

# UPORABA DODAJALNIH SLOJEVITIH TEHNOLOGIJ – HIDRAVLIČNI VENTILI

Anže Čelik

## Izvelek:

Postopek (hitre) izdelave tridimenzionalnih objektov na osnovi dodajalnih slojevitih tehnologij je vse bolj uveljavljen način, kako iz virtualnega preiti v realno. Aditivne oz. dodajalne slojevite tehnologije s pridom izkoriščamo tudi v podjetju Poclain Hydraulics (tako za potrebe vizualne komunikacije s kupci kakor tudi za vrednotenje funkcionalnosti prototipa). Pri tem ne gre le za precejšnjo pohitritev proizvodnega procesa (in s tem tudi skrajšanje časa lansiranja izdelka na tržišče), ampak se bistveno skrajša tudi razvojni cikel izdelka. Slednje gre predvsem na račun uporabe naprednih numeričnih optimizacijskih orodij, ki gredo z roko v roki s prej omenjeno tehnologijo hitre izdelave.

Prispevek prikazuje primere uporabe dodajalne slojevite tehnologije v podjetju Poclain Hydraulics. Na primeru večfunkcijskega ohišja hidravličnega ventila sta bolj podrobno prikazana potek topološke optimizacije omenjenega ohišja in prihranek materiala glede na začetno obliko.

Dodajalne slojevite tehnologije omogočajo izjemno široko paleto možnosti uporabe. Izbira ustrezne tehnologije je odvisna predvsem od kupčevih zahtev in želja po končnem izdelku. Z ozirom na dosedanji razvoj dodajalnih tehnologij pa gre tej panogi upravičeno pripisati trend enega izmed najhitreje rastočih trgov današnjega časa.

## Ključne besede:

slojevite tehnologije, 3D-tisk, topološka optimizacija, simulacije

## 1 Uvod

Aditivne oz. dodajalne slojevite tehnologije zadnje desetletje beležijo izjemno rast (in posledično tudi popularnost). Po nekaterih virih ([1], [2]) bo do leta 2020 tržišče aditivnih tehnologij preseglo vrednost 12 milijard dolarjev. Brez dvoma gre torej za izjemen potencial omenjene tehnologije, ki jo s pridom izkoriščamo tudi v podjetju Poclain Hydraulics. Ne le, da gre za precejšnjo pohitritev proizvodnega procesa (in s tem tudi skrajšanje časa lansiranja na tržišče), tudi razvojni cikel izdelka se lahko bistveno skrajša. Slednje gre predvsem na račun uporabe naprednih numeričnih optimizacijskih orodij.

Organizacija ASTM (standard ASTM F2792-10) loči 7 kategorij aditivne proizvodnje [3], od katerih v podjetju Poclain Hydraulics uporabljamo tehnologijo ekstrudiranja materiala (FDM), tehnologijo kapljičnega nanašanja (PolyJet) ter tehnologijo spajanja praškastega materiala (SLS in DMLS).

Uporaba tehnologije aditivne proizvodnje (imenovala tudi 3D-tisk) v podjetju sledi logičnemu razvoju te tehnologije. Pričetek se nanaša na tisk

objektov iz termoplastov oz. t. i. plastike; ta tehnologija se še danes uporablja za potrebe prototipov, katerih namen je vizualna predstavitev izdelka kupcu (*slika 1, slika 2, slika 3*).



**Slika 1** : Zavorna stopalka s podnožjem (tehnologija FDM, okvirne dimenzije zavornega mehanizma: 238 x 282 x 206 mm)

Mag. **Anže Čelik**, univ. dipl. inž., Poclain Hydraulics, d. o. o., Žiri



**Slika 2** : Ohišja ventilov (tehnologija: levo SLS, desno DMLS, okvirne dimenzije ohišja ventila: 114 x 110 x 50 mm)



**Slika 3** : Sestav ventila (tehnologija ohišja: FDM, okvirne dimenzije ohišja ventila: 45 x 78 x 49 mm)



**Slika 4** : Praktični preizkus karakteristik prototipa (tehnologija FDM)

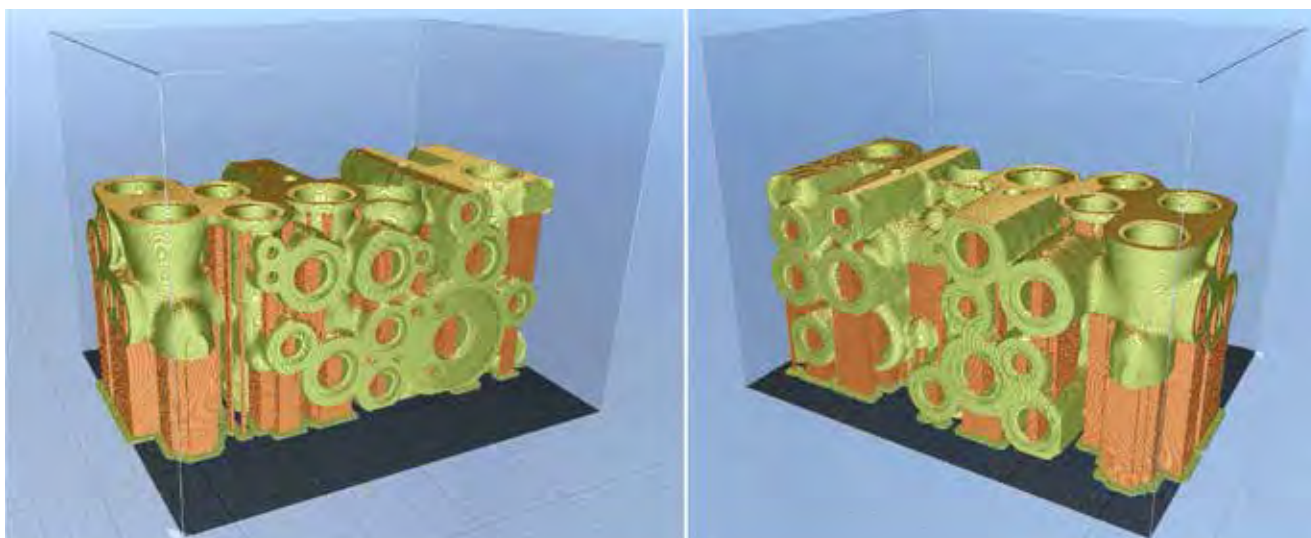
Termoplasti imajo tudi tehnično vrednost, saj je mogoče izdelke (tj. ventile), narejene po tehnologiji aditivne proizvodnje, v fazi razvoja uporabiti tudi za vrednotenje osnovnih karakteristik. *Slika 4* prikazuje karakteristični test potnega ventila nove generacije, s čimer so bile vrednotene tlačne izgube pri določenem položaju bata. Ugotovljeno je bilo, da je prototip, narejen po tehnologiji ekstrudiranja materiala (FDM), popolnoma reprezentativen glede osnovnih karakteristik. Maksimalni tlak, dosežen med preizkusom, pa je znašal nekaj manj kot 120 barov (kar je več kot dovolj za izvedbo osnovne karakterizacije ventila).

## 2 Uporaba aditivne tehnologije

Uporaba aditivnih tehnologij zahteva celovito spremembo materialne poti izdelka – od samega snovanja oz. razvoja izdelka do njegove izdelave, pa tudi logistike surovin. Le na ta način je mogoče v polnosti izkoristiti vse prednosti, ki jih nudi omenjena tehnologija. Posledično lahko znatno skrajšamo tako razvojni kot tudi proizvodni cikel. Nekateri izmed številnih razlogov temu v prid so:

- ▶ uporaba naprednih optimizacijskih orodij, ki optimizirajo potrebno količino materiala na izdelku → manjša masa izdelka ob enaki/izboljšani togosti,
- ▶ opustitev izdelave detajlnih delavniških risb,
- ▶ opustitev izdelave livarskih orodij,
- ▶ hitra proizvodnja/dobava (pol)izdelka in
- ▶ minimizacija naknadne strojne obdelave (če je ta sploh potrebna).

Velja pa omeniti tudi nekatere (trenutne) pomanjkljivosti dodatnih tehnologij, med katerimi (pri uporabi kovinskega praškastega materiala) izstopajo predvsem:



**Slika 5** : Primer prikaza začasnih podpornih struktur (oranžno področje)

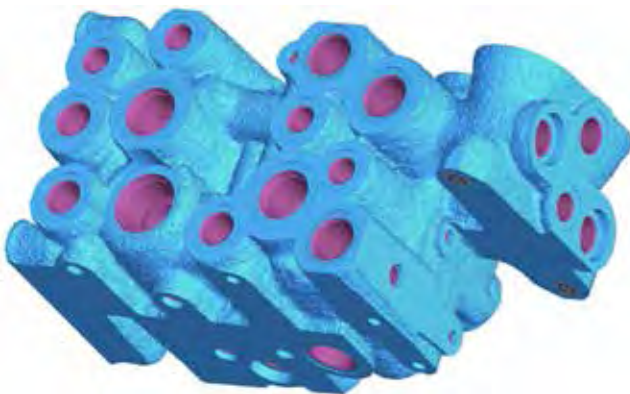
- ▶ naknadno ročno odstranjevanje začasnih podpornih struktur (v določenih primerih teh podpor sploh ni možno odstraniti, *slika 5*),
- ▶ trdota spojenega materiala (naknadna strojna obdelava s konvencionalnimi orodji je mogoča le pri nekaterih materialih) in
- ▶ cena (stroja/surovine/storitve).

Na tem mestu moramo omeniti, da je mogoče s pravilno optimizacijo geometrije izdelka znatno vplivati na količino začasnih podpornih struktur, tehnologija tiska in tudi materialov pa skokovito napredujeta. Posledično bodo številne (današnje) omejitve odpravljene ali pa vsaj minimizirane.

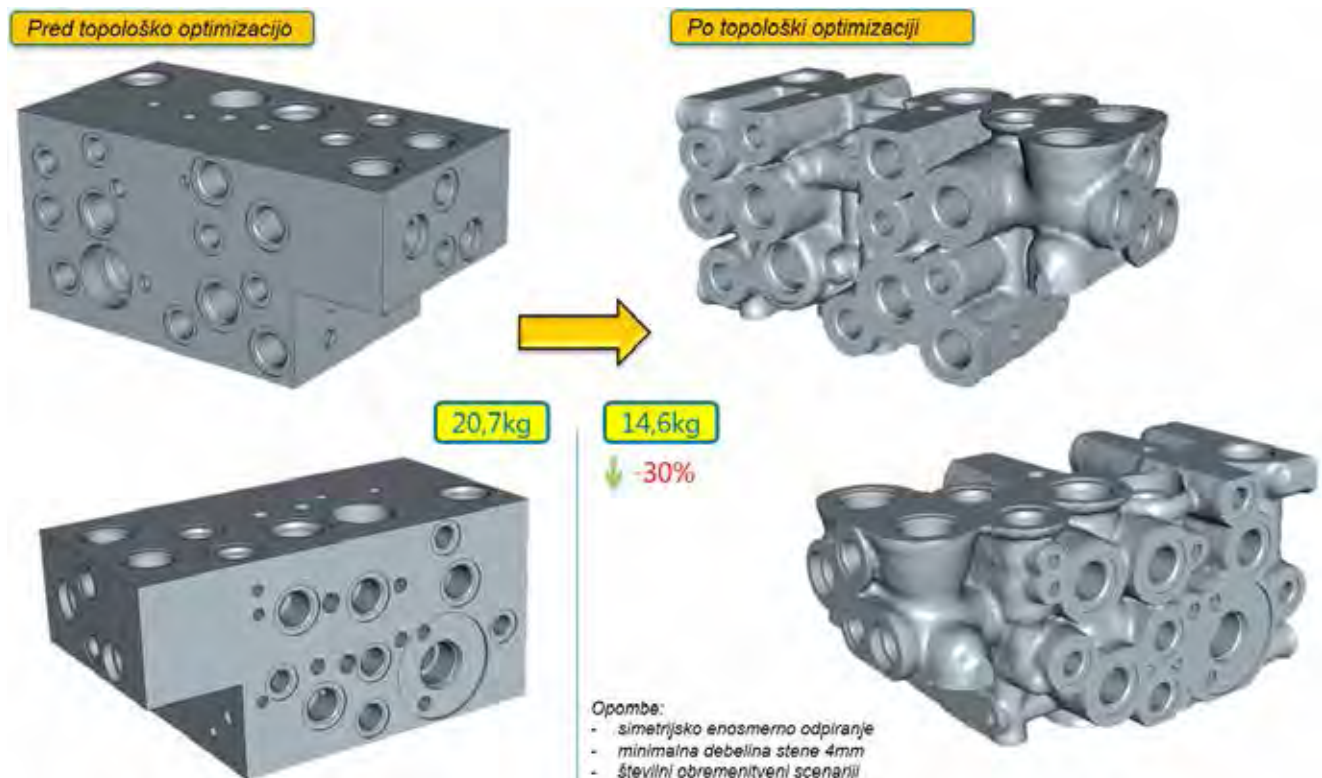
Uporaba aditivne proizvodnje na izdelku se odraža že v fazi razvoja oz. koncipiranja izdelka. Konstrukterju so ob uporabi omenjene tehnologije odprte številne nove možnosti oblikovanja izdelka, ki jih sicer (tj. s konvencionalnimi proizvodnimi postopki) ni mogoče uporabiti. Močno podporo pri konstruiranju izdelka nudijo numerična simulacijska orodja, od katerih izstopajo predvsem napredna orodja za optimizacijo geometrije (neparametrične in parametrične optimizacije). V podjetju Poclair Hydraulics uporabljamo orodje za topološko (tj. neparametrično) optimizacijo, katerega razvoj je plod slovenskega znanja (podjetje CAESS, d. o. o. in njihov produkt ProTop [7])!

### 2.1 Optimizacija topologije izdelka

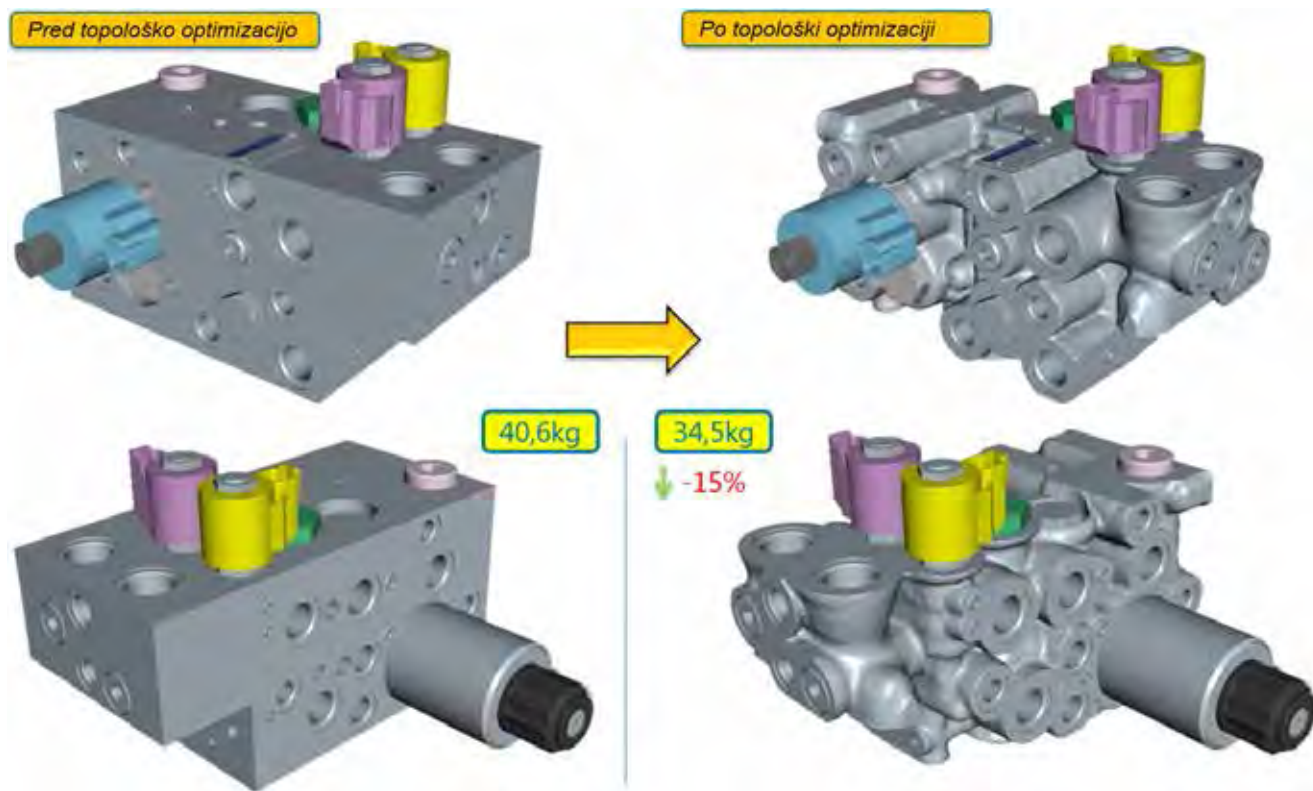
Optimizacija topologije v prvi fazi zajema definicijo domene (tj. uporabnega volumna), znotraj katere lahko matematični algoritem iterativno optimizira materialno funkcijo (npr. gostoto materiala oz. elastični modul) tako, da minimizira ali maksimira ciljno funkcijo in zadosti predpisanim omejitvam. Ciljna funkcija je npr. deformacijska energija, lastna frekvenca idr. Minimum deformacijske energije posledično pomeni maksimalno togost (avtomatična posledica pa so minimalne in enakomerno porazdeljene napetosti) ob predpisanih pogojih in ob upoštevanju predpisanega ciljnega volumna. Optimizaciji so lahko dodane tudi tehnološke zahteve glede litja (npr. smer odpiranja, livarski koti



*Slika 6 : Topološko optimiziran model ohišja ventila*



*Slika 7 : Prikaz ohišja ventila pred topološko optimizacijo in po njej*



Slika 8 : Prikaz sestava pred topološko optimizacijo in po njej

...), simetrijski pogoji, pogoji debeline stene, pogoji cikličnosti idr.

Rezultat topološke optimizacije je izdelek, ki ima pri danih pogojih maksimalno togost ali maksimalno prvo lastno frekvenco. Optimizirane (tj. rezane) površine pa so območja brez koncentracij napetosti. Tako dobljeni neparametrični model je nadalje mogoče uporabiti:

- ▶ kot osnovo za izdelavo parametričnega modela,
- ▶ neposredno kot objekt za 3D-tisk.

Če se digitalno optimiziran izdelek neposredno izdelava po postopku dodajalnih tehnologij, je kvaliteta (rezanih) površin bistvenega pomena. Slednje praviloma pomeni, da mora biti numerični model zgrajen iz velikega števila končnih elementov (slika 6) in da je potrebno naknadno izvesti fino glajenje površin.

Zaradi edinstvenih zmožnosti programa ProTOP glajenje površin in delo na več milijonov (ali celo več deset milijonov) končnih elementov potekata v realnem času in brez večjih težav tudi na običajni delovni postaji. Slika 6 prikazuje situacijo pred glajenjem površin, uporabljenih pa je več kot 13 milijonov končnih elementov.

Slika 7 prikazuje model ohišja ventila pred izvedeno topološko optimizacijo in po njej (prikazani so različni pogledi na model). Prihranek na masi v danem primeru znaša približno 30 %. Kar pa je še bolj

pomembno poudariti, je dejstvo, da optimizirane površine ne vsebujejo koncentracij napetosti (ki bi sicer lahko bile prisotne pri ročnem optimiziranju topologije).

Prihranek na masi z vidika celotnega sestava v danem primeru znaša približno 15 %. Situacijo prikazuje slika 8. Prihranek na masi pa se posledično odraža tudi pri nižjem ogljičnem odtisu končnega uporabnika (npr. na delovnem stroju).



Slika 9 : Prikaz faze aditivne proizvodnje (okvirne dimenzije ventila: 143 x 124 x 55 mm)

## 2.2 Aditivna proizvodnja

Kot je bilo že omenjeno, se topološko optimiziran izdelek lahko neposredno uporabi za 3D-tisk ali pa se uporabi kot osnova za izdelavo parametričnega modela. V obeh primerih pa se objekt tik pred samim tiskom razdeli (razreže) na tanke sloje, in sicer v za to namensko izdelanih programskih orodjih (angl. slicer). Izdelava objekta poteka sloj po sloju z dodajanjem materiala (od tu ime dodajalne slojevite tehnologije). Sloji pa so medsebojno spojeni na atomskem (SLM), molekulskem (DMLS, SLS) ali pa na makro nivoju (FDM).

Slika 9 prikazuje postopek aditivne proizvodnje enega izmed izdelkov podjetja Poclain Hydraulics. Ta postopek je v celotnem procesu izdelave končnega izdelka eden od ključnih. Izdelano ohišje je plod uspešnega sodelovanja s strokovnjaki iz podjetja MARSİ iz Brežic [8].

Kot je bilo že omenjeno, je ena izmed manj zaželenih lastnosti uporabe aditivne tehnologije predvsem trdota spojenega kovinskega materiala. Obdelava s konvencionalnimi rezilnimi orodji (ki so sicer namenjena obdelavi običajnih, tj. nizko trdnostnih konstrukcijskih materialov) namreč zahteva daljše čase, večjo obrabo in posledično krajšo življenjsko dobo rezil. Omenjeno situacijo bi lahko delno odpravili z uporabo namenskih rezil za visoko trdnostne materiale ter z optimizacijo procesnih parametrov na CNC-strojih.

Slika 10 prikazuje fazo strojne obdelave ohišja, narejenega po postopku dodajalnih tehnologij (DMLS). Pri uporabljenem materialu (martenzitno jeklo) je opaziti precejšnje kopičenje odrezkov na rezilnem orodju med postopki vrtanja. Neželena lastnost odrezkov pa je tudi njihovo »lepljenje« na rezilno orodje (slika 11), kar podaljšuje proces strojne obdelave.

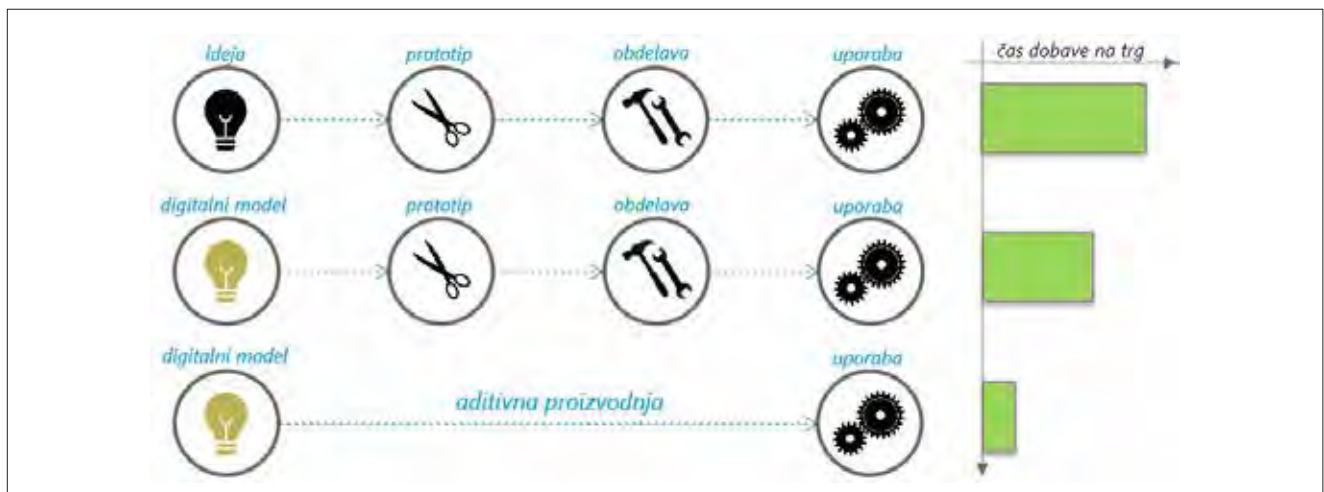


Slika 10 : Prikaz faze strojne obdelave tiskanega kovinskega ohišja



Slika 11 : Lepljenje odrezkov na rezilno orodje

Ne glede na zgoraj omenjene »slabosti« pa se z uporabo aditivnih tehnologij lahko bistveno skrajša čas lansiranja produkta na tržišče. Slika 12 prikazuje primerjavo med tremi različnimi pristopi h konstruk-



Slika 12 : Prednost uporabe aditivne proizvodnje

iranju izdelka. Prvotni »analogni« pristop preko iterativnih zank običajno traja več let. Z digitalizacijo v fazi razvoja se čas dobave izdelka na tržišče lahko bistveno skrajša. Z digitalizacijo celotnega procesa (razvoj, proizvodnja) pa se ta čas lahko dodatno skrajša na vsega nekaj tednov/mesecev.

### 3 Sklep

Smo v (digitalni) dobi, ko se nove oblike in metode razvoja, izdelave in logistike izdelka spreminjajo tako rekoč z danes na jutri. Na vidiku je industrija 5.0, pri kateri bosta človek in pametni sistemi ter naprave bolj z roko v roki (kar je naslednji korak glede na industrijo 4.0, kjer je pametna tehnologija postavljena v ospredje proizvodnje [6]). Eno izmed glavnih gonil razvoja vseh novodobnih industrijskih revolucij pa je predvsem potreba končnih uporabnikov oz. potrošnikov po (personalni) individualizaciji izdelkov.

Glede na današnje trende razvoja aditivnih tehnologij (tj. procesov izdelave in materialov) gre vsekakor pričakovati, da se bo ta še dodatno poenostavila, pohitrila in pocenila ter posledično globalno razširila tako na področje industrijskih kot tudi zasebnih oz. »gospodinskih« aplikacij (takšen primer razvoja/razširitve tehnologije je dobro poznan na področju 3D-tiska termoplastov).

Kljub vsem oblikam tehnoloških izboljšav pa bo človek še vedno igral prvenstveno vlogo – zlasti pri razvoju »digitalne inteligence« kot tudi pri soupravljanju digitalno podprtih sistemov.

### Literatura

- [1] <https://www.slideshare.net/Funk98/additive-manufacturing-3d-printing-55145067>; nazadnje obiskano 9. 3. 2018.
- [2] <https://www.statista.com/statistics/284863/additive-manufacturing-projected-global-market-size/>; nazadnje obiskano 9. 3. 2018.
- [3] [https://www.additivemanufacturing.media/cdn/cms/7\\_families\\_print\\_version.pdf](https://www.additivemanufacturing.media/cdn/cms/7_families_print_version.pdf); nazadnje obiskano 12. 3. 2018.
- [4] <https://www.ntf.uni-lj.si/igt/wp-content/uploads/sites/8/2017/10/3D-Tisk-Dodajalne-tehnologije.pdf>; nazadnje obiskano 12. 3. 2018.
- [5] <https://www.additively.com/en/learn-about/3d-printing-technologies>; nazadnje obiskano 12. 3. 2018.
- [6] <https://tovarna.finance.si/8864877>; nazadnje obiskano 15. 3. 2018.
- [7] <http://www.caess.eu>; nazadnje obiskano 29. 3. 2018.
- [8] <http://www.marsi.at/3d-tiskanje-kovin>; nazadnje obiskano 29. 3. 2018.



MARSI, Mario Sinko s.p.  
Prešernova cesta 6  
SI-8250 Brežice  
Slovenija

+386 08 205 86 93  
info@marsi.at  
www.marsi.at



## The usage of additive layered technologies – hydraulic valves

### Abstract:

The rapid manufacturing process (of three-dimensional objects) that is based on additive layered technologies, becomes more and more established way of transforming digital models to end products. Additive layered technologies are more and more used in Poclairn Hydraulics (for visualization purposes on customer side as well as for evaluation of prototype functionality). The main advantages using such technologies are not only to speed up manufacturing process (and consequently also time to market) but also to speed up development cycle. The latter is mainly due to the usage of advanced numerical optimization tools that go hand in hand with previously mentioned technology.

The paper presents examples of using additive manufacturing process within the Poclairn Hydraulics. A topology optimization of multifunction valve housing as well as corresponding weight saving on the bulk material with respect to the initial shape are presented more in details.

Additive layered technologies enable extremely wide range of applications. Choosing the right technology depends primarily on customer's requirements and his wishes regarding final product. Based on the recent development of additive technologies, this industry could be attributed to be one of the fastest growing market today.

### Keywords:

additive manufacturing, 3D print, topology optimization, simulations