

42. JUPITER KONFERENCIJA

sa međunarodnim učešćem

42nd JUPITER CONFERENCE

with foreign participants

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Beograd, oktobar 2020.

42. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



35. simpozijum
**CIM U STRATEGIJI TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA INDUSTRIJE PRERADE METALA**

29. simpozijum
CAD/CAM

38. simpozijum
NU – ROBOTI –FTS

44. simpozijum
**UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U
INDUSTRIJI PRERADE METALA**

22. simpozijum
MENADŽMENT KVALITETOM

Organizator:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Beograd, oktobar 2020. godine

42. JUPITER KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

Organizator i izdavač:

UNIVERZITET U BEOGRADU - MAŠINSKI FAKULTET

Adresa:

Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija

Tel: 011-3370341, Fax: 011-3370364

El. pošta: jupiter@mas.bg.ac.rs

Odobreno za štampu odlukom Dekana
br. 21/2020 od 29.09.2020.

Tehnički urednici:

Prof. dr Bojan Babić

Prof. dr Saša Živanović

Doc. dr Mihajlo Popović

Beograd, oktobar 2020.

Tiraž: 100 primeraka

Štampa: **Planeta print**,

11000 Beograd, Igora Vasiljeva 33r, tel.: 011 650 6564

ISBN 978-86-6060-055-6

42. JUPITER KONFERENCIJA

PROGRAMSKI I NAUČNI ODBOR

Predsjednik:

Prof. dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet Beograd

Članovi: Prof. dr Slavko Arsovski, MF Kragujevac • Prof. dr Bojan Babić, MF Beograd • Prof. dr Božica Bojović, MF Beograd • mr Goran Vujačić, VŽŠ Beograd • Prof. dr Miloš Glavonjić, MF Beograd • Prof. dr Dragan Milutinović, MF Beograd • Prof. dr Saša Živanović, MF Beograd • Prof. dr Milan Zeljković, FTN Novi Sad • Prof. dr Milisav Kalajdžić, MF Beograd • Prof. dr Pavel Kovač, FTN Novi Sad • Prof. dr Miodrag Lazić, MF Kragujevac • Prof. dr Ljubomir Lukić, MF Kraljevo • Prof. dr Živana Jakovljević, MF Beograd • Prof. dr Vidosav Majstorović, MF Beograd • Prof. dr Pavao Bojanić MF Beograd • Prof. dr Zoran Miljković, MF Beograd • Prof. dr Radivoje Mitrović, MF Beograd • Prof. dr Bogdan Nedić, MF Kragujevac • Prof. dr Petar Petrović, MF Beograd • Prof. dr Miroslav Pilipović, MF Beograd • Prof. dr Radovan Puzović, MF Beograd • Prof. dr Slobodan Tabaković, FTN Novi Sad • Prof. dr Velimir Todić, FTN Novi Sad • Prof. dr Miroslav Trajanović, MF Niš • Prof. dr Saša Randelović, MF Niš • Prof. dr Ilija Čosić, FTN Novi Sad • dr Nebojša Čović, Beograd • Prof. dr Emilia Assenova (Bugarska) • Prof. dr Vladimir I Averchenkov (Rusija) • Prof. dr Nikolai I. Bobir (Ukrajina) • Prof. dr Konstantin D. Bouzakis (Grčka) • Prof. dr Radomir Vukasojević (Crna Gora) • Prof. dr Milan Vukčević (Crna Gora) • Prof. dr Dušan Golubović (BiH) • Prof. dr Kornel Ehmann (SAD) • Prof. dr Alexander Janac (Slovačka) • Prof. dr Vid Jovišević (BiH) • Prof. dr Simo Jakanović (BiH) • Prof. dr Milija Krajišnik (BiH) • Prof. dr Michael I Kheifetz (Belorusija) • Prof. dr Sergey A. Klimenko (Ukrajina) • Prof. dr Radovan Kovačević (SAD) • Prof. dr Andrey A. Kutin (Rusija) • Prof. dr Peter P. Melnichuk (Ukrajina) • Prof. dr Nicolae Negut (Rumunija) • Prof. dr Stanislaw Pytko (Poljska) • Prof. dr Sreten Savićević (Crna Gora) • Prof. dr Mirko Soković (Slovenija) • Prof. dr Victor K. Starkov (Rusija) • Prof. dr Goran Putnik (Portugalija)

ORGANIZACIONI ODBOR

Predsjednik:

Prof. dr Bojan Babić, Mašinski fakultet Beograd

Sekretar:

Prof. dr Saša Živanović, Mašinski fakultet Beograd

Članovi:

Doc. dr Branko Kokotović, MF Beograd • Doc. dr Nikola Slavković, MF Beograd • Doc. dr Goran Mladenović, MF Beograd • Doc. dr Mihajlo Popović, MF Beograd • Doc. dr Slavenko Stojadinović, MF Beograd • Doc. dr Milica Petrović, MF Beograd • Doc. dr Miloš Pjević, MF Beograd • Asist. Dušan Nedeljković, MF Beograd • Asist. Nikola Vorkapić, MF Beograd

ZAHVALNICA

Organizacioni odbor **42. JUPITER KONFERENCIJE** se najsrdahnije zahvaljuje svim institucijama i pojedincima koji su ličnim angažovanjem i konstruktivnim delovanjem pomogli u organizovanju ove konferencije, naročito:



CPS-CAD Professional Systems

<https://www.cadpro.co.rs/>



INMOLD INMOLD PLAST d.o.o.

<https://www.inmold-ltd.com/>



Meusburger Georg GmbH & Co KG

<https://www.meusburger.com/SR/RS/index>



Key IT d.o.o.

<http://www.keyit.co.rs/>

Posebno se zahvaljujemo pokroviteljima:



**Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja
Vlade Republike Srbije**

<http://www.mpn.gov.rs/>



Istraživačko razvojni institut LOLA d.o.o.

<https://www.li.rs/>

PREDGOVOR

JUPITER Konferencija prikazuje značajne rezultate istraživanja ostvarene u prethodne dve godine. Ovogodišnja XLII JUPITER Konferencija je prilika da se sagledaju trendovi u domenu nauke, obrazovanja i industrije u Republici Srbiji u kontekstu koncepta Industrija 4.0. Industrija 4.0 označava promenu paradigme u proizvodnim kompanijama i njihovim lancima snabdevanja. Dok su procesi proizvodnje i logistike, koji su centralno upravljani sada već deo prošlosti, procesi budućnosti više su poput organizma koji se samostalno organizuje kroz umrežavanje svih uključenih strana.

Ubrzani tehnološki razvoj i digitalna transformacija industrije dovode do značajnih promena na tržištu rada. Industrija 4.0, u kojoj autonomni sajber-fizički sistemi nadgledaju fizičke procese i donose odluke, nije potrebna radna, nego stručna snaga. To traži i potpuno nov pristup obrazovanju – posebno u oblasti inženjerskih nauka

Centar za nove tehnologije - naučni i tehnološki poligon za generisanje novih ideja, koncepta i proizvoda je jedan od nosioca stvaranja tehnoloških platformi Republike Srbije.

Na Konferenciji će biti izloženo 33 rada autora iz Srbije i inostranstva.

Ministarstvo prosvete nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije i Lola institut su finansijskom podrškom omogućili organizovanje ove konferencije kao podršku naporima za unapređenje obrazovanja i nauke u oblasti proizvodnog mašinstva.

U ime organizacionog odbora posebno se zahvaljujem svim domaćim i stranim autorima, kao i članovima recenzentskog tima na izvršenim recenzijama.

Dobro došli na XLII JUPITER Konferenciju.

U Beogradu, 6. oktobar 2020.

Prof. dr Bojan Babić

Spisak svih radova na JUPITER Konferenciji
po prezimenu prvog autora

Бабић, Б., Вишић Ј., Бермановић А. ДИГИТАЛНИ БЛИЗАНЦИ У ПАМЕТНОЈ ПРОИЗВОДЊИ И ИНДУСТРИЈИ 4.0	1.1
Baltić, M., Peković, O., Svorcan, J., Kovačević, A. METODE PROIZVODNJE KOMPOZITNIH LOPATICA VETROTURBINA SA HORIZONTALNOM OSOM OBRATANJA	3.73
Blanuša, V., Zeljković, M., Živković, A. UTICAJ KINEMATSKE VISKOZNOSTI MAZIVA NA GENERISANU TOPLOTU SKLOPA GLAVNOG VRETENA	3.22
Gostimirović, M., Pavkov, B., Rodić, D., Sekulić, M. APLIKACIJA ZA MODELIRANJE I IZBOR MERODAVNIH REŽIMA OBRADE PRI STRUGANJU	3.29
Hasan, M.S., Vorkapić, M., Ivanov, T., Kovačević, A. PREDIKCIJA BRZINE NA 3D ŠTAMPAČU PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA	2.7
Jakovljević, Ž., Nedeljković, D., Ševarlić, F., Puzović, R. KOMUNIKACIJA IZMEĐU PROIZVODNIH RESURSA KORIŠĆENJEM OPC-UA STANDARDA	4.1
Jovančićević, L., Popović, M., Pjević, M., Tanović Lj. EKSPERIMENTALNA IDENTIFIKACIJA UGLA ELASTIČNOG VRAĆANJA KOD ŠIREG SPEKTRA MATERIJALA	3.35
Јовичић, М. О ЖИВОТУ И ДЕЛУ ПРОФ. ДР ВЛАДИМИРА Б. ШОЛАЈЕ	UR
Kalabić R., Popović M., Pjević, M., Mladenović, G., Tanović Lj. ISTRAŽIVANJE UTICAJA PARAMETARA OBRADE NA POKAZATELJE KVALITETA PRI OBRADI REZANJEM POLIMERA	3.41
Kovačević, A., Ivanov, T., Simonović, A., Vorkapić, M. POVEĆANJE PRECIZNOSTI IZRADE 3D ŠTAMPANIH DELOVA PRIMENOM ITERATIVNE METODE	2.13
Kurbegović, R., Janjić, M., Vukčević, M., Đurović, D. UTICAJ PARAMETARA OBRADE ABRAZIVNIM VODENIM MLAZOM NA ODSTUPANJE PREDNJE LINIJE REZA	3.81
Lazarević, D., Nedić, B., Mišić M., Šarkoćević Ž., Čamagić, I. TAČNOST OBRADE VRETNASTIM GLODALOM U FUNKCIJI ŠIRINE REZANJA	3.88
Lukić, N., Petrović, P. B., Matijašević L. KONCEPTUALNI ASPEKTI KRUTOSTI KONFIGURACIONOG PROSTORA NULE RELEVANTNI ZA PROCES ROBOTIZOVANOG SPAJANJA	3.94
Matijašević, L., Petrović, P., Lukić, N. PODAKTUIRANI SISTEMI ZA ROBOTSKO HVATANJE I MANIPULACIJU OBJEKTIMA U TEHNOLOGIJI ROBOTSKE MONTAŽE – RAZVOJ CMSysLab ROBOTSKE ŠAKE	3.100
Miljković, K., Petrović, M.M., Jovanović, R. PRILOG RAZVOJU INTELIGENTNOG UPRAVLJANJA SERVO MOTORAJEDNOSMERNE STRUJE PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA	4.24
Mitrović, R. INDUSTRIJA 4.0 - NOVA PARADIGMA U PROIZVODNIM KOMPANIJAMA I OBRAZOVANJU	UR
Mladenović, G., Tanović, Lj., Milovanović, M., Popović, M., Puzović, R., Pjević, M. RAZVOJ SISTEMA ZA AUTOMATSKO PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE PREDOBRADE DELOVA SA SLOŽENIM POVRŠINAMA	2.1

Mladenović, C., Zeljković, M., Košarac, A. DEFINISANJE KARTE STABILNOSTI OBRADNOG SISTEMA PRIMENOM FREKVENTNE ANALIZE SIGNALA VIBRACIJA	3.47
Nedeljković, D., Jakovljević, Ž., Miljković, Z. KLASIFIKACIJA SLIKE ZASNOVANA NA PRIMENI KONVOLUCIONIH NEURONSKIH MREŽA	4.13
Nedić, B., Đurić, S., Baralić, J. MONITORING OBRADE REZANJEM ANALIZOM SIGNALA OTPORA REZANJA	4.36
Popović, V. REFORMA FINANSIRANJA I ORGANIZACIJE NAUKE U REPUBLICI SRBIJI	UR.
Sredanović, B., Borojević, S., Čiča, Đ., Tešić, S. AUTOMATIZACIJA PROJEKTOVANJA PROIZVODA PRIMJENOM CAD PROGRAMSKIH SISTEMA NOVE GENERACIJE	2.20
Stefanović, Lj., Milutinović, M., Movrin, D., Vilotić, M., Skakun P., Vilotić, D., Dačević, N. Randelović, S PRIMENA ADITIVNIH TEHNOLOGIJA U IZRADI MALOSERIJSKIH ALATA ZA INJEKCIONO PRESOVANJE	3.53
Svorcan, J., Peković, O., Tanović, D., Hasan, M.S. ODREĐIVANJE MODIFIKOVANOG PROFILA BRZINE POMOĆU PRORAČUNA OPSTRUJAVANJA I VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA.....	2.27
Tabaković, S., Zeljković, M., Hadžistević, M ODREĐIVANJE GREŠAKA POZICIONIRANJA NUMERIČKI UPRAVLJANIH MAŠINA ALATKI PRIMENOM KRUŽNOG TESTA PREMA ISO230-4.....	3.61
Tanović D., Svorcan J., Peković O., Hasan M.S. ANALIZA PERFORMANSI VETROTURBINE SA RAZLIČITIM AEROPROFILIMA	2.33
Tanović, Lj., Živanović, S., Puzović, R., Kokotović, B., Popović, M., Slavković, N., Mladenović, G., Stojadinović, S., Pjević, M., Vorkapić, N. RAZVOJ NOVE GENERACIJE DOMAĆIH OBRADNIH SISTEMA REZULTATI ISTRAŽIVANJA ZA 2019. GODINU.....	3.1
Tešić, S., Zeljković, M., Mladenović, C., Grujić, J. UTICAJ REŽIMA REZANJA NA POSTOJANOST ALATA KOD GLODANJA BIOKOMPATIBILNOG ČELIKA 316LVM.....	3.67
Vasilić, G., Živanović, S. UTICAJ REZOLUCIJE RAVANSKOG PARALELNOG MEHANIZMA NA TAČNOST KOMPLEKSNE MAŠINE ALATKE ZA PROCES OBRADE SEČENJA ŽICOM.....	3.106
Васильевић, П., Шћеповић, М., Стојадновић, С., Пузовић, Р. ПЛАНИРАЊЕ КОНТРОЛЕ КВАЛИТЕТА ПРОИЗВОДА У СОФТВЕРУ OPERA MES	5.1
Vidaković, J., Stepanić, P., Dimić, Z., Rakić, A. SIMULACIJA SISTEMA UPRAVLJANJA UREĐAJA ZA PROSTORNU DEZORIJENTACIJU PILOTA.....	3.116
Vorkapić, M., Simonović, A., Čočkalović, D., Đorđević D. IMPLEMENTACIJA ADITIVNE PROIZVODNJE U LEAN KONCEPT	4.42
Vorkapić, N., Živanović, S., Kokotović, B., Slavković, N., Dimić, Z. PROGRAMIRANJE TROOSNIH NU GLODALICA SA DVE TRANSLATORNE I JEDNOM OBRRTNOM OSOM	3.122
Zeljković, M., Tabaković, S. PROIZVODNO MAŠINSTVO POČETKOM XXI VEKA	UR
Živanović, S., Vorkapić, N., Slavković, N., Kokotović, B. ANALIZA PRIMENE NOVOG METODA PROGRAMIRANJA CNC STRUGOVA PRIMENOM STEP-NC PROTOKOLA	3.129
Živojinović, D., Svorcan J., Baltić, M., Simonović, A. KUTIJA ELEKTRONIKE – STRUKTURNA ANALIZA I IZRADA.....	2.41

SPISAK AUTORA
LIST OF AUTHORS

BABIĆ, B.
BALTIĆ, M.
BARALIĆ, J.
BLANUŠA, V.
BOROJEVIĆ, S.
ČAMAGIĆ, I.
ČIČA, Đ.
ČOČKALO, D.
DAČEVIĆ, N.
ĐERMANOVIĆ A.
DIMIĆ, Z.
ĐORĐEVIĆ D.
ĐURIĆ, S.
ĐUROVIĆ, D.
GOSTIMIROVIĆ, M.
GRUJIĆ, J.
HADŽISTEVIĆ, M
HASAN M.S.
HASAN, M.S.
IVANOV, T.
JAKOVLJEVIĆ, Ž.
JANJIĆ, M.
JOVANČIĆEVIĆ, L.
JOVANOVIĆ, R.
JOVIČIĆ, M.
KALABIĆ R.
KOKOTOVIĆ, B.
KOŠARAC, A.
KOVAČEVIĆ, A.
KURBEGOVIĆ, R.

LAZAREVIĆ, D.
LUKIĆ, N.
MATIJAŠEVIĆ L.
MATIJAŠEVIĆ, L.
MILJKOVIĆ, K.
MILJKOVIĆ, Z.
MILOVANOVIĆ, M.
MILUTINOVIĆ, M.
MIŠIĆ M.
MITROVIĆ, R.
MLAĐENOVIĆ, C.
MLADENOVIĆ, G.
MOVRIN, D.
NEDELJKOVIĆ, D.
NEDIĆ, B.
PAVKOV, B.
PEKOVIĆ O.
PEKOVIĆ, O.
PETROVIĆ, M.M.
PETROVIĆ, P.
PETROVIĆ, P. B.
PJEVIĆ, M.
POPOVIĆ M.
POPOVIĆ, M.
POPOVIĆ, V.
PUZOVIĆ, R.
RAKIĆ, A.
RANĐELOVIĆ, S
RODIĆ, D.
ŠARKOČEVIĆ Ž.

ŠĆEPOVIĆ, M.
SEKULIĆ, M.
ŠEVARLIĆ, F.
SIMONOVIĆ, A.
SKAKUN P.
SLAVKOVIĆ, N.
SREDANOVIĆ, B.
STEFANOVIĆ, LJ.
STEPANIĆ, P.
STOJADINOVIĆ, S.
SVORCAN, J.
TABAKOVIĆ, S.
TANOVIĆ D.
TANOVIĆ LJ.
TANOVIĆ, D.
TANOVIĆ, LJ.
TEŠIĆ, S.
VASILIĆ, G.
VASILJEVIĆ, P.
VIDAKOVIĆ, J.
VILOTIĆ, D.
VILOTIĆ, M.
VIŠIĆ J.
VORKAPIĆ, M.
VORKAPIĆ, N.
VUKČEVIĆ, M.
ZELJKOVIĆ, M.
ŽIVANOVIĆ, S.
ŽIVKOVIĆ, A.
ŽIVOJINOVIĆ, D.

**UPRAVLJANJE PROIZVODNJOM U INDUSTRIJI
PRERADE METALA
PRODUCTION CONTROL IN METALWORKING INDUSTRY**

Jakovljević, Ž., Nedeljković, D., Ševarlić, F., Puzović, R. KOMUNIKACIJA IZMEĐU PROIZVODNIH RESURSA KORIŠĆENJEM OPC-UA STANDARDA	4.1
Nedeljković, D., Jakovljević, Ž., Miljković, Z. KLASIFIKACIJA SLIKE ZASNOVANA NA PRIMENI KONVOLUCIONIH NEURONSKIH MREŽA	4.13
Miljković, K., Petrović, M.M., Jovanović, R. PRILOG RAZVOJU INTELIGENTNOG UPRAVLJANJA SERVO MOTORAJEDNOSMERNE STRUJE PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA	4.24
Nedić, B., Đurić, S., Baralić, J. MONITORING OBRADE REZANJEM ANALIZOM SIGNALA OTPORA REZANJA	4.36
Vorkapić, M., Simonović, A., Čočkalović, D., Đorđević D. IMPLEMENTACIJA ADITIVNE PROIZVODNJE U LEAN KONCEPT	4.42



CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

658.5:004.384(082)(0.034.2)
004.896(082)(0.034.2)
621.7/.9-52(082)(0.034.2)
007.52:658.5(082)(0.034.2)
005.6(082)(0.034.2)

ZBORNİK radova [Elektronski izvor] = Proceedings / [35. simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala [i] 29. simpozijum CAD/CAM [i] 38. simpozijum NU - ROBOTI - FTS [i] 44. simpozijum Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala [i] 22. simpozijum Menadžment kvalitetom [sve u okviru] 42. Jupiter konferencija sa međunarodnim učešćem = 42nd Jupiter Conference with foreign participants, Beograd, oktobar 2020. ; [organizator] Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet = [organizer] University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering. - Beograd : Univerzitet, Mašinski fakultet, 2020 (Beograd : Planeta print). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemske zahteve: Nisu navedeni. - Nasl. sa nasl. strane dokumenta. - Tekst ćir. i lat. - Tiraž 100. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-6060-055-6

1. Јупитер конференција са међународним учешћем (42 ; 2020 ; Београд) 2. Симпозијум CIM у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала (35 ; 2020 ; Београд) 3. Симпозијум CAD/CAM (29 ; 2020 ; Београд) 4. Симпозијум NU - ROBOTI - FTS (38 ; 2020 ; Београд) 5. Симпозијум Управљање производњом у индустрији прераде метала (44 ; 2020 ; Београд) 6. Симпозијум Менаџмент квалитетом (22 ; 2020 ; Београд)
а) CIM системи -- Зборници б) CAD/CAM системи -- Зборници в) Махине алатке -- Нумеричко управљање -- Зборници г) Роботи -- Зборници д) Флексибилни технолошки системи -- Зборници ђ) Металоперађивачка индустрија -- Управљање -- Зборници е) Управљање квалитетом -- Зборници

COBISS.SR-ID 21917449



Miloš Vorkapić¹⁾, Aleksandar Simonović²⁾, Dragan Čočkalović³⁾, Dejan Đorđević⁴⁾

IMPLEMENTACIJA ADITIVNE PROIZVODNJE U LEAN KONCEPT⁴⁾

Rezime

Rezime: U ovom radu prikazan je značaj aditivne proizvodnje u okviru Lean koncepta. Koncept definiše sedam vrsta proizvodnog otpada, dok Lean proizvodnja podrazumeva uklanjanje tog otpada. Aditivna proizvodnja ispunjava sve kriterijume kako bi se otpad sveo na minimum. Uopšteno, postoji razlika između ovih proizvodnji. Lean proizvodnja je karakteristična za masovnu proizvodnju, dok je aditivna proizvodnja našla primenu u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji. Najbolje se pokazala u izradi prototipa. U radu analiziran je postupak izrade modela i strategija implementacije aditivne proizvodnje primenom Lean filozofije u preduzeću.

Ključne reči: Lean proizvodnja, Aditivna proizvodnja, Algoritam, Lean koncept, Otpad

1. UVOD

Osnovni cilj Lean proizvodnje (LP) je uklanjanje/smanjenje procesnog otpada [1]. Otpad predstavlja resurs koji postoji ali ne stvara vrednost. U tom smislu, LP smanjuje negativan uticaj otpada na okruženje. Nažalost, LP je karakteristična za masovnu proizvodnju i stabilno poslovno okruženje, a van toga ona ne dobija na značaju. Takođe, mali broj preduzeća je postigao znatna poboljšanja, jer kao rezultat dobija se veća složenost sistema, a dobijeni rezultati su ispod očekivanih vrednosti [2]. Taj [3] naglašava dva važna aspekta u razmatranju LP: ljudski i tehnološki. Tehnološki aspekt podrazumeva projektovanje proizvodnog procesa (planiranje, raspoloživost inventara, lanac snabdevanja). Ljudski aspekt podrazumeva projektovanje organizacije (organizaciona struktura, sigurnost i podela posla, organizacioni kapacitet i obuka).

Aditivna proizvodnja (AP) koristi se za proizvodnju prototipova, modela, komponenti i delova uz upotrebu različitih materijala: plastika, metal, keramika, staklo i kompozit [4]. Primenom AP u mogućnosti smo da uklonimo razne izvore otpada koji se javljaju tokom proizvodnje. AP preduzećima daje sledeće prednosti [5]:

- smanjuje potrebno vreme za izlazak prototipa/proizvoda na tržište,
- drastično smanjuje potrebno vreme za lansiranje serije proizvoda,
- smanjuje ili eliminiše višak koraka u procesu obrade,
- smanjuje potrebe za raznovrsnim materijalima,
- smanjenje potrebu za energijom,
- omogućuje proizvodnju složenih delova,
- smanjuje ukupne troškove proizvodnje,
- skraćuje lanac snabdevanja i potrebu za transportom,
- preusmerava proizvodnju na druge korisnike.

2. PRIMENA ADITIVNIH TEHNOLOGIJA

Aditivna tehnologija ima značajnu primenu u sledeća tri slučaja, [6], videti sliku 1:

- *Razvoj i izrada prototipova* (brza izrada prototipova) predstavlja osnovnu primenu AP [7]. Prototipovi ne zahtevaju posebne alate i proizvode kada je reč o malim serijama, realizuju se u kratkom roku uz minimalne troškove i upotrebu raznovrsnih materijala. Uopšteno, brza izrada prototipa najviše se koristi za vizuelizaciju i/ili funkcionalnu potvrdu gotovog proizvoda.

¹⁾ dr Miloš Vorkapić, Univerzitet u Beogradu, NU IHTM - Centar za mikroelektronske tehnologije, (worcky@nanosys.ihtm.bg.ac.rs);

²⁾ prof. Dr Aleksandar Simonović, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, (asimonovic@mas.bg.ac.rs)

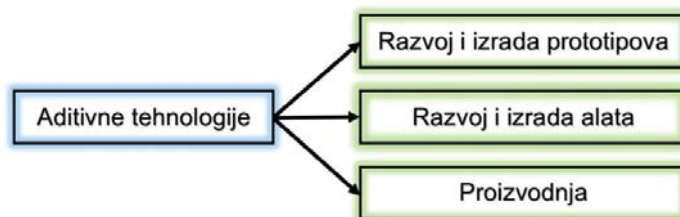
³⁾ prof. dr Dragan Čočkalović, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin” u Zrenjaninu, (cole@tfzr.uns.ac.rs);

prof. dr Dejan Đorđević, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin” u Zrenjaninu, (dejan.djordjevic@tfzr.rs)

⁴⁾ Rad je finansiran od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj, Republika Srbija

- *Razvoj i izrada alata* (brzi alati) omogućava povećanje brzine izrade specijalnih i kompleksnih alata uz drastično smanjenje troškova za razliku od konvencionalne proizvodnje [8]. Na ovaj način materijali za konvencionalnu izradu alata zamenjuju se materijalima za AP.
- *Proizvodnja* (brza proizvodnja) predstavlja najnoviju aplikaciju koja je razvijena pomoću procesa AP. Koristi se za maloserijsku proizvodnju, a najveću primenu ima u vazduhoplovnoj i automobilskoj industriji, kao i u medicini. Razvoj velikoserijske i masovne proizvodnje zavisi od obima razvoja tehnologije AP [9].

Uopšteno, AM omogućava realizaciju brzih prototipova sa složenom geometrijom u relativno malim količinama [10] i povoljnu izradu brzih alata/kalupa koji će se koristiti u masovnoj proizvodnji [11].



Slika 1. Osnovni elementi u primeni aditivne tehnologije

S tim u vezi, Realizacija prototipa odvija se u okviru sledećih aktivnosti [12]:

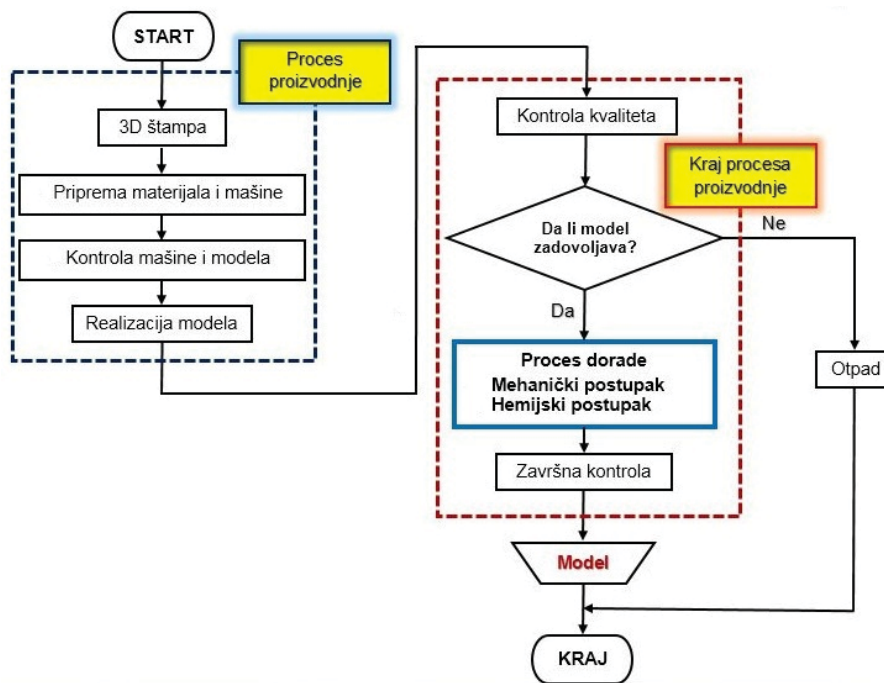
1. Modelovanje: uključuje odabir materijala, kontrolu ulaznih parametara, optimizaciju parametara dizajna, razvoj analitičkog modela, razvoj algoritma i baze podataka zasnovanih na predikciji kvaliteta;
2. Štampanje: uključuje kontrolu kvaliteta i nadzor u toku procesa štampe;
3. Završna obrada: podrazumeva završnu kontrolu, dorade na komadima, korekcije defekata (termičkim, hemijskim i mašinskim putem);
4. Analiza: podrazumeva: tumačenje dobijenih parametara i proveru parametara rada uređaja. Ovde je neizostavan postupak validacije i ocenjivanje pouzdanosti dela.
5. Ekonomičnost proizvoda: uključuje validaciju procesa i parametara, definiše najbolju orijentaciju dela i daje procenu obradivosti.

U poređenju sa konvencionalnom proizvodnjom (KP), AP predstavlja revolucionarni iskorak, jer se delovi realizuju prema digitalnom prikazu i time su isključeni mašinska obrada, kovanje i livenje [13]. AP podrazumeva dodavanje materijala po slojevima, dok KP oduzima material od polufabrikata kako bi se dobio željeni oblik. Kod KP javljaju se problemi zbog velike raznovrsnosti modula pri formiranju proizvoda. U tom slučaju kupcima je ostavljeno da kombinuju module, što dovodi do usložnjavanja pri sklapanju finalnog proizvoda. Zato većina preduzeća, ograničavaju kupce u kombinovanju modula, i pri tome kupci ne mogu da dobiju proizvod kakav žele. Takođe, suštinske razlike između pomenutih proizvodnji su evidentne i one se odnose na: upotrebu materijala, ukupno vreme za obradu/izradu, potrošnju energije, kvalitet dobijenih površina, smanjenje fizičkog otpada, smanjenje upotrebe većeg broja alata i uticaj proizvodnje na životnu sredinu.

AP se javlja kao dobro rešenje u realizaciji proizvoda i to prvenstveno zbog izrade sofisticiranih proizvoda koja u sebi uključuju primenu novih materijala i izradu složenih oblika. U tom kontekstu, AP može da postane ključna tehnologija za masovnu proizvodnju proizvoda. Određeni proizvodi se prilagođavaju potrebama kupaca, uz poštovanje zahteva projekatana. Kupci tako stvaraju nove inovativne proizvode i ostvaruju vrednost kroz saradnju sa drugim kupcima/potrošačima i proizvođačima.

3. ALGORITAM U REALIZACIJI MODELA

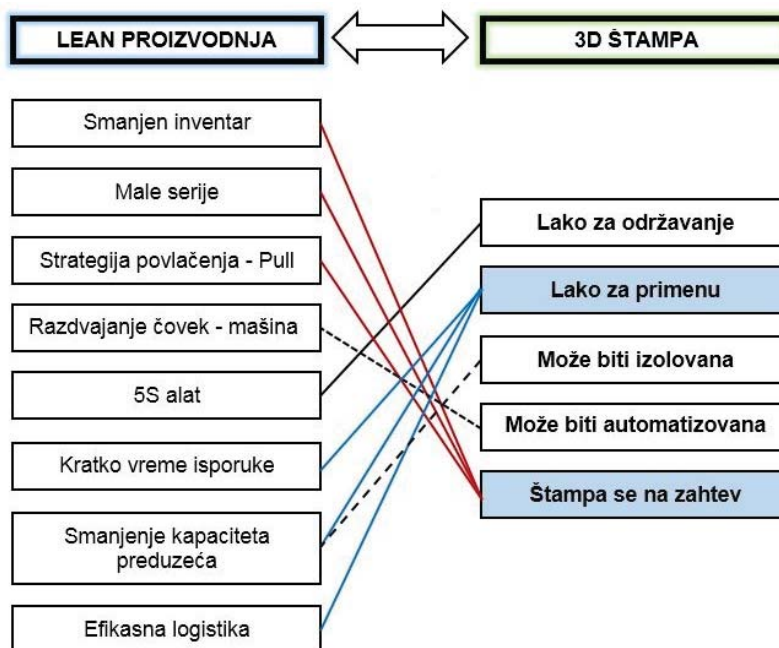
Algoritam u postupku realizacije prototipa [14] prikazan je na slici 2. Algoritam obuhvata sam proces proizvodnje i kraj procesa proizvodnje. Pre početka štampe definišu se parametri i vrši se izbor materijala. Kada se uređaj pusti u rad, operater neprestano vrši kontrolu štampe. Na kraju procesa proizvodnje vrši se dodatna kontrola geometrije i površina gotovog modela. Na kraju, prihvaćeni model se dodatno doraduje mehanički i hemijski. Uz takav tretman, dobija se prototip koji je po veličini, obliku i dimenzijama ekvivalentan originalu izrađenom na obradnom centru. Ukoliko model ne zadovoljava pomenute kriterijume smešta se u otpad. Dakle, postoji značajna razlika u vizuelnom prikazu i realizovanom modelu, odnosno kvalitet površine izrađenog modela zavisi od parametara štampanja i od prostorne orijentacije. Nažalost, uređaji za 3D štampu i dalje nisu pouzdani jer ne poseduju pouzdani sistem za kontrolu kvaliteta [15]. Takođe, izbor materijala i dalje je presudan po pitanju kvaliteta 3D štampe [16].



Slika 2. Algoritam u postupku realizacije prototipa

4. AP U REŠAVANJU PROBLEMA LEAN KONCEPTA

AP (ili 3D štampa) omogućava da se virtuelni modeli realizuje u pravi model. Konceptualni CAD model na računaru realizuje se kao 3D objekat na štampaču. 3D štampa je veoma jednostavna i jeftinija od drugih metoda brze izrade prototipova, pa može imati primenu u raznim industrijama. 3D štampa omogućava rad sa kupcima kako bi se rešili problemi dizajna i dobile pravovremene informacije pre nego što se krene u lansiranje proizvodnje. Prema Cupar i dr. [17] za štampanja pomoću 3D štampača, potrebno je napredno tehničko znanje u pripremi, zadavanju parametara i sam postupak realizacije štampe. Veza između LP i AP data je na slici 3.



Slika 3. Veza LP i AP elemenata u okviru Lean principa

Sve je u saglasnosti sa nekim od Lean principima [18], a najviše se odnosi na:

1. *Povlačenje proizvodnje* – ovde se misli prvenstveno na kupca koji svojim zahtevom pokreće proizvodnju. Sa slike se može videti da postoji veza elemenata LP sa elementom AP. Štampanje (ili proizvodnja) na zahtev kupca vezuje se za maloserijsku proizvodnju, uz smanjenje inventara i primenu strategije povlačenja – „Pull”. Strategija povlačenja znači da niko u lancu stvaranja vrednosti ne bi trebalo da proizvodi proizvod sve dok se ne izrazi kupčeva želja. Ova veza omogućava LP da se na brži način okrene maloserijskoj proizvodnji. Strategija povlačenja označava pokretanje zahteva od strane kupca u cilju zadovoljenja i ispunjenja traženih aktivnosti koja u sebi generiše sve potrebne aktivnosti do konane montaže [19].
2. *Kontinualni tok* – ovde se misli na stabilan protok aktivnosti koje pri radu minimiziraju zaustavljanja, otpad, realizaciju lošeg kvaliteta i ponavljanje operacija ili koraka [20]; tj. treba nastojati da se uklone svi elementi koji ne daju vrednost. Ovde postoji jaka veza između realizacije modela i njegove njegove specifičnosti sa kratkim vremenom isporuke (smanjuje se broj koraka), smanjenjem kapaciteta preduzeća (prostor, alat, inventar) i efikasnom logistikom, ali i nezaobilaznom obukom zaposlenih. AP omogućuje uspostavljanje najboljeg rešenja kroz jednostavno izvršavanje aktivnosti i preusmeravanje viška vremena ka istraživačko razvojnim delatnostima.
3. *Kontinualno unapređenje* – ukazuje na unapređenje procesa proizvodnje bez grešaka, tj. da potrebne informacije i količina vremena usmerena ka kupcu treba postepeno da opadaju.. AP u tom pogledu definišu tri elementa na kojima se mogu primeniti Lean: jednostavan sistem održavanja pomoću 5S alata, omogućena automatizacija proizvodnje upotrebom više mašina i mogućnost da se ceo proces proizvodnje izoluje.

Lean koncept (LK) usmeren je na pronalaženje pravih aktivnosti, postavljanje stvari na pravo mesto, u pravo vreme kako bi se postigao savršen protok rada uz minimiziranje otpada [21]. LK definiše sedam vrsta proizvodnog otpada [22]: 1) prekomerna proizvodnja, 2) transport, 3) zastoji, 4) nepotrebni pokreti, 5) prekomerna obrada, 6) škart i 7) zalihe.

AP, na osnovu definisanih proizvodnih otpada ispunjava sve kriterijume kojima bi se otpad sveo na minimum. Iako je tehnologija AP svedena na brzu prototipsku ili maserijsku izradu, suština je i u brznoj implementaciji AP u LK. AP S tim u vezi, u tabeli 1 daje se značaj AP u otklanjanju otpada prema pomenutim kriterijumima. Kao što se vidi iz tabele, svi definisani otpadi ne figurišu primenom AP, jer ona ima potencijal da promeni lanac snabdevanja, eliminiše otpad i stvori nove tokove vrednosti.

Tabela 1. Primana AP u otklanjanju otpada LK

Lean koncept	Tip otpada	Aditivna proizvodnja
Prekomerna proizvodnja	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stvaraju se proizvodi koji ne mogu da se plasiraju na tržište; ▪ Izvode se nepotrebne operacije; ▪ Stvara se nepotrebna dokumentacije. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proizvodi se prave samo prema zahtevu kupaca; ▪ Nema nepotrebni operacije; ▪ Nema dokumentacije.
Transport	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Javlja se nepotrebno kretanje materijala/ poluprizvoda između operacija ili skladišta; ▪ Postoji slab tok informacija. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Materijal se nalazi pored mašine; ▪ Informacije su definisane na relaciji čovek – mašina.
Zastoji	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Postoji vreme čekanja materijala između dve operacije; ▪ Javlja se neaktivan rad; ▪ Čeka se na isporuku. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nema čekanja materijala; ▪ Nema neaktivnog rada; ▪ Nema čekanja na isporuku.
Nepotrebni pokreti	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nepotrebni pokreti su prisutni zbog lošeg rasporeda mašina. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nema nepotrebni pokreta; ▪ Raspored i rad mašina ne zavisi od manipulacije operatera.

Prekomerna obrada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Postoji veliki broj mašina ▪ Postoji nepotrebna oprema ▪ Javlja se čišćenje između operacija, ▪ Postoji previše koraka u obradi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Radi se na jednoj mašini, ▪ Nema nepotrebne opreme; ▪ Javlja se čišćenje modele nakon izrade; ▪ Postoji realizacija proizvoda prema definisanoj tehnologiji 3D štampe.
Škart	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Loša realizacija poslovnog procesa; ▪ Gubitak vremena u otklanjanju uzroka problema; ▪ Nedovoljno osposobljenih operatera; ▪ Nedostatak standardnih procedura. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primenjuje se strategija „Just in Time“; ▪ Uzroci problema se otklanjaju na početku procesa; ▪ Operater je u potpunosti osposobljen za rad; ▪ Nisu potrebne striktno procedure.
Zalihe	<ul style="list-style-type: none"> • Postojanje nepotrebnih količina materijala i gotovih proizvoda 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ne postoji magacin materijala i magacin gotovog proizvoda.

5. ZAKLJUČAK

U radu smo ukazali koliki značaj ima aditivna proizvodnje u realizaciji Lean filozofije. Suštinski koncept Lean proizvodnje je smanjenje upotrebe resursa. Mnoge promene u tehnologijama znatno su uticale da se izvrše promene u organizacijama. Jedna od njih je aditivna tehnologija koja udružena kroz Lean filozofiju omogućava optimizaciju i povećanje efikasnosti svih raspoloživih resursa.

Sa aspekta produktivnosti proizvodnje i kvaliteta, aditivna proizvodnje ima dosta problema. Ona je fokusirana na pojedinačnu ili maloserijsku proizvodnju, što u suštini nije relevantno za Lean koncept. Sa druge strane, izrada velikih serija povlači za sobom velike troškove priprema, ogromne troškove kapitala, velike zalihe, veće količine škarta.

Na taj način se preduzeća okreću kupcima i primenom aditivnih tehnologija vrše eksperimente na svojim poslovnim modelima poput: brza izrada prototipova/proizvoda, automatizacija proizvodnje, izolovan (zatvoren) sistem izrade, manji prostor i brža bistribucija dobara.

6. LITERATURA

- [1.] Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., De Sanctis, I.: *Lean practices implementation and their relationships with operational responsiveness and company performance: an Italian study*. International Journal of Production Research, Vol. 55, No. 3, pp. 769-794, 2017.
- [2.] Marvel, J. H., Standridge, C. R.: *Simulation-enhanced lean design process*. Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 2, No. 1, pp. 90-113, 2009.
- [3.] Taj, S.: *Applying lean assessment tools in Chinese hi-tech industries*. Management Decision, Vol. 43, No. 4, pp. 628-643, 2005.
- [4.] Lyons, B.: *Additive manufacturing in aerospace: Examples and research outlook*. Bridge Vol. 44, No. 3, pp. 13-19, 2014.
- [5.] Kietzmann, J., Pitt, L., Berthon, P.: *Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing*. Business Horizons, Vol. 58, No. 2, pp. 209-215, 2015.
- [6.] Chen, T., Lin, Y. C.: *Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3d printing: a review*. International Journal of Intelligent Systems, Vol. 32, No. 4, pp. 394-413, 2017.
- [7.] Bibb, R., Winder, J.: *A review of the issues surrounding three-dimensional computed tomography for medical modelling using rapid prototyping techniques*. Radiography, Vol. 16, No. 1, pp. 78-83, 2010.
- [8.] Campbell, R.I., De Beer, D.J., Pei, E.: *Additive manufacturing in South Africa: building on the foundations*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 17, No. 2, pp. 156-162, 2011.
- [9.] Hague, R., Campbell, I., Dickens, P.: *Implications on design of rapid manufacturing*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 217, No. 1, pp. 25-30, 2003.
- [10.] Sachs E, Cima, M., Williams, P., Brancazio, D., Cornie, J.: *Three dimensional printing: rapid tooling and prototypes directly from a CAD model*. Journal of Engineering and Industry, Vol. 114, No. 4, pp. 481-488, 1992.
- [11.] Lu, B., Li, D. Tian, X.: *Development trends in additive manufacturing and 3D printing*. Engineering. Vol. 1, No. 1, pp. 85-89, 2015.

- [12.] Kim, H., Lin, Y., Tseng, T. L. B.: *A review on quality control in additive manufacturing*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 24, No. 3, pp. 645-669, 2018.
- [13.] Shah, R. and Ward, P.T.: *Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance*. Journal of operations management, Vol. 21, No. 2, pp. 129-149, 2003.
- [14.] Ahsan, N., Khoda, B.: *AM optimization framework for part and process attributes through geometric analysis*. Additive Manufacturing, Vol. 11, pp. 85-96, 2016.
- [15.] Brajljih, T., Valentan, B., Balic, J. Drstvensek, I.: *Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines*. Rapid Prototyp Journal, Vol. 17, No. 1, pp. 64-75, 2011.
- [16.] Lanzetta, M. and Sachs, E.: *Improved surface finish in 3D printing using bimodal powder distribution*, Rapid Prototyping Journal, Vol. 9, No. 3, pp. 157-166, 2003.
- [17.] Cupar, A., Pogačar, V. and Stjepanovič, Z.: *Shape verification of fused deposition modelling 3D prints*. International journal of information and computer science, Vol. 4, pp. 1-8, 2015.
- [18.] Vorkapić, M., Čočkalo, D., Đorđević, D., Bešić, C.: *Implementation of 5s tools as a starting point in business process reengineering*. Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC), Vol. 7, No. 1, pp. 44-54, 2017.
- [19.] Åhlström, P.: *Sequences in the implementation of lean production*. European Management Journal, Vol. 16, No. 3, pp. 327-334, 1998.
- [20.] Womack, J.P., Jones, D.T.: *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York, NY: Free Press, 2003.
- [21.] Dora, M., Kumar, M., Gellynck, X.: *Determinants and barriers to lean implementation in food-processing SMEs—a multiple case analysis*. Production Planning and Control, Vol. 27, No. 1, pp. 1-23, 2016.
- [22.] Bicheno, J., Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox: The Essential Guide to Lean Transformation, Production and Inventory Control*. System and Industrial Books, UK, 2009.

Miloš Vorkapić, Aleksandar Simonović, Dragan Čočkalo, Dejan Đorđević

IMPLEMENTATION OF ADDITIVE MANUFACTURING IN THE LEAN CONCEPT

Abstract: *In this paper, the importance of additive manufacturing within the Lean concept presented. The concept defines seven types of production waste, while Lean production involves removing that waste. Additive manufacturing satisfies all the criteria to minimize waste. In general, there is a difference between these productions. Lean production is characteristic of mass production, while additive manufacturing has found application in small-scale and individual production. Additive production best proved in prototyping. The paper analyzes the developing process of models and strategies for the additive manufacturing implementation using Lean philosophy in the enterprise.*

Key words: *Lean production, Lean concept, Additive manufacturing, Waste, Algorithm,*