

A) Rezumatul etapei

Obiectivul general al proiectului component 1 (Îmbunătățirea fluxurilor de producție din industriile de automobile și aerospațială prin integrarea metodelor și tehnicilor moderne de managementul producției), coordonat de UPIT, constă în dezvoltarea unei metodologii de îmbunătățire a fluxurilor de producție, prin integrarea metodelor, tehnicilor și instrumentelor moderne de managementul producției și realizarea în laborator a unui demonstrator experimental pentru utilizarea acesteia, plecând de la un model conceptual de nivel TRL2.

Etapa I – 2019 s-a intitulat „Experimentarea modelelor de simulare a fluxurilor de producție și de aplicare a conceptului Lean Manufacturing”. Activitățile din această etapă s-au desfășurat în conformitate cu planul de realizare a proiectului, fiind descrise în cele ce urmează.

Activitatea 1-2-1: Experimentare modele de simulare a fluxurilor de producție

În cadrul acestei etape de cercetare industrială a fost dezvoltată o platformă de modelare și simulare, concepută sub forma unui ghid de învățare-utilizare. Platforma are două componente: o *metodologie pentru utilizarea modelării și simulării fluxurilor de producție* la analiza performanțelor sistemelor de producție și o parte de *experimentare* (aplicare a metodologiei). Metodologia este formată dintr-un ansamblu de 14 activități/etape intercorelate și este construită sub forma unei logigrame. Metodologia a fost experimentată în laborator (sala I 123), pentru analiza performanțelor linii de asamblare a produsului experimental volan. S-au dezvoltat modele de simulare a fluxurilor de producție pentru analiza performanțelor diferitelor variante de organizare spațială a liniei de asamblare / planuri de amenajare spațială. Acest lucru a permis, deopotrivă, validarea metodologiei de modelare-simulare dezvoltată și desprinderea unor concluzii privind performanțele variantelor de organizare spațială a liniei de asamblare. Activitatea s-a finalizat prin elaborarea *Raportului de experimentare I*.

Activitatea 1-2-2: Dezvoltare infrastructură de cercetare - realizarea unor platforme de cercetare

În cadrul acestei activități de tip cercetare industrială a continuat dezvoltarea în laboratorul *ISP&Lean Manufacturing – sala I 123* a demonstratorului experimental, de nivel TRL4. Astfel, alături de platformele de cercetare integrate dezvoltate în anul anterior (produs experimental, posturi de lucru modular-flexibile și sisteme de aprovizionare și transfer modulare-flexibile pentru linii de asamblare; sistem digitizat pentru un post de lucru; tablă și videoprojector) au fost dezvoltate platforme de cercetare specifice conceptului Lean manufacturing. Acestea sunt structurate în două direcții: analiza performanței sistemelor de producție (metoda VSM) și îmbunătățirea performanței sistemelor de producție (metoda 5S, Poka-Yoke, DOJO). Totodată, a fost modernizat laboratorul *Modelare-simulare & Întreprindere simulată (sala I 107)* prin dotarea acestuia cu un nou server și un sistem inteligent de videoproiecție, capabile să administreze aplicațiile specifice domeniului (softurile IMPACT, Tecnomatix, ARENA Rockwell). Astfel, prin integrarea celor două laboratoare, în UPIT poate funcționa un laborator de tip „Lean learning factory”, cu dublu rol: cercetare-dezvoltare și training (formare).

Activitatea 1-2-3: Experimentare modele de aplicare a conceptului Lean Manufacturing

În cadrul acestei etape de cercetare industrială au fost identificate și particularizate mai multe *metodologii de aplicare a diferitelor metode specifice conceptului Lean Manufacturing*. Metodologiile au fost experimentate în laborator, cu ajutorul platformelor dezvoltate în cadrul activității 1-2-2, pe linia de asamblare și postul de lucru realizat în această etapă. Metodele Lean manufacturing pentru care au fost dezvoltate și experimentate metodologii specifice fluxurilor de producție din industria de automobile sunt: VSM - pentru analiza performanțelor sistemului de producție și metodele 5S, Poka-Yoke, DOJO - pentru îmbunătățirea performanței sistemelor de producție. De asemenea, a fost dezvoltată și validată o procedură de utilizare a postului de lucru digitizat, existent în laboratorul experimental. Activitatea s-a finalizat prin elaborarea *Raportului de experimentare II*.

Activitatea 1-1-4: Diseminare - publicitate proiect

Au fost elaborate 5 lucrări științifice care au fost susținute la conferințe internaționale reprezentative în domeniul temei proiectului, fiind publicate în proceedings-urile conferințelor. Pentru promovarea proiectului și diseminarea rezultatelor acestuia a fost actualizată propria pagină web a proiectului component, au fost realizate două postere și a fost organizat un workshop în data de 19.11.2019.

Rezultatele obținute în această etapă a proiectului sunt detaliate la punctul C al prezentului Raport.

B) Descrierea științifică și tehnică

Raportul de experimentare 1 - Modele (metodologii) validate pentru simularea fluxurilor de producție

Modelarea și simularea pot fi considerate parte integrată din procesul de proiectare a sistemelor de producție, fiind utilizate pentru analiza și identificarea îmbunătățirilor unui proces existent sau pot fi folosite în stadiul evaluării unui model deja dezvoltat pentru a identifica soluțiile alternative ale acestuia.

Modelarea și simularea sunt tehnici de experimentare, în care se realizează experimente pe un model al sistemului real creat într-un limbaj de simulare special. Informațiile obținute prin simularea modelului pot fi aplicate sistemului real.

Metodologia pentru utilizarea modelării și simulării fluxurilor de producție la analiza performanțelor sistemelor de producție, dezvoltată în această etapă, cuprinde 14 etape intercorelate, fig.1 și este concepută ca un ghid de învățare a utilizării modelării și simulării cu evenimente discrete pentru analiza sistemelor de producție, ca parte componentă a metodologiei generale de îmbunătățire a fluxurilor de producție specifice industriei de automobile.

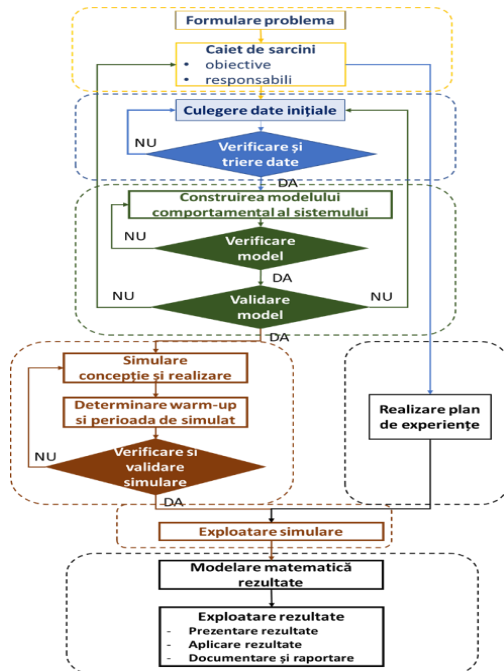


Figura 1. Metodologia de modelare și simulare a fluxurilor de producție

Această metodologie a fost aplicată și validată pentru analiza performanțelor liniei de asamblare din cadrul laboratorului experimental, utilizând soft-urile de simulare a fluxurilor de producție Arena Rockwell și PlantSimulation. Având în vedere, pe de o parte, produsul experimental și, pe de altă parte, linia de asamblare a acestuia, au fost dezvoltate modele de simulare a fluxurilor de producție pentru două variante de organizare spațială a liniei de asamblare (realizate în cadrul primei etape a proiectului), fig.2.

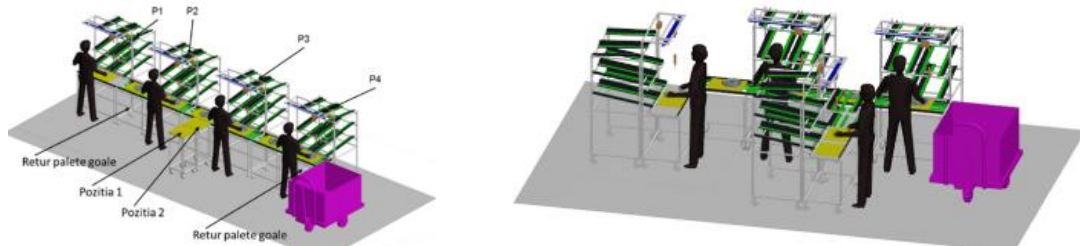


Figura 2. Variante de organizare spațială a liniei de asamblare



Figura 3. Modele simulate în PlantSimulation

Pentru fiecare model au fost variați și alți parametri de intrare (de exemplu, numărul de palete dintre posturile de lucru) pentru a identifica cea mai performantă formă de organizare a fluxului de producție. Rezultatele obținute prin simularea cu softurile Arena și PlantSimulation, fig.3, au fost validate în laborator. Acestea au scos în evidență faptul că: indiferent de forma de organizare spațială a liniei de asamblare productivitatea este cu 13,8 – 14,02% mai mică când nu se folosesc palete între posturile de lucru, față de

utilizarea unor palete între posturile de lucru; a doua variantă de organizare spațială asigură o productivitate mai mare cu 10,48% decât prima variantă.

Raportul de experimentare 2 - Modele (metodologii) validate aplicabile în cadrul conceptului Lean Manufacturing

Aplicarea metodelor și tehnicilor specifice Lean manufacturing a devenit o necesitate pentru firmele care doresc să rămână / devină competitive. Astfel, aceste metode și tehnici sunt numeroase și acționează asupra: mașinilor și echipamentelor, personalului și organizării muncii, planificării și controlului producției și managementului calității. De aceea, selectarea în vederea implementării lor este un factor esențial pentru asigurarea creșterii performanțelor sistemului de producție. Totodată, implementarea conceptelor Lean manufacturing reprezintă o condiție de bază înainte de digitalizarea proceselor. Metodele specifice aplicării conceptului Lean Manufacturing și conceptului *Learning factory*, pentru care s-au realizat platforme de cercetare-învățare sunt următoarele, fig. 4: VSM, Lean corner, 5S, Poka-Yoke, DOJO. Pentru cercetarea-dezvoltarea proceselor digitalizate, a fost dezvoltată și validată o procedură de utilizare a postului de lucru digitizat, fig.6, existent în laboratorul experimental.



Figura 4. Platforme de experimentare Lean manufacturing: a) VSM; b) Lean corner; c) 5S; d) Poka-Yoke; e) DOJO

Pentru fiecare dintre aceste metode s-au identificat și adaptat laboratorului experimental metodologii de aplicare, care au fost dezvoltate și experimentate, astfel încât să fie integrate într-un ghid de învățare a aplicării acestora.

De asemenea, în laboratorul experimental au fost dezvoltate cercetări privind îmbunătățirea organizării posturilor de lucru din cadrul liniei de asamblare. Aceste studii au fost realizate în contextul în care modernizarea proceselor de fabricație în vederea creșterii eficienței producției și a siguranței și confortului operatorului este unul dintre punctele cheie ale implementării conceptului Industry 4.0.

Un prim studiu a constatat în utilizarea algoritmilor genetici pentru optimizarea organizării postului de lucru digitizat, care a fost conectat la un calculator cu o aplicație server și un terminal client. Schema bloc și componentele sistemului sunt prezentate în fig.5. Acest studiu a combinat două direcții: cercetarea - utilizarea unui algoritm inteligent (Algoritmul genetic) pentru optimizarea organizării locului de muncă; dezvoltare - implementare: soluția propusă este testată în condiții de laborator (pe linia de asamblare).

În partea de cercetare s-a considerat că în acest post de lucru sunt asamblate succesiv produse diferite, cu componente specifice, dar și comune, care pot fi amplasate spațial în diferite zone ale postului de lucru. Pentru a optimiza organizarea locului de muncă, s-a considerat efortul operatorului (determinat de traiectoriile mișcării brațelor în zona de lucru ergonomică a postului de lucru), fluxul de mișcări (determinat de ordinea de asamblare a componentelor și localizarea spațială a acestora) și aplicarea principiilor economiei de mișcare. Funcția obiectiv a algoritmului genetic a fost reprezentată de suma ponderată a diferenței de efort a operatorului pe cele două brațe pentru 100 de procese de muncă realizate de operator și suma dispersiilor pe tipuri de produs. Algoritmul Genetic specializat în optimizări multi-obiectiv a rulat pe aplicația server integrată în postul de lucru.

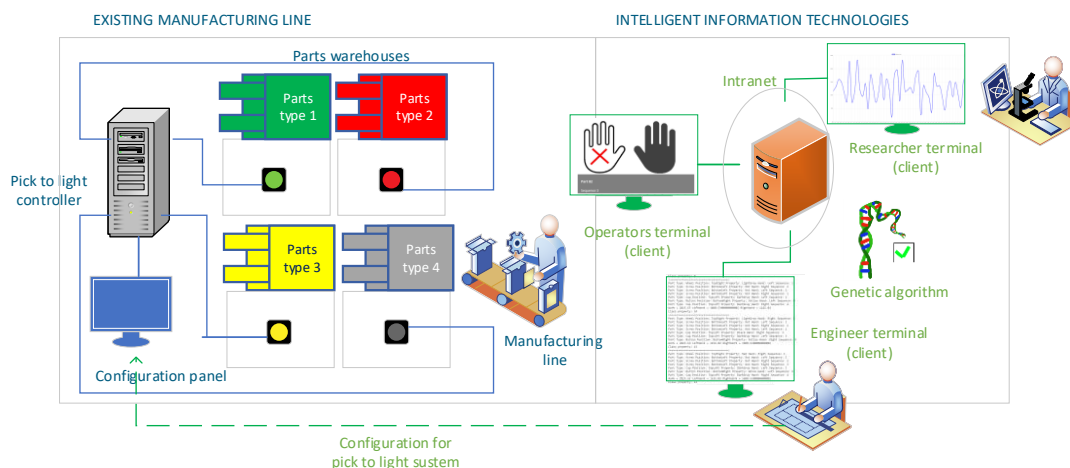


Figura 5. Schema bloc a sistemului de optimizare

Pentru dezvoltare-implementare s-au folosit tehnologii IT specifice mediului de producție - aplicație de server web pe care rulează algoritmul inteligent și motoare de raportare grafică pentru clienți. Operatorul primește indicații vizuale ale secvenței de lucru care trebuie realizată (pe interfața HMI) și indicații vizuale „pick to light” (pentru a alege componentele). În fig.6 se prezintă postul de lucru și un detaliu al panoului de control HMI, care evidențiază indicațiile „pick to light” atașate cutiilor cu componente. Secvența „Pick to light” este încărcată manual din fluxul optim generat de GA folosind panoul de control.

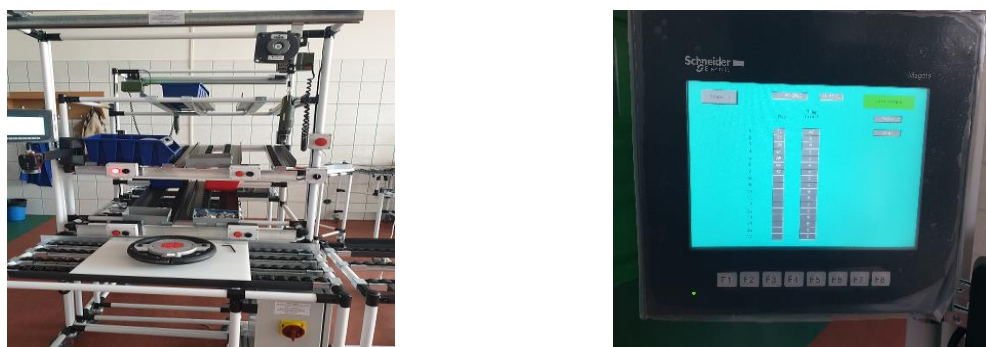


Figura 6. Postul de lucru digitalizat și interfața HMI

Un alt studiu a constatat în aplicarea combinată a rețelelor neuronale artificiale și analiza Rapid Upper Limb Assessment (RULA) în procesul de reproiectare a posturilor de lucru ergonomice. Rețeaua Neuronală a fost simulată cu MATLAB și analiza RULA a fost făcută folosind software-ul CATIA V5.

Parametrii luați în considerare în acest studiu sunt cei care caracterizează sarcina fizică a operatorului uman și mediul fizic. A fost utilizată o rețea neuronală avansată cu trei straturi de neuroni: stratul de intrare (utilizat pentru antrenarea rețelei: umiditatea relativă, zgomotul, iluminatul și scorul RULA. Fiecare dintre acești parametri corespunde unui neuron de intrare); stratul ascuns; stratul de ieșire (clasamentul spațiului de lucru, împărțit pe trei niveluri: P-slab, M-mediu, G-bun, reprezentând posibilitățile neuronilor de ieșire).

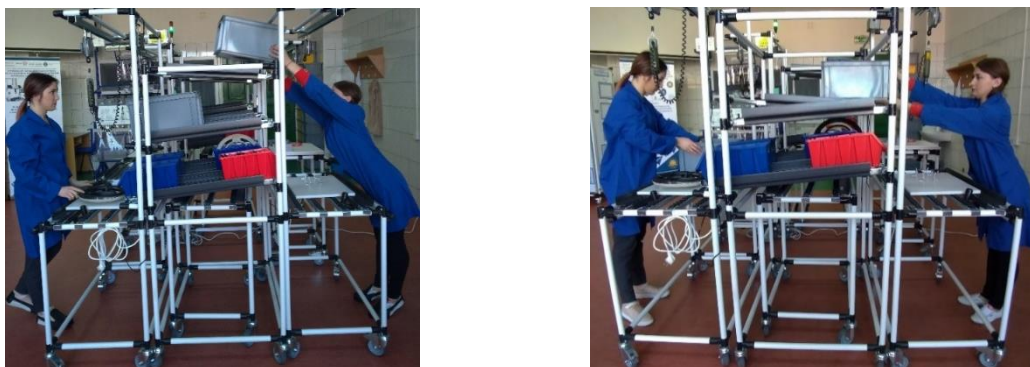


Figura 7. Studiu ergonomic al postului de lucru: (a) postul initial; (b) postul îmbunătățit

Cea mai dificilă poziție din punct de vedere ergonomic a operatorului identificată în acest studiu este cea în care operatorul lucrează cu mâinile ridicate, fig.7.a. Condițiile microclimatului de lucru sunt: 20°C, 30% umiditate relativă, 44 dB și 500 lux, iar scorul RULA a fost 5. Clasamentul inițial al postului de lucru, calculat de rețeaua neuronală instruită, a fost P-slab.

Pentru a ameliora ergonomia postului de lucru, a fost implementată o soluție simplă: transportoarele din partea superioară au fost rearanjate și deplasate în jos cu 30 cm, fig.7.b. Prin urmare, postura operatorului uman a fost modificată, noul scor obținut cu metoda RULA a fost 3, iar clasamentul postului de lucru, calculat de rețeaua neuronală, a crescut la M-mediu.

Metodologiile specifice modelării-simulării fluxurilor și aplicării metodelor Lean Manufacturing, dezvoltate în această etapă, alături de metodologia pentru organizarea spațială a unei linii de asamblare, dezvoltată în etapa precedentă, vor fi ameliorate și completate astfel încât, la finalul proiectului de cercetare, acestea să fie integrate într-o „*metodologie de îmbunătățire a fluxurilor de producție din industria de automobile*”. Laboratorul va fi dezvoltat în continuare, în ultima etapă a proiectului, prin realizarea și a altor platforme de cercetare specifice metodelor de ameliorare a fluxurilor de producție, prin adăugarea în cadrul acestora a unor elemente specifice Industriei 4.0 și prin integrarea lor într-o structură unitară – laboratorul Lean learning factory.

C) Rezultate obținute

Partenerul P1 – UPIT din cadrul proiectului complex **a îndeplinit integral toate obiectivele asumate**

I. 1 Laborator parțial dezvoltat: laboratorul experimental *ISP&Lean Manufacturing (sala I 123)* și laboratorul *Modelare-simulare & Întreprindere simulată (sala I 107)* care, prin integrare, pot funcționa ca un laborator de tip „*Lean learning factory*”, cu dublu rol: cercetare-dezvoltare și training (formare).

II. 2 Rapoarte de experimentare care cuprind: *Modele (metodologii) validate pentru simularea fluxurilor de producție* și *Modele (metodologii) aplicabile în cadrul conceptului Lean Manufacturing*, care conțin descrieri ale punerii în practică a metodologiilor în condiții de laborator (*demonstratorul experimental*) și concluzii referitoare la utilizarea lor.

III. 1 pagină web dedicată proiectului component 1 coordonat de partenerul P1 - UPIT, disponibilă la adresa: <https://www.upit.ro/ro/cercetare-stiintifica/centrul-regional-crcd/proiecte-de-cercetare-in-derulare-crcda/tfi-pmaiaa>

IV. 2 postere pentru promovarea proiectului și diseminarea rezultatelor acestuia (vizibile și pe pagina web a proiectului PC1).

V. 1 workshop pentru promovarea proiectului și diseminarea rezultatelor acestuia (vizibil și pe pagina web a proiectului): „Îmbunătățirea performanțelor de cercetare prin participarea instituțiilor în consorții CDI în domeniile prioritare”, organizat în Universitatea din Pitești pe 19.11.2019. La acesta au participat reprezentanți din șapte universități, șapte institute de cercetare și nouă firme din mediul socio-economic, dar și reprezentanți ai UEFISCDI. În cadrul acestuia, partenerii din consorțiul proiectului complex au prezentat principalele rezultate obținute în cadrul proiectelor componente.

VI. 5 lucrări științifice originale, susținute la conferințe și publicate în proceedings-uri, bazate pe cercetările realizate în cadrul proiectului component 1 coordonat de UPIT:

- 1. A Gavriluță, C A Gavriluță, I Pascu and C Neacșu**, *The development of a methodology of learning to use simulation in the analysis of production system performances*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 564 (2019) (23rd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy - IManE&E 2019), IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/564/1/012100
- 2. A Gavriluță, C A Gavriluță, C Neacșu and I Pascu**, *Experimentation of a methodology to use modelling and simulation in the analysis of performances of an automotive industry production system*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 564 (2019) (23rd International Conference on Innovative Manufacturing Engineering and Energy - IManE&E 2019), IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/564/1/012101
- 3. D-C Anghel, E-L Nițu, A-D Rizea, A Gavriluță, A Gavriluță, N Belu**, *Ergonomics study on an assembly line used in the automotive industry*, MATEC Web of Conferences 290(2) - (2019), Article number 12001 (The 9th International Conference on Manufacturing Science and Education – MSE, Sibiu, Romania, June 5-7th, 2019), doi: 10.1051/mateconf/201929012001
- 4. N Belu, E L Nițu, AC Gavriluta and L M Ionescu**, *An approach with genetic algorithms to improve the workstation space planning*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 591 (2019) 012002 (Modern Technologies in Industrial Engineering VII - ModTech2019), IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/591/1/012002
- 5. E L Nitu and A C Gavriluta**, *Lean Learning Factory at the University of Pitesti*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 591 (2019) 012095 (Modern Technologies in Industrial Engineering VII - ModTech2019), IOP Publishing, doi:10.1088/1757-899X/591/1/012095

Proceedings-urile celor trei conferințe: IManEE2019, MSE2019 și Modtech2019 (cuprinzând lucrările menționate la pozițiile 1 - 5) sunt trimise spre evaluare în vederea indexării ISI.

VII.1 transfer tehnologic: Partenerul P1 – UPIT a valorificat o parte din rezultatele proiectului prin transfer tehnologic către firme industriale, realizând serviciul științific „*Îmbunătățirea fluxului de producție din cadrul secției injecție, prin implementarea unui șantier Kaizen și a conceptului Lean Manufacturing*”. Acest serviciu a fost realizat sub formă de proiect de cercetare științifică (contract nr. 3416/13.03.2019) către firma SC GOLD PLAST PRODUCTION SRL, desfășurat în perioada 13.03 - 16.12.2019, echipa implicată fiind formată din: ș.l. dr. ing. Gavriluță Ana – director, prof. dr. ing. Nițu Eduard, ACS ing. Pascu Iuliana, ACS ing. Neacșu Cătălina – membri.

D) Prezentarea structurii ofertei de servicii de cercetare și tehnologice

Prin dezvoltarea laboratoarelor ISP & Lean manufacturing (sala I 123) și Modelare-simulare & Întreprindere simulată (sala I 107), s-a îmbogățit oferta de servicii de cercetare care poate fi transferate de centrul de cercetare din care face parte echipa partenerului P1 – UPIT către firme din mediul industrial. Această ofertă este disponibilă pe platforma ERRIS și este accesibilă la adresa: <https://www.upit.ro/ro/cercetare-stiintifica/centrul-regional-crcd>, iar serviciile nou create în această etapă constau în:

- Analiza și îmbunătățirea fluxurilor de producție și logistice prin modelare-simulare cu evenimente discrete;
- Analiza și îmbunătățirea performanțelor sistemelor de producție cu ajutorul conceptelor Lean Manufacturing;
- Formare în Modelare-Simulare și Lean Manufacturing – utilizând conceptul Learning factory (fabrică de învățare).

E) Locuri de muncă susținute prin program

Echipa de cercetare a partenerului P1 – UPIT a fost alcătuită din 11 persoane: 7 cercetători cu experiență (cadre didactice universitare), 1 doctorand, 1 tehnician și 2 asistenți de cercetare științifică – nou angajați. Prin acest proiect complex au fost susținute următoarele norme cumulate în 2019: 3.83 norme_lună pentru cercetătorii cu experiență, 1.33 norme_lună pentru doctorand, 1.26 norme_lună pentru tehnician și 2 norme întregi pentru asistenții de cercetare nou angajați.

Cei doi asistenți de cercetare nou angajați în anul 2018, Neacșu Georgiana Cătălina și Pascu Iuliana Georgiana, au din 01.10.2019 și calitatea de doctorand în domeniul inginerie industrială.

De asemenea, membrii echipei de cercetare a partenerului P1 – UPIT au participat la realizarea activităților asumate în cadrul celorlalte proiecte componente.

F) Prezentarea valorificării / îmbunătățirii competențelor / resurselor existente la nivelul consorțiului (cecuri)

Partenerul P1 – UPIT a valorificat un *CEC de mobilitate de tip B*, constând într-o vizită de lucru a 2 cercetători cu experiență (prof. dr. ing. Eduard Laurențiu Nițu și ș.l dr. ing. Ana Cornelia Gavriluță) la Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași – partener P2. Mobilitatea s-a desfășurat în perioada 25-27.09.2019 și a condus la întărirea capacității instituționale a partenerului UPIT, prin *îmbunătățirea competențelor privind formarea adaptivă a reperelor din “lemn lichid”, cu posibile aplicații în fabricarea componentelor / ansambluri din industria aeronautică și automotive* a cercetătorilor cu experiență menționați anterior.

În cadrul vizitei au fost prezentate și analizate facilitățile din laboratorul de Tehnologii de Mecanică Fină și Nanotehnologii: echipamentul și soft-ul utilizat de imprimanta 3D, Raise3D Pro2 Plus și a scanner-ului 3D, HP 3D Structured Light Scanner Pro S3, achiziționate în acest proiect (PN-III-PCCDI, nr.82/2018). Au fost purtate discuții privind materialul biodegradabil “lemn lichid”, fiind analizate caracteristicile și proprietățile acestuia, precum și posibilitățile de înlocuire a materialelor plastice comune în industria aeronautică-automotive. S-au analizat aspectele specifice privind ranforsarea “lemnului lichid” și obținerea de fire ranforsate din material de bază (granule) “lemn lichid” în vederea obținerii de piese cu proprietăți mecanice superioare materialelor convenționale utilizate în prototiparea rapidă (metoda FDM). S-a prezentat și analizat influența parametrilor de proces asupra proprietăților mecanice, microstructurii transversale, topografiei suprafeței și aspectului vizual al pieselor realizate în cadrul proiectului. S-a analizat posibilitatea de dezvoltare a unui sistem flexibil / adaptabil pentru înlocuirea matrițelor clasice în cadrul procedurii de tragere pe calapod (stretch forming), precum și a matriței tip “multi punct” poansoane (multi point die), printate 3D din material plastic.