

# Hitra izdelava zahtevnih izdelkov

## 4D-industrijska revolucija

Četrta industrijska revolucija, ki je pred vrati, bo menjala trg delovne sile, mnoge službe bodo postale nepotrebne, odpirati se bodo začeli novi poklici. Po ocenah Svetovnega gospodarskega foruma bo v 15 najnaprednejših svetovnih državah v naslednjih petih letih ugasnilo 7,1 milijona delovnih mest, 2 milijona visokostrokovnih mest pa se bo na novo odprlo. Robotizacija, umetna inteligenca in visokoavtomatizirani tehnološki postopki bodo tako vplivali na družbo, da se bo menjal celo program šolanja osnovnošolcev.

Moderne tehnologije bodo zmanjšale potrebo po delovnih mestih na nekaterih ravneh družbe, predvsem v proizvodnji novih izdelkov.

## 3D-tiskanje

Okolje 3D-tiskanja je trenutno v nezavidljivem položaju. Digitalne podatke je treba prenašati iz 3D-modelirnikov in niso povezljivi. Upravljanje podatkov je pod nadzorom le v fazi izdelave prototipov, vendar ti podatki pozneje nimajo več svojega vpliva v proizvodnji. Poleg tega nastopi še problem avtorskih pravic, sam proces 3D-tiskanja pa danes le neznatno vpliva na razvoj in lastnosti izdelka. To je bilo za izdelavo prototipov še sprejemljivo, nikakor pa ne za proizvodnjo. Rezultat tega je, da 50 odstotkov razvojnih konstrukcij ni mogoče tiskati takoj, 30 odstotkov pa jih potrebuje ponovno modeliranje. Za sledljivost celotnega procesa je treba uporabiti tri ali celo več nepovezanih programskih produktov.

Ne glede na trenutno stanje bo svetovni trg za 3D-tiskanje v naslednjih 5 letih rasel več kot 10 odstotkov letno. Letalska in vesoljska industrija ima že danes 14-odstoten svetovni delež pri zahtevnih izdelkih, ki morajo ustrezati vsem mednarodnim certifikatom. To pomeni, da bodo kakovostni 3D-tiskalniki v prihodnje cenejši, hkrati pa se bodo njihove možnosti pomembno izboljšale. Na področju 3D-tiskanja plastike se je hitrost izdelave v zadnjih letih povečala za faktor 100. Tudi pri hibridni laserski tehniki se že kaže velik napredek.

## Inovativna tehnologija za izzive prihodnosti

Vizija podjetja Siemens je zagotoviti proizvodne procese, ki uporabnikom v enem okolju omogočajo inovacije od zasnove, optimizacijo in izdelavo izdelkov. Novo kreativno okolje spodbuja oblikovalce, da svoje ideje za snovanje lažjih izdelkov uporabijo na nov način, sodobnim tehnologom pa hkrati ponuja izdelavo po doslej še nedosegljivih postopkih. Proizvajalcem omogoča zvišanje produktivnosti, hkrati pa lahko svojim uporabnikom ponudijo

boljši izdelek. Leta 2016 je Siemens objavil podpis strateške razvojne pogodbe s podjetji, kot so Microsoft – novi odprti »3D print standard 3MF«, HP, TRUMPF, STRATASYS in EOS. Ta podjetja globalno pokrivajo trg na področju 3D-tiskanja s termoplastičnimi masami, kovinami za letalstvo, avtomobilsko industrijo in medicino.

Okolje 3D-tiskanja se iz majhnih laboratorijskih tiskalnikov s tehnologijo ciljnega nalaganja (FDM) seli v industrijske hale in predstavlja nov integrirani proces proizvodnje. Najnovejši tiskani izdelki lahko po novem z naprednimi FDM-rešitvami dosegajo velikost do več metrov. Podjetje Stratasys ima pri podpori naprednega tiskanja več kot 1600 patentov, skupaj s Siemensom pa načrtujeta tudi tako imenovano 4D-tiskanje, kjer se sprva nanolinearne strukture lahko pozneje kontrolirano povezujejo v 3D-izdelke kompleksnih lastnosti, funkcij in sestavov.

HP skupaj s Siemensom razvija povsem novo revolucionarno tehnologijo sočasnega tiskanja, kjer bo NX poskrbel za kontrolo nanašanja materiala vse do nivoja voxel. Celoten nadzor procesa se odvija v okolju ene datoteke in podpira nanos materiala s prilagojenimi tiskalnimi glavami. Oblikovalci sodobnih izdelkov bodo na izdelku lahko kombinirali karakteristike, kot so večslojni heterogeni materiali, površinske teksture, gostota, trdnostne lastnosti, elastičnost, trenje, električna prevodnost in toplotne lastnosti. Čeprav se komu to zdi oddaljena vizija, je Siemens že objavil, da je v okolju NX ponudil revolucionarno podporo tiskanja z nazivom *Siemens' enhanced, flagship design platform NX software for CAD/CAM/CAE*. Ta rešitev deluje skupaj s HP-tiskalniki v novi tehnologiji Multi Jet Fusion technology and HP Jet Fusion 3D printers že od leta 2016. V okolju »powder bed« pa proces NX vključuje poleg 3D-sintranja izdelka še intuitivno odstranjevanje podpornih struktur in naknadne spremembe v fazi razvoja izdelkov.

Siemens je januarja 2017 v okolju NX11 predstavil tudi svoj novi revolucionarni konvergentni 3D-modelirnik. Tisti, ki so menili, da je začetek 4D-industrijske revolucije še daleč, so presenečeni.

Svojim strateškim partnerjem Siemens zaupa, da bodo idejo dodajalne in hibridne proizvodnje razvijali ter trgu pravočasno priskrbeli nove optimirane tehnologije na naprednih strojih.

## **Izzivi in rešitve današnje tehnologije**

Vsaka nova tehnologija predstavlja izziv. Še posebej ko se na novo razmišlja o kombiniranih postopkih, kot so povratno dodajanje in odvzemanje materiala na istem obdelovancu. Veliko raziskav in testov je bilo potrebnih, da so ugotovili pravo razmerje med delom, ki ga opravi laserski žarek z nanašanjem materiala in odrezilno orodje. Izumiti je bilo treba orodne poti, ki bodo poleg klasičnega odvzemanja znale material tudi nanašati. Integracija obojega omogoča pomembno nadgradnjo današnje CNC-proizvodnje.

## **Celovita rešitev za hibridno proizvodnjo**

Za uresničitev te ideje podjetje Siemens že več let tesno sodeluje s svojimi pogodbenimi partnerji. V tem času je že na voljo nekaj novih 5-osnih obdelovalnih centrov LASERTEC podjetja DMG MORI za hibridno delo na kovinskih obdelovancih. Material kovinskih izdelkov je sprva 5-osno nanešen z lasersko depozicijo in nato fino obdelan v istem vpetju.

## **Transformacija tehnologije**

Proces hibridne proizvodnje se začne v novem okolju 3D-modeliranja kosa. Ko je izdelek optimiran in odobren, CAM v svojem hibridnem modulu kosa surovcu analizira geometrijo po presečnih ravninah. V naslednjem koraku bo NX opravil 5-osno razčlenitev izdelka, ki razdeli surovec na osnovne tehnološke gradnike. Sledi procesiranje dodajalne tehnološke faze, kjer se vsak posamezni gradnik lahko kadar koli virtualno kreira, organizirano integrira v CNC-proces in po potrebi končno obdelata tudi z odvzemanjem materiala. Možno je poljubno kombiniranje dodajanja in odvzemanja materiala, da se s tem natančno izdelajo kompleksne oblike, ki jih do zdaj ni bilo mogoče doseči. Novi postopki omogočajo CNC-obdelavo notranjosti kosa, izdelavo votlih kovinskih konstrukcij, večplastnih izdelkov iz več kovin, tankostenskih izdelkov do stopnje, ki pred tem ni bila dosegljiva, in drugo. Hibridna proizvodnja omogoča višjo stopnjo inovacij, zmanjšuje stroške proizvodnje in energije, izboljšuje lastnosti ter skrajšuje čas osvajanja izdelkov, zato se pravila igre v proizvodnji zahtevnih izdelkov bistveno spreminjajo.

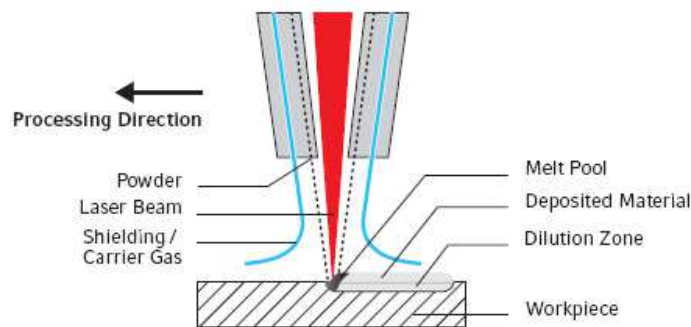
Hibridna proizvodnja prekaša klasične 3D-tiskalnike ne glede na to, s kolikšno natančnostjo so izdelki tiskani. Gladkost površin in doseganje predpisanih mer na hibridnem modelu je zagotovljena, nove NX CMM-metode pa omogočajo samodejno »off-line« generiranje 5-osnih meritev, analizo rezultatov in izpis merilnih protokolov.

## **Hibridna tehnologija NX**

Siemens je vodilni pri razvoju in podpori hibridne proizvodnje. Klasično okolje CNC-programerja od verzije NX 10 vključuje tudi interaktivno kreiranje dodajalnih operacij. Tehnologija izdelave novega surovca z nanašanjem materiala je tako natančna, da grobe in srednje fine CNC-obdelave niso več potrebne. Za doseganje predpisanih mer na geometriji kosa izdelamo le končno fino CNC-obdelavo. Ta je v procesu izdelave gradnikov parcialna, sočasna ali zaporedna. S tem hitro dosežemo želeno obdelavo tudi tistih predelov geometrije, ki jih sicer orodje v nobenem primeru ne bi moglo doseči. Modul za hibridno razčlenitev analizira model in lokalno

optimira interni STL-zapis vzdolž poljubnih vektorjev v prostoru, zatem pa kalkulira orodno pot laserske šobe, ki material nanese v velikosti in obliki, kot jo vidimo na NX 3D-modelu surovca. Nato sledi mehanska strojna obdelava s postopki rezkanja, vrtnanja in poliranja, vse v istem vpetju.

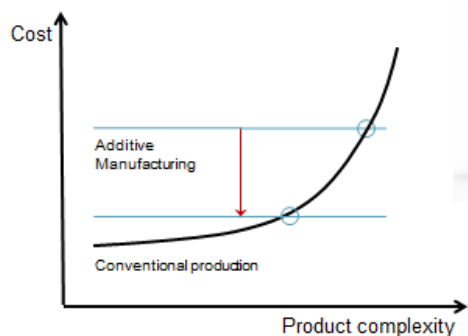
Odvisno od zahtev se končna obdelava lahko opravi tudi s klasičnim pristopom, kar pomeni, da izdelamo mehansko CNC-obdelavo povsem na koncu izdelave surovca. Kompleksni prototipi in maloserijski kovinski izdelki so tako po novem hitro in natančno izdelani. V primerjavi s proizvodnjo laserskih sintranih izdelkov (»powder bed«) lahko hibridna tehnologija do desetkrat skrajša čas izdelave. Z nanašanjem novih hibridnih plasti na mesto obrabe je servisiranje kompleksnih delov hitrejše kot kdaj koli. Nova NX-programaska oprema ponuja napredna FEM-orodja za korekture termičnega krčenja in zvijanje materiala.



**Slika 1: Laserski nanos kovin z LASERTEC**

### **Bolj inovativni izdelki**

Stroški proizvodnje se hitro povečujejo s kompleksnostjo izdelka. Hibridna tehnologija bo kmalu zelo spremenila proces oblikovanja in kreiranja novih izdelkov od ideje do končnega produkta. Uporablja se tako v letalski kot avtomobilski industriji, energetiki, prometu, pa tudi že v proizvodnji produkcijskih orodij. Razvoj tehnologije in ustreznih materialov gre tudi v mnoge druge smeri. Pojavljajo se npr. že prva hibridna električna vezja, ki so večslojno vgrajena v telo ohišja naprave, podpora medicini bo kmalu ponudila izdelavo cenejše, bolj integrirane protetike itd.



**Slika 2: Stroški v povezavi z obliko izdelka**

### **Primer optimiranja stroškov v orodjarstvu**

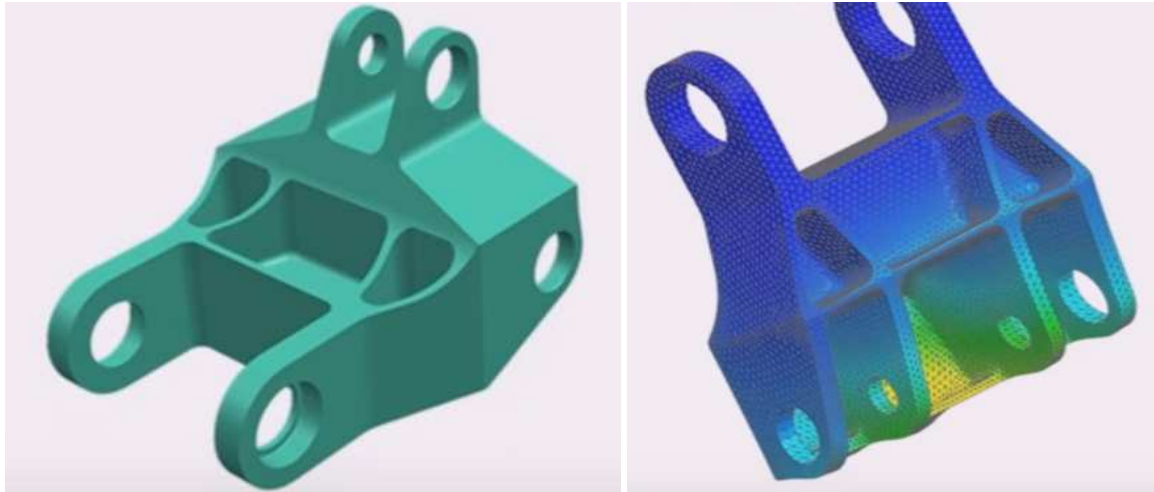
Današnje masivne oblikovne 3D-matrice na produkcijskih orodjih bodo v prihodnje lahko mestoma votle, hladilni kanali ne bodo več vrtani, temveč izdelani hkrati, teža orodja bo manjša, število elektrod bo manjše/lasersko porezovanje, groba obdelava predoblike ne bo potrebna, manj bo rezilnih orodij, manj vpenjalnih priprav, možna bo hitra izdelava negativnih oblik v industriju PU in tehnične gume, mogoče bo integrirano vzorčenje površinskih struktur, servisiranje obrabljenih con orodja in drugo.

### **Primer optimiranja izdelkov v letalski industriji**

Realizacija novih idej in izdelkov je povsem odvisna od tehnoloških možnosti za cenovno proizvodnjo. Posledica razmišljanja o klasičnih načinih tehnološke izdelave omejuje naše bodoče potenciale, inovacije in poslovne odločitve. Omejuje našo stopnjo in hitrost nadaljnega razvoja, količino prihranjene energije, materiala, omejuje zmanjševanje stroškov in podaljšuje čas uvajanja izdelkov na trg.

Doslej smo imeli na voljo proces, v katerem je inženir trdnostno preračunal in modeliral 3D-izdelek v okolju sestava in ga zatem preveril s FEM-analizami. Analize so pokazale kritična napetostna mesta, ki jih je bilo treba nato povratno uskladiti na 3D-modelu.

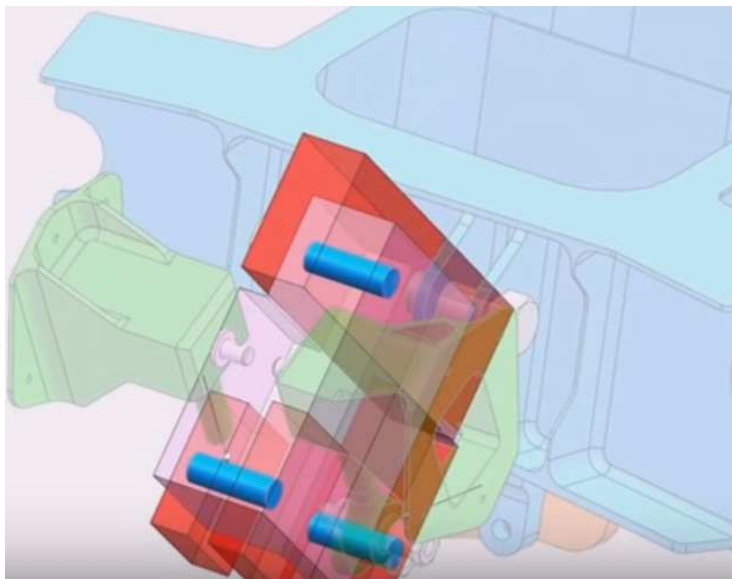
Nastal je izdelek klasičnega tipa, ki pa je imel pravzaprav več pomanjkljivosti (*Slika 3*). Izdelek je bil pretežak, saj je imel na posameznih mestih odvečen material, za samo izdelavo pa je bilo treba imeti dva različna CNC-centra in programirati sedem različnih procesov, nabaviti številna orodja in porabiti določen čas izdelave.



Slika 3: Konvencionalni način razmišljanja – 20 odstotkov pretežki in dragi izdelki

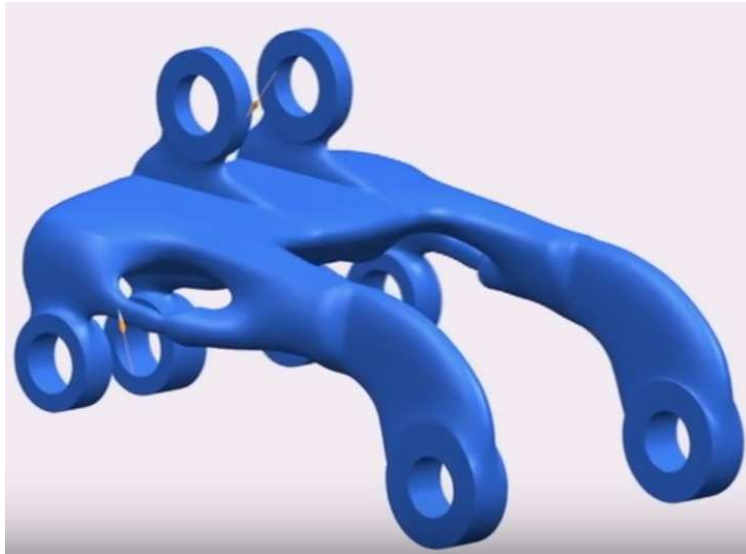
Nove FEM-analize in simulacije **Simcenter 3D** v povezavi z napredno tehnologijo STL in NURBS free form omogočajo znatno več. Proces oblikovalcu ne omogoča le kreiranja kosa in njegove strukturne analize, temveč teži k temu, da sistem sam ekspertno odloča o optimalni obliki izdelka.

Delo konstruktorja je olajšano, tako da v okolje sestava okvirno poda le temeljne 3D-robne pogoje. Kot vidimo na *Sliki 4*, so to na začetku lahko le enostavne pravokotne oblike.



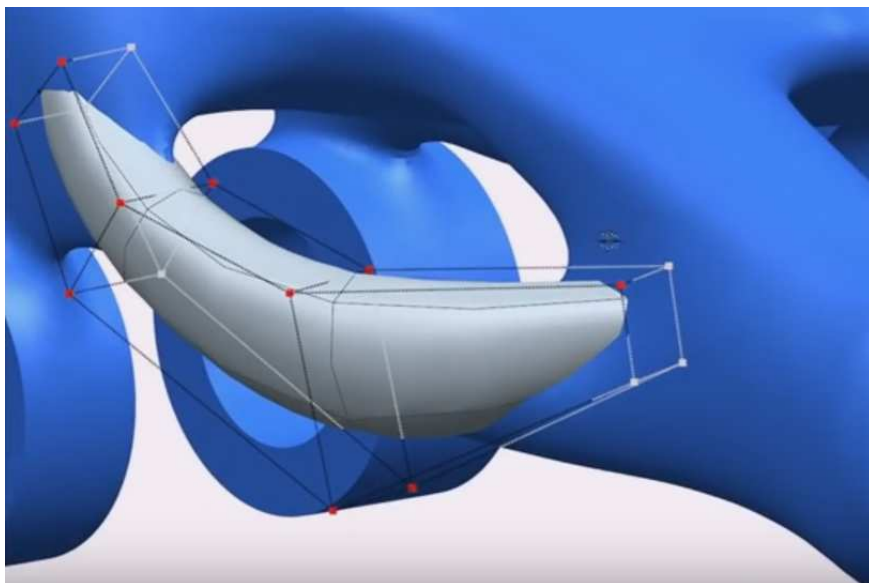
Slika 4: Najboljša ideja o optimalni obliki ni nujno vaša.

NX **Simcenter 3D** analizira dopustna napetostna stanja glede na določene robne pogoje ter kot rezultat samodejno izriše STL-telo, ki bo imelo optimalno topologijo (*Slika 5*).

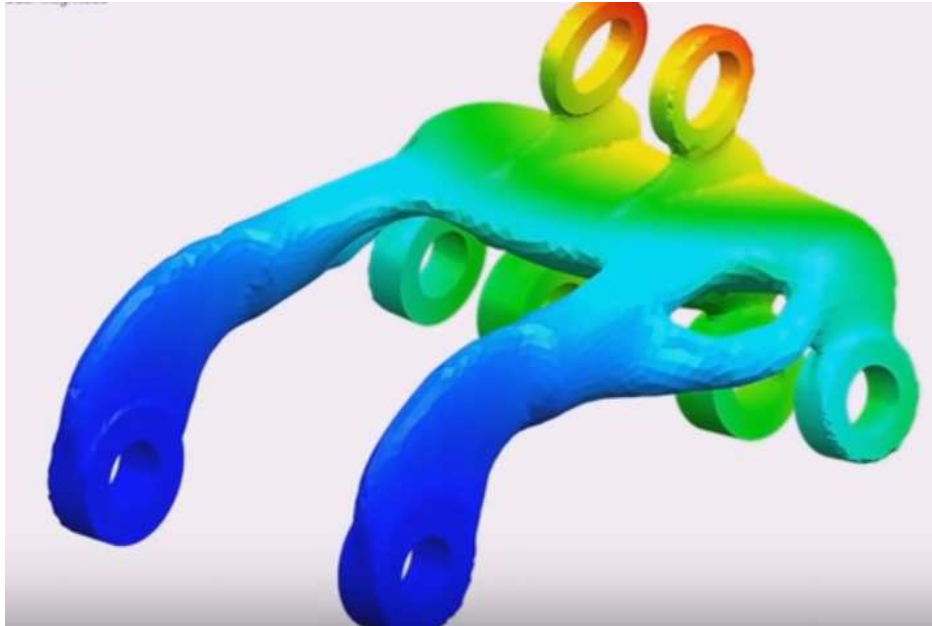


Slika 5: Ste že kdaj sami modelirali podobno optimiran model?

Konstruktor po oceni rezultata z novim konvergentnim modelirnikom mestoma doda nov material, ki poveča stopnjo varnosti na kritičnih mestih (*Slika 6*).



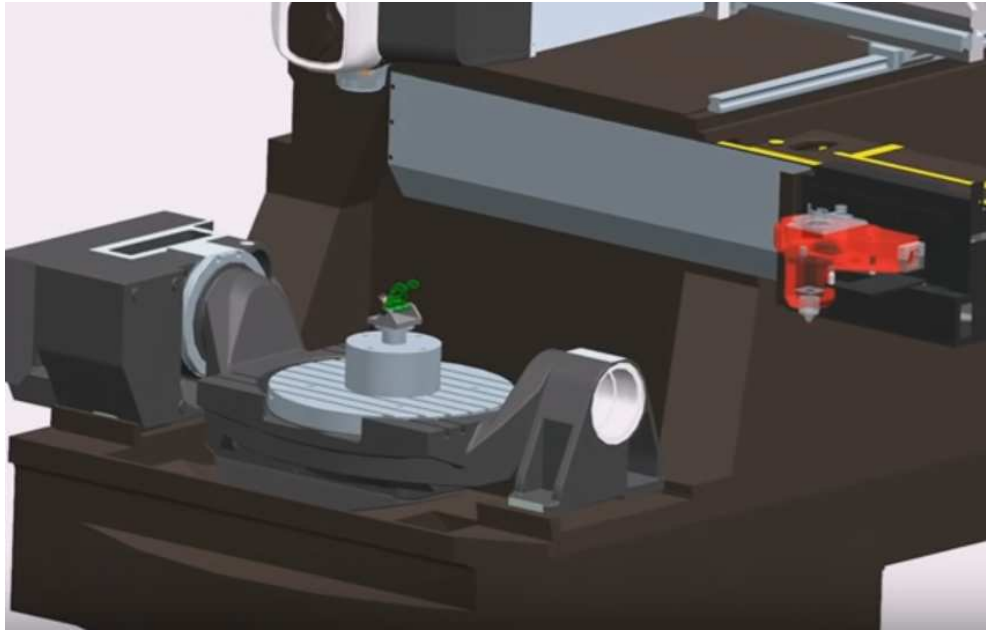
Slika 6: NX-konvergentni modelirnik ponuja razvojnikom enostaven in povsem nov konstrukcijski pristop.



Slika 7: Analiza korigirane topologije

Konvergentni modelirnik teži k temu, da vse do zdaj znane 3D-strukture združuje v enovit digitalni zapis. Uporabniku zagotavlja fleksibilnost in hitrost modeliranja za realizacijo novih idej na topološko optimiranih 3D-kosih. Odpira vrata sodobnemu 3D-tiskanju in podpira napredno hibridno proizvodnjo. V svoji strukturi konvergentno podpira 3D-skenirane podatke, nove STL-vire, proste površine, krivulje in trda telesa. Vzvrtni inženiring od zdaj naprej ni več potreben. Sistem s pomočjo kombinacije obstoječih teles in novih lokalnih zahtev sam izračuna novo trdo telo v zgodovini kreiranja kosa.

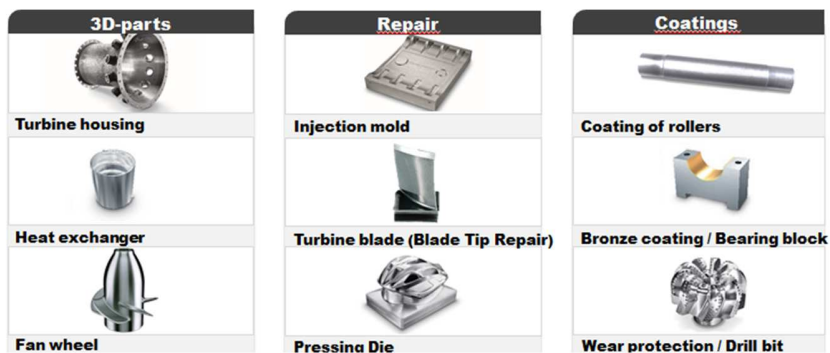




Slika 8: Hibridna izdelava na LASERTEC 65

Tudi pri zahtevnih kosih maloserijska orodja niso več potrebna, časi izdobeve prvih kosov pa se skrajšajo z 18 mesecev (značilno) na le nekaj dni. Prve analize 3D-printanih izdelkov nove generacije kažejo ekonomsko upravičenost v proizvodni seriji celo do 50 000 kosov.

Ostalo nam je le še, da izkoristimo nove razvojne potenciale in da na novo razmislimo, kaj vse bo mogoče v prihodnje izboljšati.



Slika 9: Izdelano z DMG MORI LASERTEC 65 3D

## **Kovinski materiali za nanašanje**

Na voljo so kovinski materiali za lasersko nanašanje v prašni obliki. Vključujejo orodna jekla, legure kroma, kobalta in molibdena, inoks, bron, medenino, specialne nikljeve zlitine, stelitni in karbidni prah ter drugo. Po laserskem nanašanju ostanejo mehanske lastnosti podobne, kot jih ima osnovni material. Nekatere metalurške vrednosti dosegajo že stopnjo enakosti do 98 odstotkov.

## **NX-procesiranje**

Siemensov hibridni CAD/CAM v povezavi z DMG MORI Lasertec 65 odlikujejo:

- popolna povezljivost procesa,
- avtomatizirana razčlenitev geometrijskih gradnikov,
- verifikacija in simulacija surovca, procesa in izdelka,
- kontrola kolizije laserskega nanosa in CNC-obdelave,
- 5-osna orodna pot za lasersko šobo in orodje,
- kontrola laserske moči in izkoristka materiala,
- integrirano postprocesiranje in kinematična simulacija centra.

Procesiranje je integrirano v enovitem okolju kosa.

## **NX-postprocesiranje**

Uporabniki CAD/CAM-sistemov so bili doslej prepričani, da je obdelovalne centre mogoče podpreti s postprocesorjem, ki izpisuje prilagojeno klasično CNC-kodo. S hibridnim centrom LASERTEC 65 3D to ne bo več povsem tako. NX CAD/CAM-proces in postprocesor LASERTEC sta v sistem povsem integrirana. Krmilje je napredni Sinumeric 840D SL, oba s postprocesorjem pa podpirata tudi nabor novih funkcij, ki so bile razvite prav za hibridno tehnologijo.

DMG MORI je Siemens izbral tudi zaradi NX CAM-zmogljivosti in hitrosti delovanja na velikih datotekah.

Primer praktičnega testiranja precej kompleksne 3D-orodne matrice v velikosti 0,8 m<sup>2</sup>, sestavljene iz 15 012 površin:

- proces prvega generiranja fine orodne poti (4460 aktivnih površin) na hrapavost Rz = 0,01 mm v globino 270 mm in izpis končne CNC-kode za celotno matrico je NX11 opravil v samo 1 minuti in 52 sekundah,

- ob tem so bili preverjeni in odpravljeni vsi kolizijski gibi tako orodja kot tudi držala na 61 000 stavkih CNC-kode,
- kalkulacija je potekala na standardnem HP-prenosniku s povprečnimi lastnostmi procesorja i7 in rezkarjem premera Fi 16 R1 mm.

Kot sem pred leti že napovedoval, se klasični zapis ISO CNC-kode (ISO 6983/RS274D) počasi poslavlja in prepušča mesto novim, bolj integriranim digitalnim zapisom vse bolj kompleksnih industrijskih procesov. Če je bil predhodni Unigraphics prvi, ki je na računalniku zapisal CNC-kodo v praktično uporaben zapis, je zdaj njegov naslednik NX v podobni vlogi, saj se tehnologija pomembno nadgrajuje. Očitno bo NX CAD/CAM/CAE pravi odgovor za izzive prihodnosti in razvoj povsem novih tehnologij v eri 4D.

<https://community.plm.automation.siemens.com>

Lado Černoš  
ITS, d. o. o.