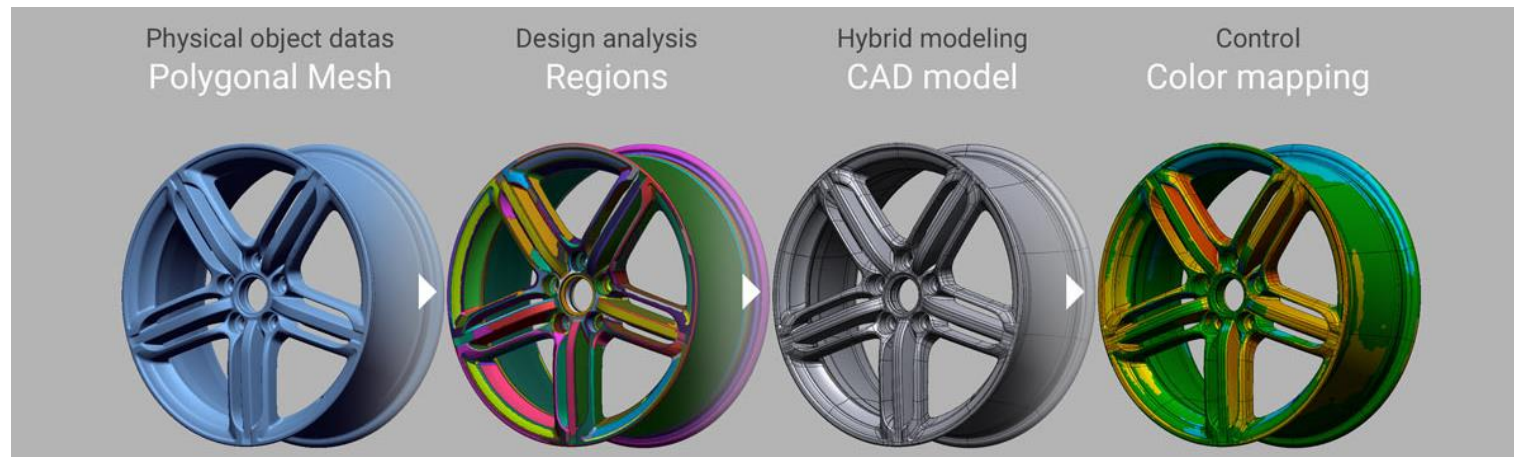
# Šta je to reverzibilno inženjerstvo?

---

- Predstavlja proces kreiranja geometrijskog CAD modela na osnovu podataka dobijenih 3D skeniranjem/3D digitalizacijom postojećeg fizičkog modela.
- Rezultati 3D skeniranja su u obliku 3D oblaka tačaka koji odgovaraju tačkama na površini rekonstruisanog objekta.
- Korišćenje CAD modela za predstavljanje skeniranih 3D objekata je veoma značajno u mnogim sektorima jer pomaže da se poboljša kvalitet dizajna i produktivnost.
- Štaviše, oni **ubrzavaju** proizvodne i analitičke procese. Ograničenja se otkrivaju i održavaju automatski. Ograničenja prenose nameru dizajna, a istovremeno obezbeđuju adekvatan dizajn.

# Šta je to reverzibilno inženjerstvo?

- **Reverzibilno inženjerstvo (ili obrnuti inženjering) predstavlja proces** kada se proizvod ili komponenta dekonstruišu da bi se otkrio način na koji je taj proizvod/komponenta napravljena. Kod računarskog projektovanju (CAD), model se obično gradi na suprotan način – od originalnog dizajna do konačnog prototipa.



- Mogu se koristiti tradicionalne metode, kao što su merenje i crtanje dimenzija objekta ručno, ali korišćenje tehnologija 3D skeniranja je bolja opcija kada se pokušavaju prikupiti informacije u vidu kompleksnih oblika.

# Šta je to reverzibilno inženjerstvo?

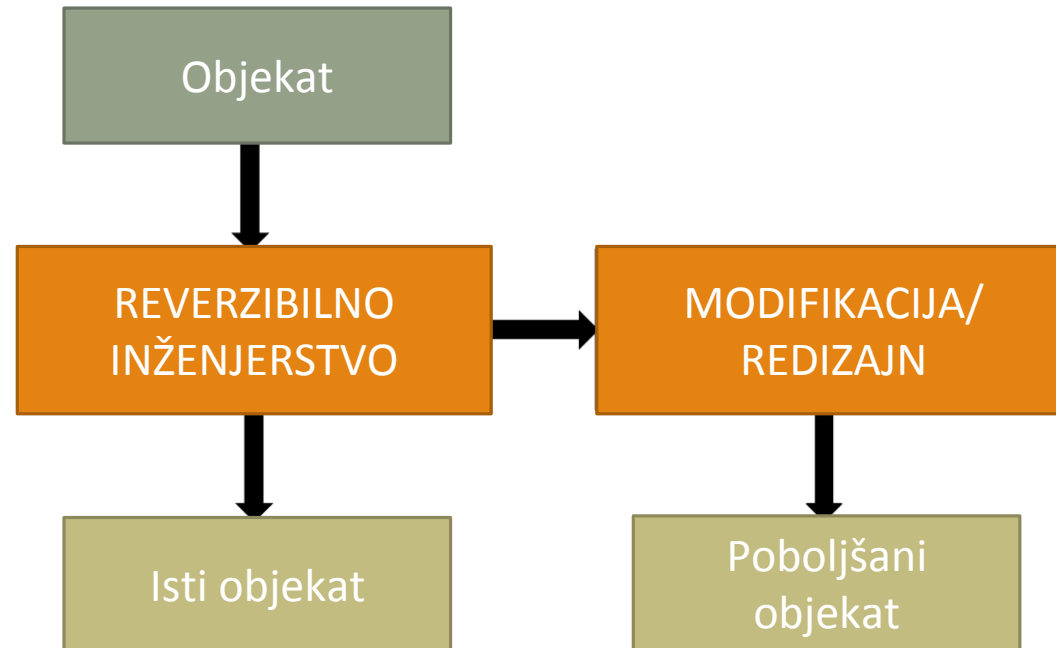
- Podaci 3D skeniranja su najefikasniji način za generisanje 3D modela na osnovu fizičkog objekta, i **to predstavlja najkritičniji korak** u celom ovom procesu.
- Tokom procesa reverzibilnog inženjerstva koriste se podjednako i **hardver i softverska podrška**.
- Hardver se koristi za prevođenje objekta u digitalni oblik, a softver se koristi za njegovu rekonstrukciju i dovođenje u finalni oblik (CAD model).
- Hardver koji se može koristiti za 3D skeniranje objekta uključuje beskontaktno metode 3D digitalizacije (laserski 3D skeneri, skeneri bazirani na strukturnoj svetlosti, itd.) ili kontaktne metode (koordinatna merna mašina (KMM) ili merna ruka).
- Nakon što se prikupe informacije na osnovu fizičkog objekta, podaci se moraju preprocesirati tako da se od njih može rekonstruisati novi dizajn/proizvod - tu dolazi CAD softver.
- Mogu se takođe koristiti i tradicionalne metode, kao što su klasično merenje (kljunasto merilo i slično) i dimenzionisanje objekta ručno, ali primena tehnologija 3D skeniranja predstavlja bolju opciju kada se “skidaju” podaci o objektima sa složenom geometrijom.

# Primena reverzibilnog inženjerstva

• Postoje dva glavna razloga zbog kojih se danas koristi reverzibilno inženjerstvo:

---

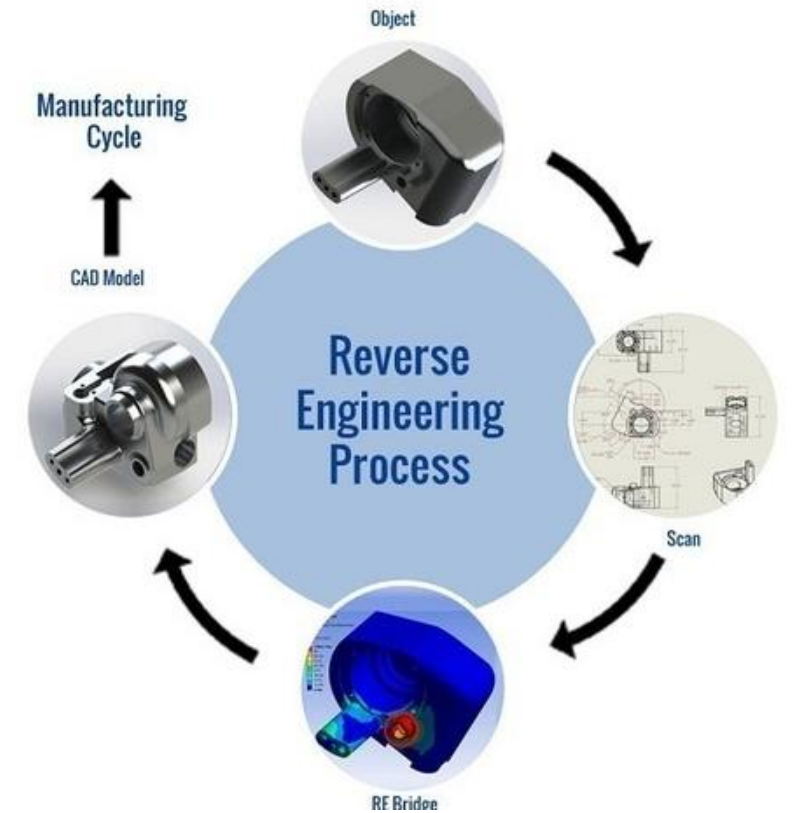
- kreiranje rezervnih delova za održavanje funkcije starijih mašina;
- poboljšanje funkcije postojećih komponenti/mašina uz ispunjavanje svih postojećih ograničenja.



# Osnovni koraci neophodni kod reverzibilnog inženjerstva

- Svaki proces reverzibilnog inženjerstva se sastoji od sledećih faza:

- Prikupljanje podataka;
- Obrada podataka (preprocesiranje);
- Modeliranje podataka;
- Pобољшanje/redizajn objekta;
- Proizvodnja.



# Osnovni koraci neophodni kod reverzibilnog inženjerstva

---

## • **Prikupljanje podataka**

- Predmet treba rastaviti i proučiti. Danas se koriste napredni alati u vidu komercijalnih 3D skenera (lasersko 3D skeniranje, strukturno svetlo,...) i tehnike 3D modeliranja za 3D digitalizaciju potrebnih informacija pored postojeće dokumentacije, crteža ili izveštaja.

## • **Obrada podataka**

- Računari su neophodni za ovu fazu jer mogu uključiti obradu velikog broja XYZ koordinata podataka (tačaka) pretvarajući ove informacije u 3D modele primenom komercijalnih CAD sistema (softvera).

# Osnovni koraci neophodni kod reverzibilnog inženjerstva

---

- **Modeliranje podataka**

- Danas je omogućena primena softvera za digitalno CAD modeliranje, koje predstavlja prikupljanje svih detalja vezanih za geometriju skeniranih 3D objekata primenom alata za modeliranje.

- **Poboljšanje/redizajn objekta**

- U okviru ovog koraka se mogu kreirati inovacije za poboljšanje funkcionalnosti predmeta na osnovu prikupljenih podataka o geometriji i samoj funkcionalnosti objekta.

- **Proizvodnja**

- Nakon što se dobije CAD geometrija objekta koja ispunjava zahteve dizajna, objekat se može proizvesti sa ciljem da zameni istrošeni deo ili da obezbedi povećanu funkcionalnost već postojećeg dela.



# Kada se primenjuje reverzibilno inženjerstvo?

---

## 1. Zastarele komponente

- Pre nego što je računarom podržan dizajn postao norma, delovi su se i dalje proizvodili uz pomoć ručno nacrtanih inženjerskih crteža, a ponekad čak i usmenim opisom od strane dizajnera. Crteži možda nisu sačuvani, ali delovi još uvek imaju primenu. Reverzibilnim inženjerstvom je omogućeno kreiranje CAD modela ovakvih komponenata.

## 2. Zaustavljena proizvodnja

- Kada proizvod „zastari“ na tržištu, nakon određenog vremena zaustavlja se proizvodnja rezervnih delova tog proizvoda. Ukoliko je potreban deo koji nije proizveden od strane kompanije, ali postoji njegov fizički deo, onda se može koristiti reverzibilno inženjerstvo sa ciljem njegove rekonstrukcije.

# Kada se primenjuje reverzibilno inženjerstvo?

---

- **3. Konkurentska proizvodnja (benchmarking)**

- Proizvodi konkurencije se mogu analizirati kako bi se razumeli trenutni tržišni trendovi i standardi.

- **4. Varijacija proizvoda**

- Varijacije proizvedenog dela omogućavaju dodatne analize u vidu njegove funkcionalnosti

- **5. Analiza osnovnog uzroka**

- RE može biti odličan alat za analizu grešaka kako bi se identifikovalo i razumelo šta je promenjeno u proizvodu tokom faze validacije proizvoda.

- **6. Artefakti i muzejski predmeti**

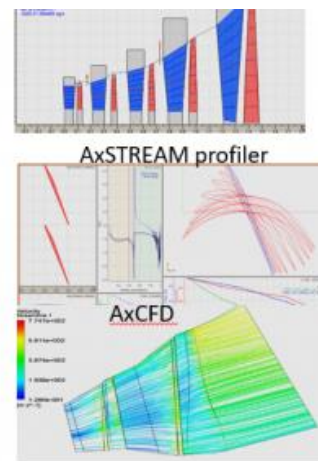
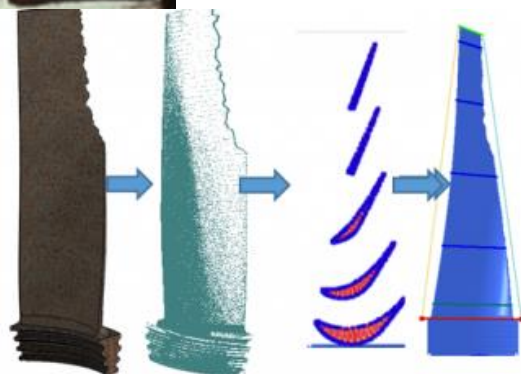
- Artefakti su uglavnom jedinstveni tako da se mogu postaviti samo na jedno mesto. Ali uz pomoć 3D skeniranja i RE, replika se može napraviti tako da se može postaviti na različite lokacije kako bi bili dostupni većem broju ljudi.

# Primena reverzibilnog inženjerstva

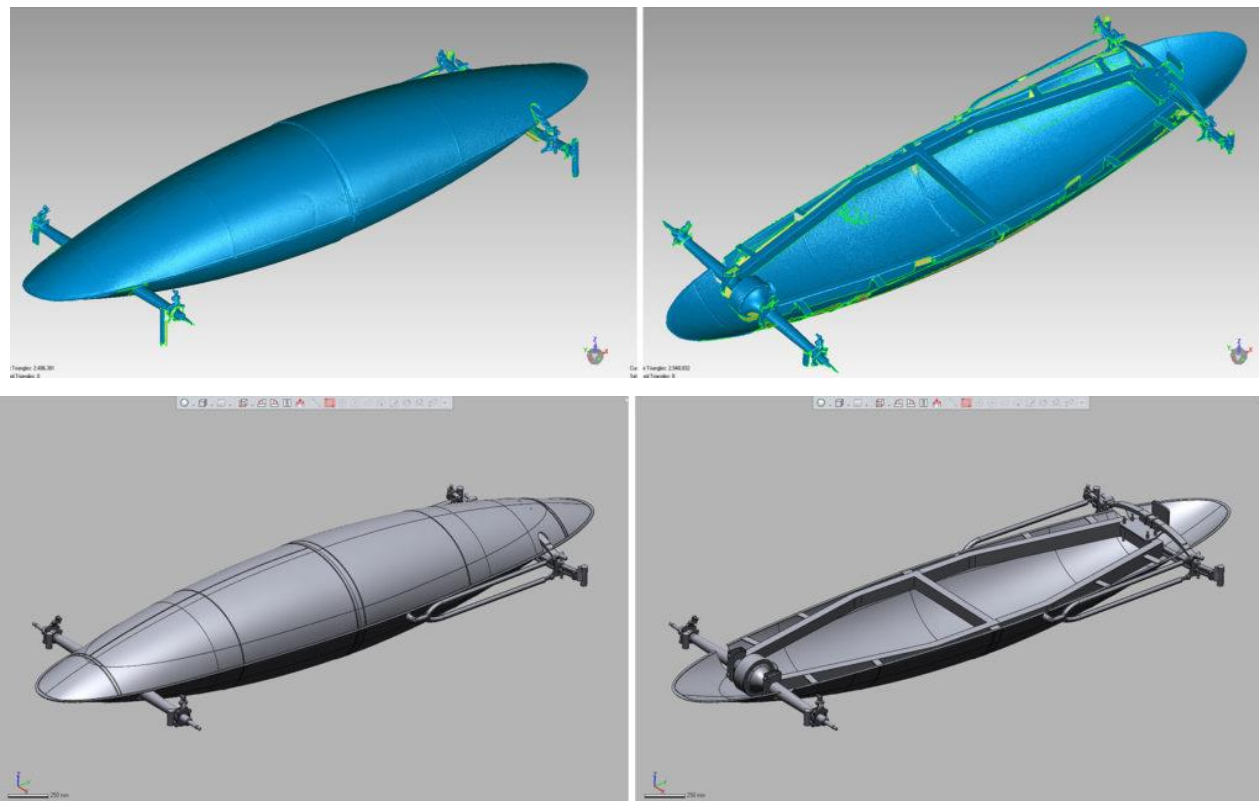
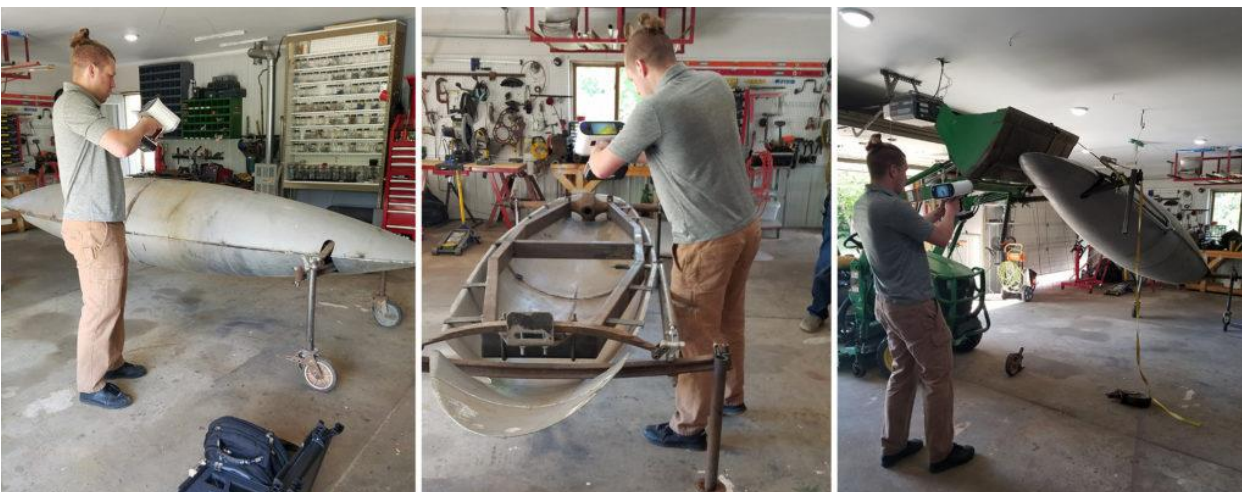
- Reverzibilno inženjersko modeliranje je izuzetno važan proces kod održavanja turbomašina za rezervne delove u turbinama ili kompresorima koji rade dugi niz godina.
- Dokumentacija, izveštaji i tehnički crteži za značajnu količinu ovih mašina nisu dostupni iz raznih razloga, pa je održavanje ovih važnih mašina u radu izazov.
- Reverzibilni inženjering istrošenih delova može biti najbolja opcija u većini slučajeva. U svakom slučaju, proces rekonstrukcije originalne geometrije objekta je prvi i glavni korak, bez obzira da li je potrebno da se zameni/replicira neki postojeći deo ili je potrebno poboljšati već postojeći dizajn/nadogradnju mašina.



# Primena reverzibilnog inženjerstva - primeri



# Primena reverzibilnog inženjerstva - primeri



# Softverska podrška za Reverzibilno inženjerstvo i CAQ

ULOGA SOFTVERA KOD PRIKUPLJANJA I OBRADU PODATAKA.  
PODELA SOFTVERA. HARDVERSKA KONFIGURACIJA  
RAČUNARA.

---

- PREDAVANJE -

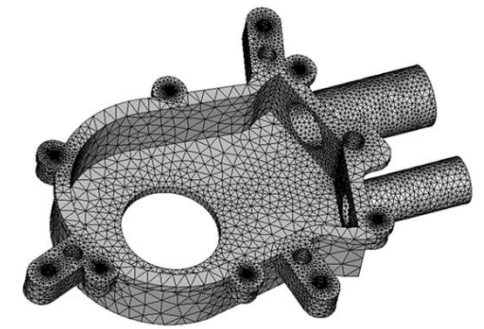
- Oblast reverzibilnog inženjerstva je značajno napredovala poslednjih godina kao rezultat napretka u softveru, tehnologijama 3D digitalizacije (3D skeniranja) i veće potražnje koju proizvodi 3D štampa.

---

- 3D skeniranje i dobijanje 3D modela predstavlja relativno jednostavan proces.
- Modifikovanje 3D modela ili njegovo pretvaranje u CAD zasnovan na karakteristikama oduzima najviše vremena.
- Reverzibino inženjerstvo pojednostavljuje proces projektovanja korišćenjem postojećeg znanja i nadogradnjom na njega gde se na ovaj način eliminiše potreba da se proces započne od nule.
- Procedura počinje sa postojećim delom, njegovim 3D skeniranjem, a zatim se koriste ti podaci za rekonstrukciju novog dizajna.
- To podrazumeva sticanje boljeg znanja o tome **kako i zašto je originalni deo dizajniran** na takav način (ovo je još poznato kao namera dizajna).

# STL (stereolitografija) format

---

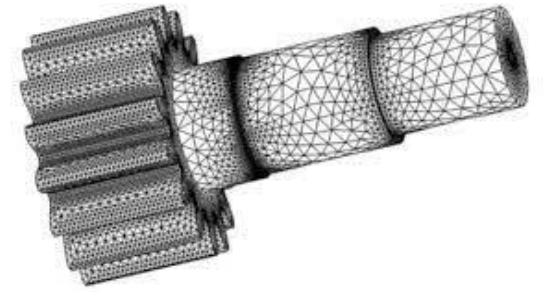


- Kao najčešći format za izvoz površinskog 3D modela kod 3D skeniranja, a i kod obrade u softverima koristi se **STL (eng. Stereolithography) format**. STL format je nastao još 1987. godine od strane kompanije Albert Consulting Group. Ovaj format je razvijen za prve komercijalne 3D štampače. Od prvog izdanja, format je ostao relativno nepromenjen 22 godine, do njegovog ažuriranja 2009. godine.
- Ovaj format datoteke podržavaju mnogi softverski paketi;
- Široko se koristi za brzo izradu prototipova, 3D štampanje i računarom podržanu proizvodnju.
- STL datoteke opisuju samo površinsku geometriju trodimenzionalnog objekta bez ikakvog predstavljanja boja, tekstone ili drugih zajedničkih atributa.
- Format STL se može sačuvati u: ASCII i binarnom prikazu.
- **Binarne datoteke su češće primenjivane iz razloga jer su kompaktnije od ASCII formata (fajlovi zauzimaju manje prostora na hard disku)!!**



# STL (stereolitografija) format

---



- **STL datoteka opisuje** grubu nestrukturiranu triangulisanu površinu pomoću normala i ivica trouglova pomoću trodimenzionalnog Dekartovog koordinatnog sistema.
- Koordinate unutar STL datoteke moraju biti pozitivni brojevi, nema informacija o skali, a jedinice su proizvoljne.
- **Binarni zapis STL formata**
- Binarna STL datoteka ima zaglavlje od 80 karaktera. Sledeće zaglavlje je 4-bajtni nepotpisani celi broj koji ukazuje na broj trouglastih fejseta (trouglova) u datoteci. Nakon toga su podaci koji opisuju svaki trougao ponaosob.
- **Vektori normala fejseta (trouglova)**
- U oba formata, ASCII i binarni, kod zapisa STL formata, pravac normale treba da bude jedinični vektor koji je usmeren prema spoljašnjem okruženju objekta.

# Metode za modifikaciju STL datoteka i 3D modeliranje

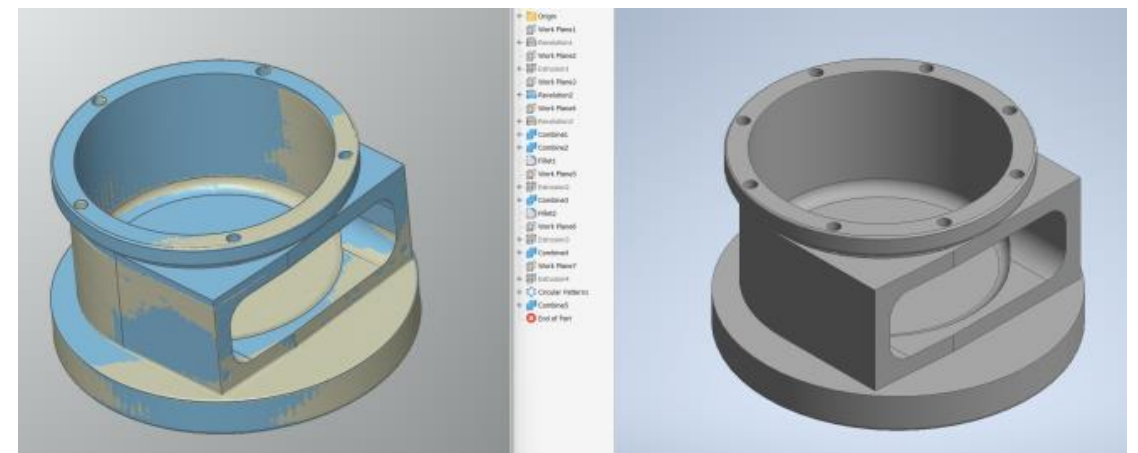
---

1. Modeliranje zasnovano na fičerima/obeležjima
2. Konvergentno modeliranje
3. Digitalno vajanje

# Metode za modeliranje

- **Modeliranje zasnovano na fičerima/obeležjima**

- U ovoj metodi, STL datoteka se prvo uvozi u CAD softver kao čvrsto/solid telo. Modeliranje zasnovano na geometrijskim karakteristikama se zatim koristi na 3D modelu i svaka karakteristika koja se kreira da odgovara STL datoteci se dodaje u stablo obeležja.
- Konverzija u solid CAD model će raditi samo za oblike koji nemaju veoma komplikovanu površinu.
- Kod kompleksnih površina, STL datoteka se uglavnom konvertuje u površinski 3D model sa ciljem njegove dalje obrade/modifikacije (komplikovaniji pristup).



# Metode za modeliranje

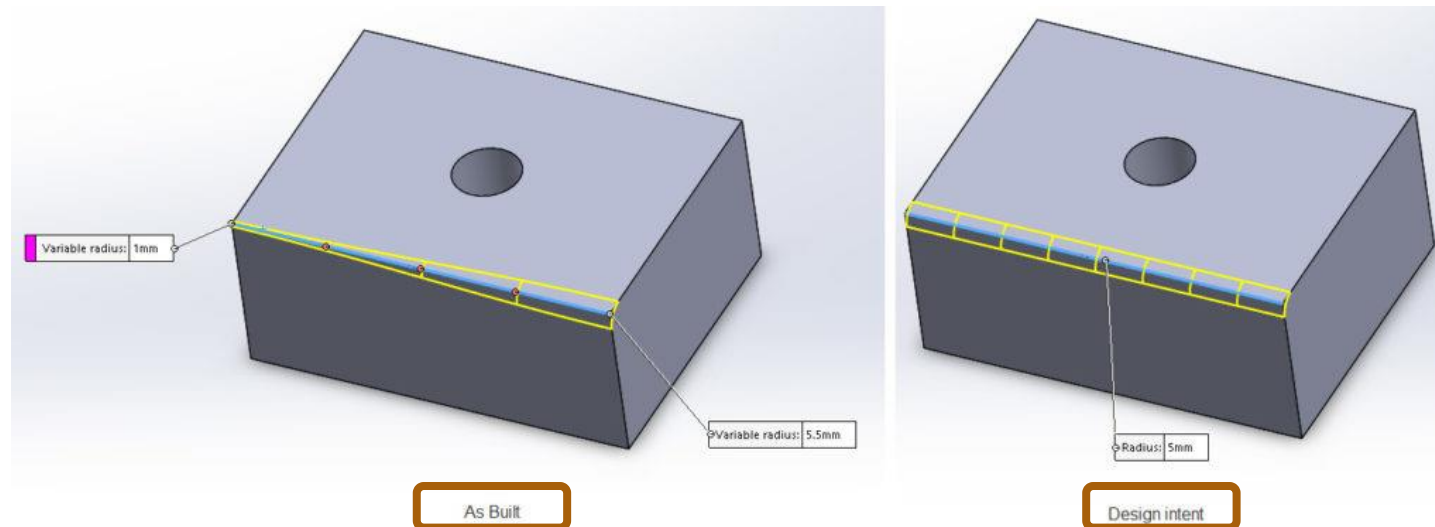
- Modeliranje zasnovano na fičerima/obeležjima

---

- Razlika između dva tipa ove metode RE modeliranja:

- As-built (modeliranje prema originalnom obliku);

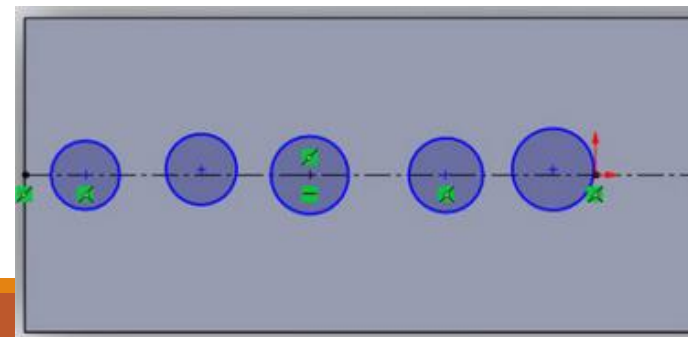
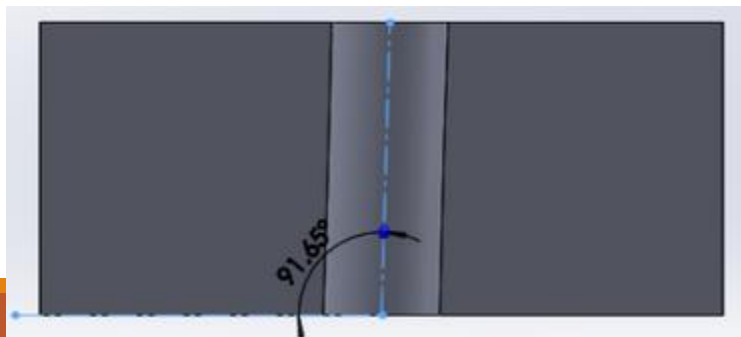
- Design intent (modeliranje u skladu sa namerom dizajna);



# Metode za modeliranje

## • As-built (modeliranje prema originalnom obliku)

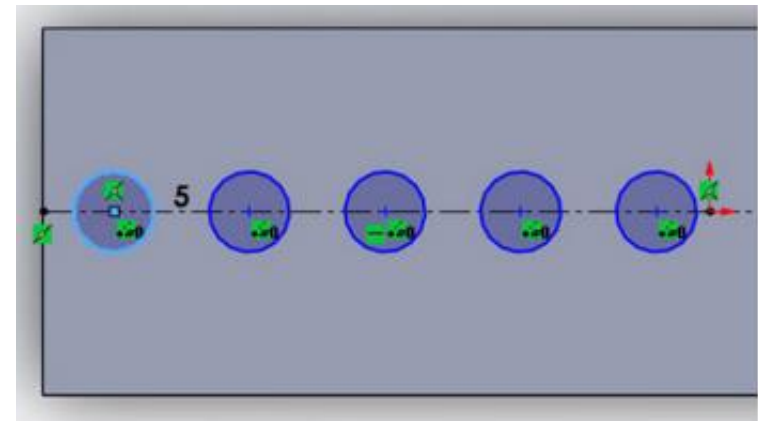
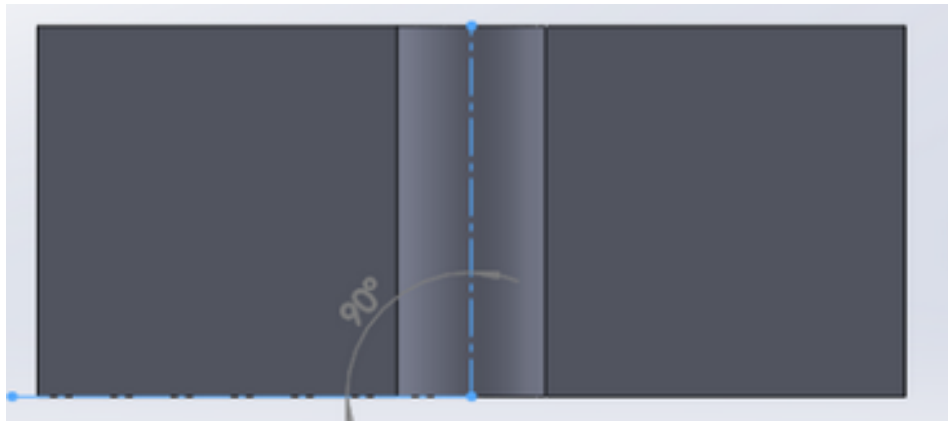
- Ako je potreban CAD model koji predstavlja realnu sliku fizičkog objekta što je bliže moguće, tada se primenjuje ova metoda.
- Obično se preporučuje ova metoda modeliranja ako je CAD model potreban za strukturnu analizu (kao što je FEM analiza).
- Ovakav CAD model sadrži sve fizičke „anomalije“ sa kojima će biti prikazana geometrija i ona uključuje varijacije kao što su deformacije, fizički defekti, asimetrični oblik, skupljanje, savijanje, itd.
- Vreme za kreiranje geometrije koja je napravljena zavisi pre svega od tačnosti koja se zahteva od konačnog CAD modela. Najčešće je potrebno više vremena za modeliranje CAD modela primenom ovog principa nego CAD modela sa namerom dizajna.



# Metode za modeliranje

- Design intent (modeliranje u skladu sa namerom dizajna)

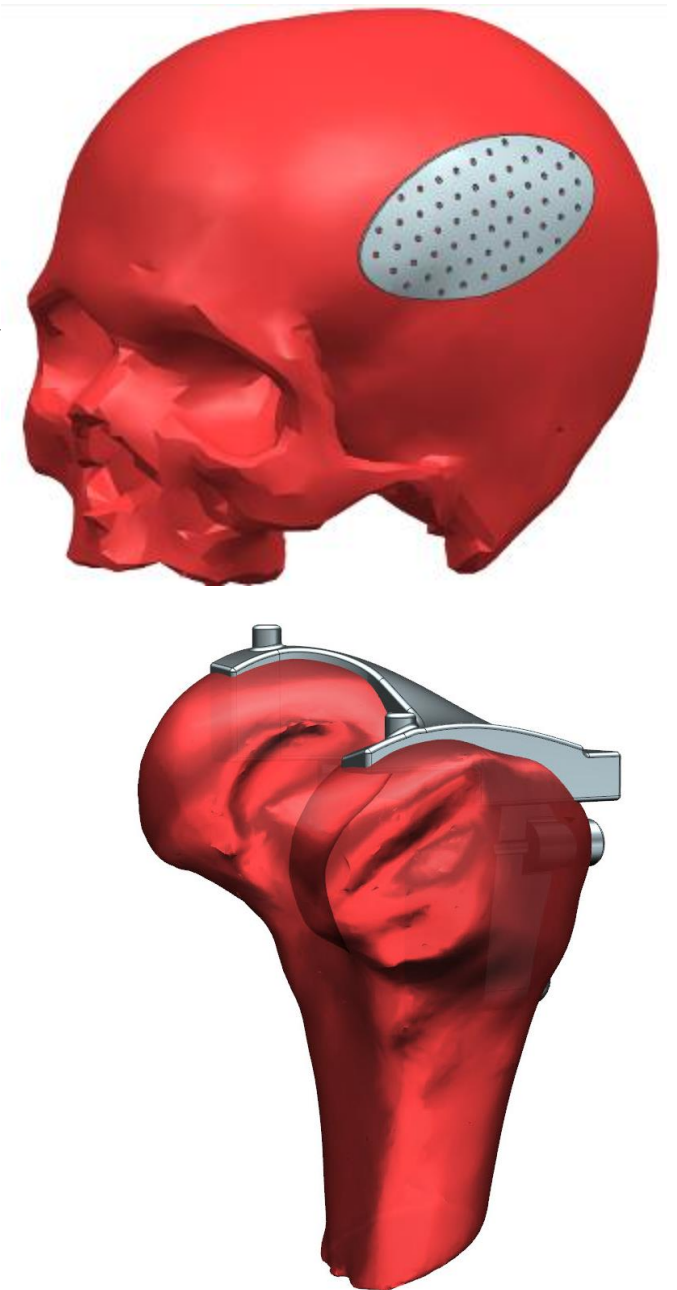
- Danas se uglavnom zahteva 3D CAD geometrija koja predstavlja idealni oblik nekog dela.
- Kod ove metode, koriste se podaci 3D skeniranja sa ciljem modeliranja CAD modela koji uključuje geometriju sa namerom dizajna, uključujući stvari kao što su simetrija, ujednačeni radijusi, konzistentni uglovi, jednaka rastojanja između otvora, itd.
- Ova metoda za modeliranje primenom RE je danas najčešće primenjivana, i rezultati su uglavnom dostupni u bilo kom potrebnom formatu.



# Metode za modeliranje

## Konvergentno modeliranje

- Konvergentno modeliranje **konvergira mreže** (koje se nazivaju još i fejšetni modeli) i **solid/čvrsta tela** (nazivaju se klasični b-reps – *boundary representation* modeli) u jedan 3D model.
- To je tehnologija modeliranja koja je danas takođe dostupna i omogućava uvoz/importovanje skeniranog 3D modela kao konvergentno telo, a zatim se modelovanje zasnovano na karakteristikama može koristiti na ovom objektu.
- Eliminiše konverziju iz jednog formata u drugi i smanjuje rizik od gubitka detalja. Iako je ova metoda trenutno dostupna samo u NX i SolidEdge softverskim paketima, drugi softveri kao što su PTC Creo i SolidWorks će ponuditi sličnu tehnologiju u novim verzijama softvera.



# Metode za modifikaciju STL datoteka

---

## Digitalno vajanje

- Koriste se dostupni alati u specijalizovanim softverima koji se mogu koristiti za modifikovanje STL datoteka.
- Ovi alati su generalno poznati kao alati za vajanje i koriste se za kreiranje 3D skulptura, okruženja i animacija.
- Pošto su ovi alati specijalno dizajnirani za vajanje, oni imaju širok izbor opcija za modifikaciju postojeće STL datoteke, ali to takođe zahteva dobru obuku za njegovu efikasnu upotrebu. Mogu se koristiti i za modifikovanje mrežnih površina.



# Metode za modifikaciju STL datoteka

## Digitalno vajanje

---

- Na tržištu postoji više softvera za vajanje, od kojih su neki plaćeni, a neki su otvorenog pristupa (*open source*). Ispod je lista nekih od softvera koji su danas popularni za digitalno vajanje.

Software	Features	License
Blender	Sculpting, 3D modeling, Rendering, Animation	Free
Zbrush	Sculpting, 3D modeling, Rendering, Animation	Paid
Meshmixer	Sculpting, 3D modeling	Free
Autodesk Mudbox	Sculpting, 3D modeling, Rendering, Animation	Paid
Autodesk 3DS Max	Sculpting, 3D modeling, Rendering, Animation	Paid
Autodesk Maya	Sculpting, 3D modeling, Rendering, Animation	Paid

# Hardverska konfiguracija računara

---

- **Komponente računara za rad sa softverima za RE dizajn treba da sadrže:**
  - **1. Procesor (što veća brzina jednog jezgra);**
  - **2. RAM memorija (min. 16 GB);**
  - **3. Brzina zapisa informacija (SSD, NVMe, itd.);**

---

**HVALA NA  
PAŽNJI!**