



MIND

Parteneriat strategic Erasmus+ pentru învățământul superior

**Dezvoltarea de aptitudini mecatronice și metode
inovative de învățare pentru Industria 4.0**

RAPORTUL IO1

Titlul proiectului	Dezvoltarea de aptitudini mecatronice și metode inovative de învățare pentru Industria 4.0 2019-1-RO01-KA203-063153
Rezultatul	IO1 – Maparea și revizuirea literaturii științifice despre aptitudinile în mecatronica pentru Industria 4.0
Data livrării	Ianuarie 2020
Autori	Dan Rusu, Alexandru Ianoși (UTCN) Miloš Simonović, Milan Banić (NIS) Erwin-Christian Lovasz (UPT) Dusan Krstic (CC) Peter Košťál, Vanessa Prajová (STU) Alina Băbășan, Andreea Mureșan (IHR)
Versiune	V4, 23.01.2020

This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Cuprins

1	Introducere. Obiectivele IO1.....	3
2	Industria 4.0 si mecatronica.....	5
2.1.	Industria 4.0 – Concepte generale, definitie si metode de analiza.....	5
2.1.1	Industria 4.0	5
2.1.2	Avantajele Industriei 4.0.....	10
2.1.3	Industria 4.0 in proiectul MIND (RO, SRB, SK)	14
2.2.	Limitele cercetării noastre științifice bibliografice	14
2.2.1	Analiza cantitativa si calitativa.....	14
2.3	Aptitudinile in mecatronica in contextul Industriei 4.0.....	17
3	Concluzii.....	23
4	Bibliografie.....	24

This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Universitatea
Politehnica
Timisoara

COMING
COMPUTER ENGINEERING

STU
SLOVENIA UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY IN TRIESTE





1 Introducere si obiectivele IO1

Pentru a atinge obiectivele strategice specific intrarii in societatea informationala, organizatiile trebuie sa aiba o structura flexibila de hardware si software, precum si resurse umane care au un grad inalt de competente [DOR12]. Un cercetare a Bancii Mondiale a aratat ca lipsa aptitudinilor digitale si in mecatronica in cadrul companiilor de productie, blocheaza investitiile “urgente” in tehnologia asociata Industriei 4.0. Industria 4.0 va necesita echipe care sa lucreze impreuna si care sa detina competente interdisciplinare si multidisciplinare, pentru a face fata provocarilor existente. Una dintre aceste nevoi se refera la convergenta dintre sistemele de tip mecanic/electronic/software, domeniu reprezentat de mecatronica. Proiectul MIND se concentreaza pe dezvoltarea aptitudinilor de mecatronica si a metodelor inovative de invatare pentru Industria 4.0. Pentru a raspunde nevoilor de angajare ale urmatoilor 5-10 ani, universitatile trebuie sa formeze studentii si sa dezvolte aptitudini interdisciplinare, care combina calificarea in mecatronica cu cunostinte in domeniul IT si cu aptitudini sociale superioare, pentru a crea specialist 4.0.

Obiectivele IO1 sunt:

Maparea ultimelor aptitudini generale si specifice in mecatronica, necesare pentru Industri 4.0 in tarile reprezentate in cadrul parteneriatului, in prima etapa de implementare [COM19]. Prima parte a acestei mapari va prezenta o imagine generala a Industriei 4.0 (definitie, evolutie, componente, *state of the art* si avantajele Industriei 4.0). De asemenea, acest capitol va include un mod de abordare a Industriei 4.0 in tarile partenere din cadrul acestui proiect (RO, SRB, SK). Un alt subcapitol va include limitarile bibliografice ale cercetarii, care vor explica metodologia prin care se realizeaza aceasta trecere in revista, precum si o analiza cantitativa si calitativa a informatiei existente in acest domeniu. Un aspect important al acestei treceri in revista este identificare competentelor definatorii in mecatronica in contextual Industriei 4.0, inainte de instruire.

Aptitudinile in mecatronica sunt formate printr-o abordare moderna a procesului educational, caracterizat de acumularea de competente.

La baza sistemelor educationale moderne se afla principii precum: studentul devine subiectul intregului sistem, utilizarea metodelor moderne de predare, metode moderne de predare, invatare, evaluare (invatare bazata pe realizarea de proiecte, invatare in echipa,



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

problematizare, etc.), dezvoltarea gândirii critice și rezolvarea de probleme. Schimbările din sistemul educațional au apărut datorită evoluției societății, iar universitățile au fost nevoite să își adapteze metodele cerințelor industriei, economiei, etc.

2 Industria 4.0 si Mecatronica

2.1 Industria 4.0 - Concepte generale, definitie si metode de analiza

De-a lungul istoriei, industria a devenit parte a economiei nationale a oricarei tari, avand rolul de a produce bunuri, si contribuind la evolutia societatii din care face parte, etc. Figura 1 arata evolutia industriei, de la Industria 1.0 la 4.0, cea actuala, identificand elementele specifice fiecarei etape din evolutie. Se poate vedea foarte bine ca, o data cu evolutia in timp a industriei, a crescut nivelul de complexitate a respectivei industrii. Putem spune despre aceasta evolutie a complexitatii, ca este una naturala, datorita cresterii consumului care a fortat industria sa creasca capacitatea de productie prin crearea de sisteme mai complexe, cu un grad mai ridicat de productivitate.

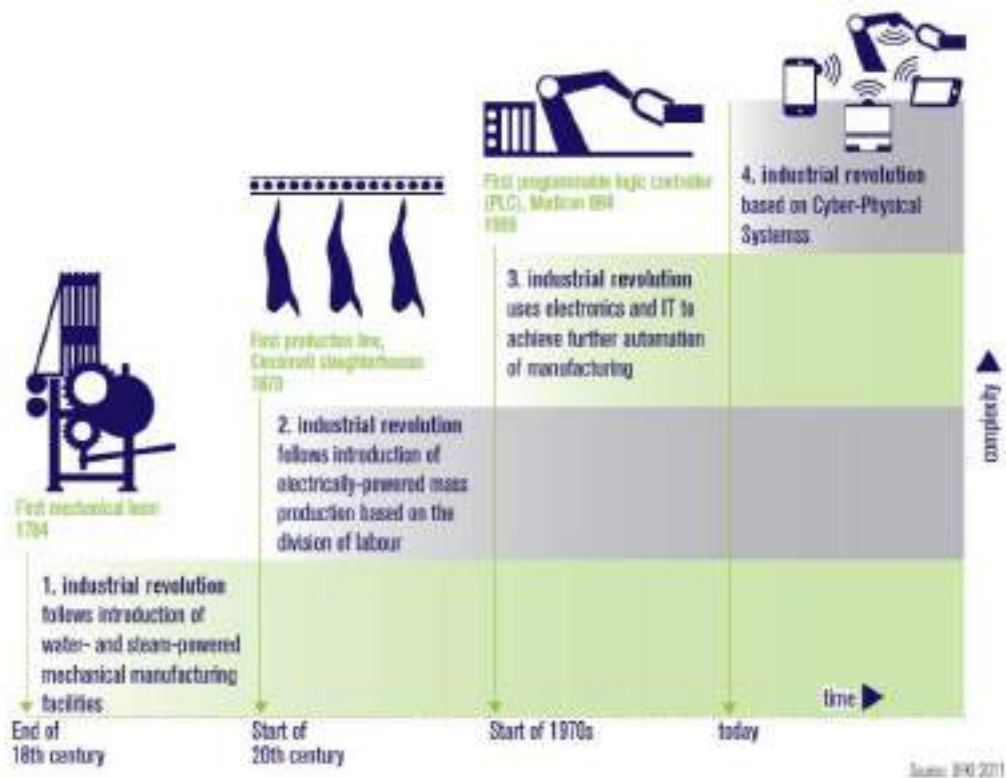


Figura 1 Evolutia de la Industria 1.0 la Industria 4.0 [DFK11]

- Prima revolutie industrială a fost caracterizată exclusiv prin sisteme mecanice, operate de abur și apă. Aceste sisteme aveau o productivitate scăzută.
- A doua revolutie industrială a fost caracterizată de utilizarea electricității ca element pentru producerea de mișcări prin sisteme electromecanice. Totuși, producția în masă a fost caracterizată de o flexibilitate redusă, în acea perioadă.
- În a treia revolutie industrială, pe lângă elementele mecanice și electromecanice, au fost introduse și elementele electronice și de IT. Un aspect care a influențat major dezvoltarea automatizării a fost apariția tranzistorului, în secolul al XX-lea. Aceasta a



treia etapa a evolutiei industriei a fost caracterizata de un grad inalt de flexibilitate datorita aparitiei robotilor industriali, a masinilor CNC cu comanda numerica, a sistemelor de management al calitatii, etc. [FEN01].

- A patra revolutie industrial, in care ne aflam azi, este una inteligenta, cu un grad inalt de automatizare si flexibilitate, care permite “reconfigurarea” foarte rapida a productiei, in functie de piata

Conceptul de Industrie 4.0 a fost folosit prima data la Hanovra, in 2011 si in 2013, Germania a anuntat oficial ca Industria 4.0 este o prioritate si un aspect strategic al revolutionarii sectorului industrial in Germania.

Definitia Industriei 4.0:

Astazi, oricine intentioneaza sa studieze Industria 4.0 se confrunta cu problema gasirii unei definitii care este general acceptata de toata lumea. Acest lucru ridica probleme importante in intelegerea si construirea unei cercetari stiintifice ale acestui subiect. In urma conceptualizarii fenomenului, in 2011, de catre Germania, acest lucru a dus la modificari considerabile in intelegerea acestui concept, dar au aparut totodata si alte tipuri de probleme si neclaritati [GIO20].

Dar, desi pentru unele tari, Industria 4.0 este un subiect de domeniul viitorului, este un fenomen care va creste tot mai mult, iar rolul sau va fi inevitabil [RAI14]. Mai jos sunt prezentate cateva definitii ale Industriei 4.0, extrase din literatura de specialitate:

1. *“Industria 4.0 reprezinta tendinta actuala a tehnologiilor din automatizare din industria manufacturiera, si include in principal tehnologii favorabile, ca sistemele cibernetice (CPS), Internet of Things (IoT) si cloud computing”* [HER16], [JAS12], [KAG13], [LAS14], [LUY17].
2. Kagermann et al. (2013) descriu viziunea lor asupra Industriei 4.0:
“In viitor, companiile vor crea retele globale care vor incorpora masinile, utilajele, sistemele de stocare si depozitare, precum si fabricile, sub forma sistemelor cibernetice. In mediul de productie, aceste sisteme cibernetice cuprind masini inteligente, sisteme de stocare si fabrici capabile de schimb autonom de informatii, de a declansa actiuni si de a se controla reciproc, in mod independent. Acest lucru faciliteaza imbunatatiri fundamentale ale procesului industrial referitor la productie, cercetare si dezvoltare, utilizarea materialelor, la procesul de aprovizionare si livrare si la managementul ciclului de viata



al produselor. Fabricile inteligente, care deja incep sa apara, au o abordare a productiei cu totul noua. Produsele inteligente pot fi identificate in mod unic, pot fi alocate oricand si isi cunosc propria istorie, statusul actual si modalitati alternative de a ajunge la nivelul dorit. Sistemele de fabricatie incorporate (embedeed) sunt conectate vertical cu procesele din cadrul fabricilor si al intreprinderilor si conectate orizontal pentru a extinde rețele de valori care pot fi gestionate in timp real - din momentul plasarii unei comenzi pana la livrare. În plus, ambele faciliteaza si necesita ingineria end-to-end pe intregul lant valoric ”[KAG13].

2.1.1 Industria 4.0 – State of the art:

Pentru a studia *state of the art* in Industria 4.0, au fost cautate articolele care au fost cel mai citate pe platforma *Web of Science*:

Tabelul 1: Primele 10 articole despre Industria 4.0

Nr	Titlul	Autor(i)	An	Cit	DOI
1	Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data-based feedback and coordination	Wang, SY. et al.	2016	270	10.1016/j.comnet.2015.12.017
2	Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal	Liao, YX. et al.	2017	186	10.1080/00207543.2017.1308576
3	Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0	Wan, JF. et al.	2016	182	10.1109/JSEN.2016.2565621
4	Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics	Hofmann, E. et al.	2017	177	10.1016/j.compind.2017.04.002
5	Cloud Computing Resource Scheduling and a Survey of Its Evolutionary Approaches	Zhan, ZH. et al.	2015	164	10.1145/2788397
6	Industry 4.0: state of the art and future trends	Xu, LD. et al.	2018	146	10.1080/00207543.2018.1444806
7	A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0	Ivanov, D. et al.	2016	124	10.1080/00207543.2014.999958



8	Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market	Sikorski, JJ. et al.	2017	111	10.1016/j.apenergy.2017.03.039
9	Fog of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and a Case Study	Baccarelli, E., et al.	2017	93	10.1109/ACCESS.2017.2702013
10	A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance	Wan, JF. et al.	2017	76	10.1109/TII.2017.2670505

Industria 4.0 este inca la inceput; exista tehnologii favorabile, cum ar fi *RFID*, *wireless sensor networks*, *cloud computing*, etc. care ii permit sa se dezvolte, dar asa cum a subliniat si Xu et al. [XUL18], exista niste obstacole care trebuie depasite inainte ca acest concept sa fie suficient de matur: unele modele de business nu fac fata bine integrarii end-to-end, procesul de data-sharing interorganizational ar putea oferi o putere imensa unor organizatii care sunt deja foarte puternice, in special in consortiile dezechilibrate; o alta problema identificata de sursa citata se refera la scalabilitate: interconectarea unor retele de date vaste, in mediul IoT, inunda sistemul cu informatii care, fara o analiza adecvata, duce la luarea de decizii bazate pe informatii, nu pe date brute. In consecinta, stiinta datelor trebuie sa joace un rol important.

O parere similara este exprimata de Hoffman and Rusch [HOF17], care afirma ca Industriei 4.0 ii lipseste o definitie acceptata de toti, ceea ce, pe de o parte permite fiecaruia sa aplice ce este relevant pentru organizatia lor, dar, pe de alta parte contrazice un pilon important al Industriei 4.0, care este Internet of Things (IoT): fara un cadru comun nu exista sanse pentru decentralizare, auto-reglare si eficienta in cadrul organizatiilor care opereaza intr-un ecosistem specific. Sursa citata propune rezolvarea problemei pornind de la partea logistica, deoarece in acest domeniu ar exista un beneficiu tangibil al implementării unei infrastructuri de date interconectate care ar putea reduce costul stocurilor, ceea ce reprezinta o parte suficient de mare din cheltuielile corporative.

Reducand domeniul de aplicare de la mari conglomerate industriale, care presupun parteneri multipli, la o singură fabrică, Wang și colab. [WAN16] propune un mecanism de negociere inteligent multi-agent autoorganizat, care sa permita trecerea la productia inteligenta; intr-un astfel de context, procesul de productie evolueaza de la o alocare planificata a resurselor, care ar putea dura mult timp pentru a fi implementata si validata, la o alocare mai flexibila a resurselor din mers, unde fiecare nod (masina, stație de lucru, banc de lucru etc.) negociaza volumul de lucru si (re) configureaza fluxul material pe baza obiectivelor. Într-un astfel de context, devine absolut necesara implementarea unei inteligente artificiale.



Un concept cheie al luarii deciziilor descentralizate este increderea; trebuie sa ne asiguram ca nu exista noduri rauvoitoare in retea si, dacă acest lucru nu este posibil, sa ne asiguram ca actiunea lor nu perturba functionarea intregii retele. O tehnologie care are capacitatea de a se asigura de acest lucru, este tehnologia *blockchain*. Sikorski si colab. [SIK17] propune un model pentru piata electricitatii care ar facilita interactiunea masina-cu-masina, care ar putea sprijini cresterea eficientei costurilor, deoarece cheltuielile generale asociate cu platile facturilor, reconcilierii, investitii, achizitii, constituie adesea o mare parte (până la a sasea) din pretul final al energiei electrice. Conceptele din tehnologia blockchain reprezinta un raspuns dublu pentru consolidarea increderii in cadrul retelelor IoT slab supravegheate.

IoT paveaza calea spre Industria 4.0, permitand un grad inalt de flexibilitate. Dar si IoT are nevoie de o arhitectura a retelei mai flexibila, ceea ce ar putea fi realizat prin retelele definite de software (software defined networks). Wan et al. [WAN16a] afirma ca o arhitectura definite de softare trebuie sa ofere integrarea a 3 nivele: infrastructura fizica, controlul si aplicatia. Unul dintre obstacolele principale este lipsa unei standardizari unificate ale interfetelor de la diferiti jucatori din piata, care impiedica implementarea. O alta problema identificata de sursa citata este ca datele generate de retea IoT are o mare valoare de piata, ceea ce ar putea transforma centre cloud in tinte ale organizatiilor cibernetice criminale sau chiar ale unor guverne; astfel, securitatea retelelor este o preocupare importanta, in special pentru nodurile cu capacitate computationala scazuta, care, in present, nu sunt capabile sa ofere metode complexe de autentificare.

Cloud computing este o alta piesa important in puzzle-ul tot mai complex al Industriei 4.0: indiferent cum va evolua industria, resursele de cloud computing au schimbat deja modul in care are loc interactiunea moderna dintre utilizatori si internet. Este clar ca acum, intrebarea este cum va influenta cloud computing dezvoltarea Industriei 4.0. Zhan et al. [ZHA15] identifica drept punct esential ca procesul de cloud computing sa fie unul eficient, programarea resurselor, care are loc la urmatoarele 3 nivele: nivelul aplicatiei (alocarea eficienta a resurselor virtuale si fizice pentru a mentine un nivel optim al calitatii serviciilor), nivelul virtualizarii (alocarea eficienta a resurselor fizice, cu privire la conservarea energiei si echilibrul incarcarii) si nivelul de implementare (alocarea eficienta a infrastructurii). Sursa citata identifica urmatoarele obstacole care trebuie depasite pentru a ajunge la un nivel matur al Industriei 4.0: programarea in timp real, programarea dinamica adaptativa, programarea multi-obiect, programarea distribuita si paralela.

O alta paradigma a Industriei 4.0 care urmeaza sa fie discutata aici, este *fog computing*: principalul punct slab al cloud computing este arhitectura sa inerent centralizata, care duce la



intarzieri ce face utilizarea intensive in timp real, imposibile in mediul real. Fog computing are ca si obiectiv mutarea calculelor critice aproape de nodul de retea care le necesita, utilizand resursele computationale ale nodurilor intr-un model computational distribuit. Baccarelli et al. [BAC17] afirma ca o provocare importanta este natura impredictibila a volumului de date generate de o retea IoT, ceea ce face dificila reconfigurarea rapida a rețelei, de la fog computing la cloud computing.

2.1.2 Avantajele Industriei 4.0

Putem spune ca Industria 4.0 ofera beneficii intregului sistem de productie, iar aceste avantaje pot fi departajate conform Figurii 2. Aceste beneficii se refera la componentele: productivitate, flexibilitate, agilitate, reducere de costuri, profitabilitate si calitatea produsului. Investitiile in tehnologie si in echipamente avansate de productie sau imbunatatirile aduse procesului actual de productie, reprezinta o investitie care este deseori in conexiune directa cu profitabilitatea companiei:

Industria 4.0 ofera o productivitate ridicata, ceea ce permite companiei sa produca mai mult si mai repede, cu mai putine resurse material. Permite de asemenea eliminarea timpilor morti, precum si reducerea perioadelor cand utilajele nu sunt in functiune in vederea monitorizarii si optimizarii acestora sau a procesului de productie [KEI18].

Un avantaj important al Industriei 4.0 este acela ca ofera un grad inalt de flexibilitate. Prin flexibilitate intelegem abilitatea unui sistem de a se adapta schimbarilor diferite din fluxul de productie, atat din perspectiva schimbarii formei si dimensiunii produsului, precum si a procesului de productie in sine. Conceptul de flexibilitate este complex si dificil de definit, analizat sau masurat. Flexibilitatea crescuta a unei companii poate fi un factor decisiv in raport cu alte organizarii care nu au un grad mare de flexibilitate. Contextul social si economic a fosrta mediul industrial sa se adapteze noilor cerinte si provocari, pentru a face fata pietei economice. Tendintele evolutiei sociale care au fosrta schimbarea in domeniul industrial, sunt caracterizate de:

- Reducerea resurselor de energie si materie prima
- Cresterea competitivitatii in pietele international
- Cresterea nivelului de confort si pregatire al oamenilor

Pentru a face fata acestor schimbari, industria manufacturiera ar trebuie sa ia in calcul urmatoarele elemente:

- Reducerea costurilor pentru material si energie, pentru fiecare produs
- Cresterea productivitatii muncii
- Cresterea fiabilitatii produsului
- Reducere timpului de proiectare si productie [DOR12].

Un alt avantaj este eficienta cu care procesul de productie se poate schimba sau reconfigura, atunci cand un produs sau un process trebuie schimbat [KEI18].

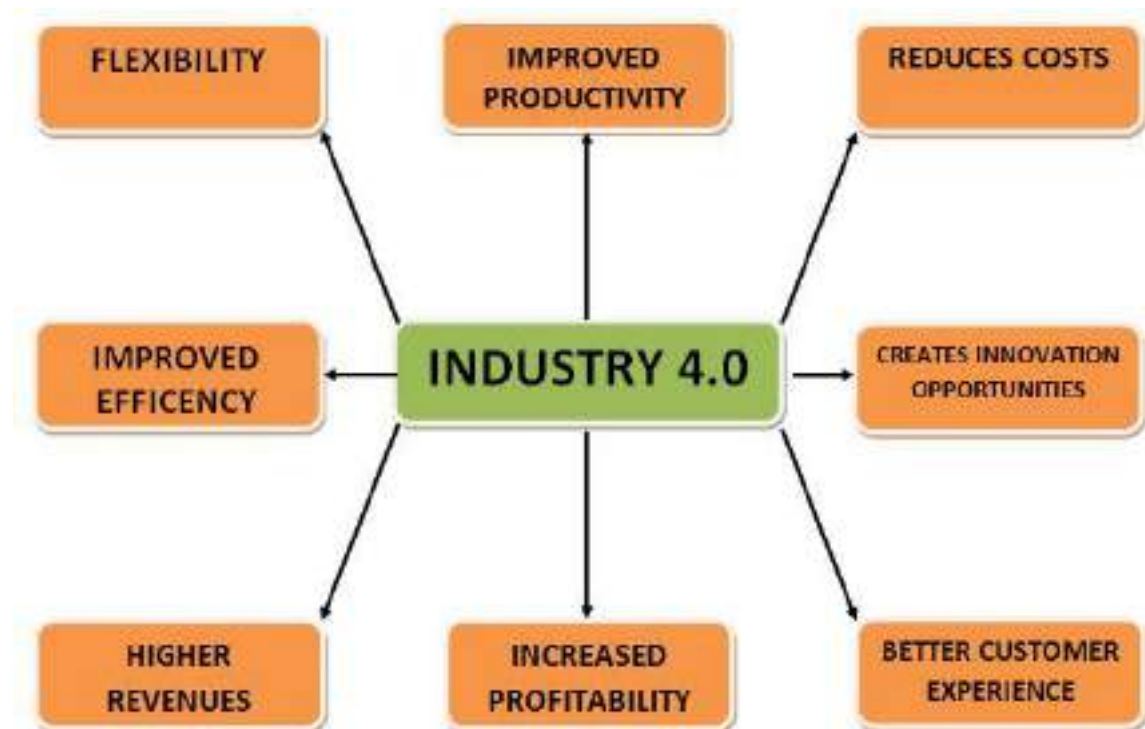


Figure 2 Advantages of Industry 4.0

Sustenabilitatea este un alt element important pe care Industria 4.0 il poate aduce, care ofera producatorilor posibilitatea de a folosi o abordare modular in proiectarea, dezvoltarea, productia si logistica bunurilor [AKE18]. Fiecare element are beneficiile sale, dupa cum proiectarea modulara ofera avantajele de a reduce timpul de proiectare al noului produs, de a scadea costul de productie si de a obtine o calitate crescuta a produsului [PIR17].

2.1.3 *Conceptul Industry 4.0 în consorțiul proiectului MIND (RO, SRB, SK)*

Această parte dorește să furnizeze un stadiu actual al nivelurilor de performanță a țărilor membre în proiectul MIND pentru Industry 4.0.



Hayriye Atik si Fatma Ünlü au scris un articol cu titlul "The Measurement of Industry 4.0 Performance through Industry 4.0 Index: An Empirical Investigation for Turkey and European Countries" care evaluează țările după nivelul de implementare a Industry 4.0. In acest articol, autorii încearcă să determine performanța relativă după 10 criterii extrase din bazele de date Eurostat și TUIK. Cele 10 indicatoare sunt:

1. Companii care au pachetul software ERP;
2. Companii care utilizează Customer Relationship Management (CRM);
3. Partajarea informațiilor de management a lanțului de aprovizionare;
4. Companii care dau dispozitive portabile pentru conectare mobilă la internet.
5. Companii care primesc comenzi online;
6. Companii care folosesc soluții software cum ar fi Customer Relationship Management (CRM);
7. Companii care au pachetul software ERP de partajare a informațiilor între diferite zone funcționale;
8. Companii cu acces în banda largă;
9. Companii care folosesc internetul în comunicarea cu instituții publice;
10. Companii care folosesc aplicații Cloud Computing.

Conform clasamentului, Romania are cel mai scăzut nivel de performanță în termenii Industry 4.0 dintre țările Uniunii Europene și Turcia. Dimpotrivă, Slovacia se clasează a 22-a și Serbia a 27-a în acest top, mai bine decât România în termenii Industry 4.0

Tabelul 2: Index-ul Industry 4.0 pentru Turcia și țările Europene [HAY19].



Country	Secondary Indicators						Industry 4.0 Index				Score	Rank
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(k)		
Denmark	0.8043	0.5924	1.0000	0.9623	0.9259	0.6561	0.8043	0.9545	0.8824	0.7576	0.8340	1
Finland	0.5870	0.7554	0.6364	1.0000	0.5556	0.7884	0.5870	1.0000	0.9412	1.0000	0.7851	2
Belgium	0.8696	0.8098	0.7273	0.7358	0.7778	0.8148	0.8696	0.8636	0.7059	0.4545	0.7629	3
Netherlands	0.7609	1.0000	0.5909	0.5283	0.4815	1.0000	0.7609	1.0000	0.7353	0.6667	0.7524	4
Germany	1.0000	0.9457	0.7727	0.4906	0.8519	0.9471	1.0000	0.7727	0.5294	0.1818	0.7492	5
Sweden	0.5000	0.7011	0.2273	0.8302	0.8889	0.6825	0.7174	0.8636	0.8824	0.8182	0.7112	6
Lithuania	0.6522	0.6739	0.7273	0.7547	0.5926	0.6561	0.6522	1.0000	1.0000	0.2727	0.6982	7
Norway	0.2174	0.7283	0.5455	0.8302	0.8889	0.7354	0.4783	0.6818	0.7059	0.8182	0.6630	8
Austria	0.6739	0.9457	0.3182	0.6604	0.4444	0.9206	0.6739	0.9091	0.7941	0.2121	0.6552	9
Ireland	0.3261	0.5380	0.2727	0.5660	1.0000	0.6296	0.3261	0.9091	0.8824	0.5758	0.6026	10
Portugal	0.7391	0.5380	0.4091	0.5660	0.5926	0.5238	0.7391	0.8182	0.7941	0.2727	0.5993	11
Luxembourg	0.6304	0.7011	0.4545	0.7170	0.2222	0.7090	0.6304	0.8636	0.7353	0.2424	0.5906	12
Cyprus	0.7174	0.8098	0.4091	0.3585	0.3704	0.7884	0.7174	0.8182	0.5882	0.1818	0.5759	13
France	0.6304	0.5652	0.2273	0.5849	0.5185	0.6032	0.6304	0.8182	0.9118	0.2121	0.5702	14
Spain	0.5435	0.6467	0.4091	0.6604	0.5926	0.6825	0.5435	0.8636	0.5000	0.2424	0.5684	15
Czech Republic	0.4348	0.2663	0.5909	0.6792	0.8889	0.2857	0.4348	0.9091	0.8529	0.2424	0.5585	16
Slovenia	0.4348	0.5380	0.2727	0.6981	0.4074	0.5238	0.5000	0.9545	0.8235	0.3333	0.5486	17
Croatia	0.4130	0.3207	0.7273	0.7925	0.5926	0.3386	0.4130	0.5455	0.8235	0.3636	0.5330	18
Iceland	0.0217	0.5109	0.3636	0.8679	0.7407	0.2593	0.0217	0.7273	0.7059	0.9091	0.5128	19
Malta	0.4348	0.4565	0.2273	0.6038	0.6296	0.4974	0.4348	0.7727	0.6765	0.3030	0.5036	20
Estonia	0.2609	0.4293	0.3182	0.6415	0.4815	0.4709	0.2609	0.7727	0.8824	0.4242	0.4942	21
Slovakia	0.4348	0.2935	0.5909	0.6226	0.3333	0.3386	0.4348	0.6364	0.7941	0.2727	0.4752	22
UK	0.1522	0.4837	0.1818	0.5094	0.5926	0.5503	0.1522	0.7273	0.7647	0.5455	0.4660	23
Italy	0.5652	0.5109	0.2273	0.4528	0.1852	0.5503	0.5652	0.7273	0.5882	0.1818	0.4554	24
Poland	0.2391	0.4022	0.4091	0.4528	0.2963	0.3915	0.2391	0.6818	0.7353	0.0909	0.3938	25
Macedonia	0.4565	0.5109	0.3636	0.5283	0.0000	0.3386	0.1739	0.7273	0.7059	0.0909	0.3896	26
Serbia	0.0000	0.5109	0.3636	0.5283	0.6667	0.1534	0.0000	0.9545	0.7059	0.0000	0.3883	27
Greece	0.5870	0.2935	0.3182	0.1321	0.2593	0.3386	0.5870	0.3182	0.5588	0.0909	0.3483	28
Latvia	0.1304	0.2391	0.0000	0.4717	0.1852	0.2328	0.1304	0.8636	0.8235	0.0909	0.3168	29
Hungary	0.1304	0.1304	0.0455	0.4717	0.3333	0.1534	0.1304	0.6364	0.5588	0.1515	0.2742	30
Turkey	0.2196	0.0000	0.0455	0.4245	0.2926	0.0000	0.2196	0.6545	0.4206	0.2818	0.2559	31
Bulgaria	0.3261	0.1848	0.4545	0.0000	0.0741	0.2063	0.3261	0.0000	0.5294	0.0606	0.2162	32
Romania	0.2609	0.2663	0.0909	0.0377	0.1481	0.2857	0.2609	0.0909	0.0000	0.0909	0.1532	33

(Tabelul 2). Slovacia, caracterizată de unii ca tradiționalistă, împreună cu Lituania, Ungaria, Slovenia și Republica Cehă, sunt printre țările care au înțeles tendința și evoluează către Industry 4.0, propunând soluții pentru a atinge noul stadiu industrial. Valorile din tabel sunt între 0 și 1, și dacă valoarea obținută este aproape de 0 atunci performanța este scăzută iar dacă valoarea este apropiată de 1 atunci performanța este înaltă [HAY19].

În 2019 au fost adoptate două documente importante în direcția pregătirii implementării Industry 4.0 ca un element strategic cheie a politicii industriale naționale a Serbiei 2021-2030. Primul este “Platforma Digitală pentru Industry 4.0” ca un plan de digitalizare și automatizare a industriei Serbiei la toate nivelele prin utilizarea componentelor Industry 4.0. Al doilea este raportul privitor la “Analiza Calității din Domeniile Prioritare din Procesele de Specializare Inteligente ale Republicii Serbia” [IZV19], unde Industry 4.0 și digitalizarea industriei este una din prioritățile cheie. Aceste două documente vor fi implicate în versiunea finală documentului strategic “Politica industrială Națională a Serbiei pentru perioada 2021-2030”.

În același timp, conform cu rezultatele studiului prezentate din articolul “Challenges and Driving Forces for Industry 4.0 Implementation” scris de A.Vuksanović Herceg, Vukašin Huč, Veljko Mijušković și Tomislav Herceg, contrar așteptărilor, transformarea digitală a companiilor nu privește resursele umane ca forță motoare, ci ca un obstacol la implementarea



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Industry 4.0, atunci când le lipsec competențele și abilitățile necesare. Rezistența la schimbare provocată de implementarea Industry 4.0 nu este văzută ca o barieră importantă. Pe de altă parte, factorii de eficiență reprezintă principala forță motoare, în timp ce lipsa competențelor și a resurselor financiare reprezintă cele mai mari obstacole pentru implementarea Industry 4.0. Acest studiu mai indică faptul că lipsa competențelor este o problemă similară la nivelurile manageriale și ierarhice inferioare. În plus, lipsa competențelor este marcată ca un obstacol mai important decât resursele financiare [HER20].

În acest sens, dezvoltarea și îmbunătățirea abilităților tehnice și creșterea competențelor pentru Industry 4.0 a devenit cea mai importantă și provocatoare sarcină și obiectivul MIND primar este complet aliniat la aceasta.

2.2. Limitele cercetării noastre științifice bibliografice

Web of Science, IEEEExplore, Science Direct, și Google Scholar sunt bazele de date care au fost folosite la documentarea acestei analize referitoare la Industry 4.0. Informațiile preluate din aceste articole au fost bineînțeles însoțite de citare.

2.2.1 Analiza Cantitativă și Calitativă

Din diagrama prezentată putem trage o concluzie foarte clară despre evoluția și interesul în acest domeniu în ultimii 49 de ani (fig. 3). Graficul de mai jos se extinde între 1980 și 2019. Diagrama arată două stadii foarte importante. Acestea sunt stadiul de inițiere și stadiul de dezvoltare. Putem spune că această metoda nu a ajuns la maturitate fiind încă în stadiul de dezvoltare. Noi am utilizat în căutare cuvintele cheie pentru datele "Industry 4.0" (Sursa: Science Direct).



Number of Publications

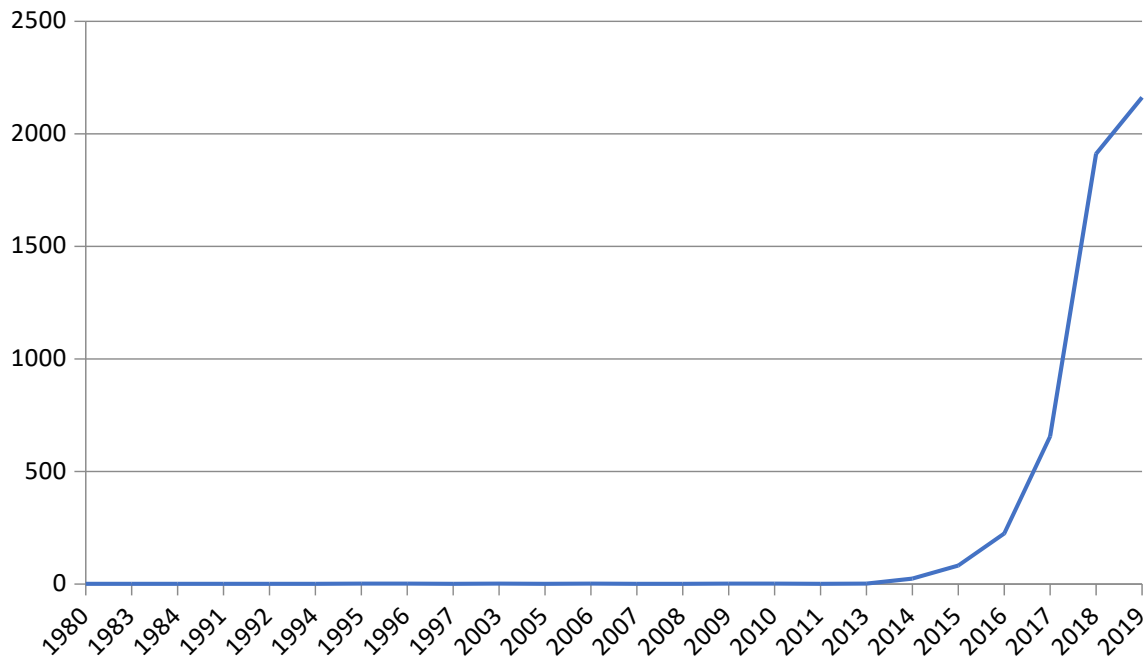


Figura 3 Numarul de publicatii despre Industry 4.0 publicate anual pe platforma Science Direct .

Perioada de început a Industry 4.0 a fost între 1980 și 2013, fiind caracterizată printr-un număr redus de articole publicate pe platformă. În timpul acestei perioade sunt publicate unul sau două articole în fiecare an. În această perioadă, industria era în al treilea stadiu de evoluție și companiile se pregăteau încet pentru a patra revoluție industrială. Din 2014, articolele publicate pe platforma Science Direct au început să crească considerabil. Creșterea a fost spectaculoasă începând cu câteva articole în 2014 și ajungând la peste 2000 de articole publicate în 2019. Este evident că interesul în acest domeniu a crescut foarte mult și cercetările pentru Industry 4.0 au început să se multiplice de la an la an. Industry 4.0 este încă în stadiul de dezvoltare în care conceptele Industry 4.0 sunt implementate, testate, optimizate, simulate. Este sigur că cercetarea în acest domeniu va continua intens și numărul de articole va crește de asemenea de la an la an.



Fig 4 Numărul de publicații în relație cu Industry 4.0 pe domenii, utilizând baza de date Web of Science [WWW01]

Modificarea în abordarea producției și inclusiv a serviciilor este din ce în ce mai mult bazată pe componenta software prin IoT, senzori, roboți industriali și echipament inteligent cu comandă numerică. Toate aceste tehnologii și echipamente inteligente produc o mare cantitate de date ce trebuie procesate, atingând un nivel foarte înalt de informații [CHE18]. Utilizarea software în Industry 4.0 este o componentă foarte importantă, de aceea multe articole publicate sunt în domeniul ingineriei electronice și științei calculatoarelor (fig. 4). De asemenea, multe articole au fost publicate în domeniul ingineriei industriale și de producție, care au un impact direct asupra Industry 4.0



Cele mai multe cunoștințe despre Industry 4.0 sunt publicate în conferințe, urmate de publicații sub formă de articole. Mult mai puține cunoștințe pot fi găsite în cărți și capitole de carte, materiale editoriale, recenzii sau extrase. Numărul mare de publicații în conferințe este foarte benefic și normal deoarece conferințele joacă un rol important în schimbul de cunoștințe între cercetători. Alt avantaj pentru care cel mai mult se publica prin conferințe este faptul că permite cercetătorilor să fie conștienți de tendințele actuale din Industry 4.0 [BOR11].

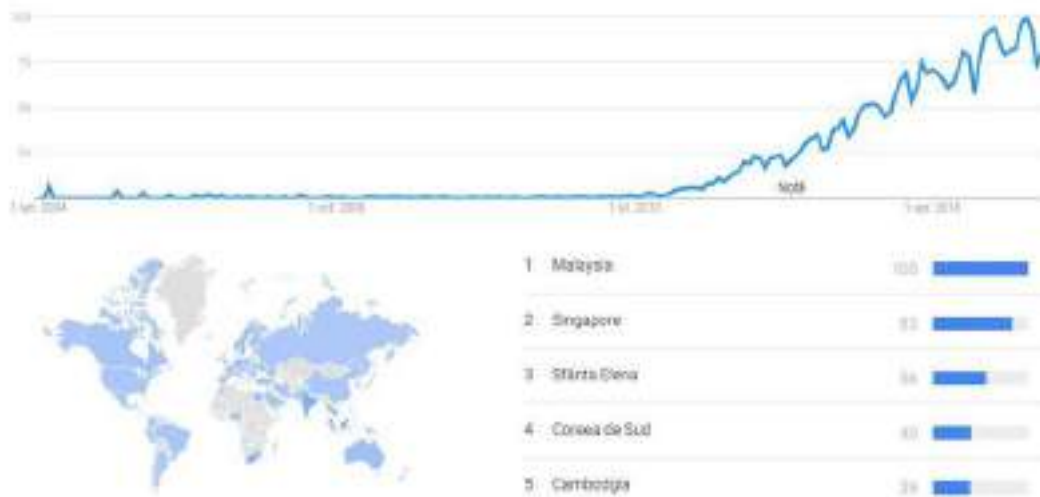


Fig 6 Analiza Google Trends pentru criteriul de căutare "Industry 4.0"

Utilizarea criteriului de căutare: "Industry 4.0" pe Google Trends arată o creștere puternică, în special de la sfârșitul anului 2013, a folosirii acestei fraze în motorul de căutare, în toată lumea (Fig 6).

Graficul este oarecum similar cu cel din Fig. 3, în care se poate ușor identifica evoluția numărului de articole, ca și evoluția numărului de căutări despre Industry 4.0 în toată lumea. Altă informație interesantă din acest grafic arată că cel mai mare număr de căutări Google despre Industry 4.0 a fost identificat în țările din Asia (Malaezia, Singapore, Coreea de Sud, Cambogia).

2.3.Abilități mecatronice în contextul Industry 4.0

Pe măsură ce industria a evoluat de la Industry 1.0 la 4.0, abilitățile necesare muncitorilor au crescut tot mai mult. Aceste schimbări au afectat operatorii, inginerii și personalul administrativ. Industry 4.0 are nevoie de persoane cu abilități din domenii interdisciplinare sau multidisciplinare pentru a fi capabili să răspundă provocărilor viitoare. Este sigur că personalul



angajat în fabricile 4.0 trebuie să aibă atât cunoștințele și abilitățile corespunzătoare domeniului tehnic cât și cele de software [LIV19]. Conform unei cercetări desfășurate de PwC Global în 2016 asupra Industry 4.0 printre SME-uri, cea mai importantă provocare este produsă de lipsa personalului cu abilități digitale, cât și de inabilitatea de a fi instruiți. Mulți s-au așteptat ca dificultatea cea mai importantă în atingerea scopurilor Industry 4.0 să fie alegerea tehnologiilor corespunzătoare, dar se pare că abilitățile forței de muncă sunt un și mai important aspect [PWC16]. Sistemele de educație actuale nu abordează foarte serios problemele legate de acumularea abilităților specifice Industry 4.0 cum ar fi abilitățile tehnice, de software, dar și digitale și de afaceri. În schimb, industria își asumă un rol dinamic și creativ în completarea competențelor cheie necesare integrării în Industry 4.0 [COM16].

Datorită faptului că ramurile industriale diferă ca procese de producție, și că sistemul de educație nu poate acoperi toate domeniile, este important ca angajații să fie antrenați în limbajul locului de muncă sau în cel academic prin învățare bazată pe muncă (WBL). Bineînțeles, învățarea bazată pe munca este doar o metodă educațională prin care indivizii acumulează abilități și este mai specifică în mediul industrial. Pe de altă parte, în mediul educațional, în universitate se găsesc metode mai moderne de acumulare a competențelor care pot fi aplicate cu succes pentru atingerea obiectivelor propuse. Învățarea bazată pe proiect (PBL), învățarea prin colaborare (P2PL) sunt doar câteva dintre metodele moderne prin care indivizii acumulează abilități importante la integrarea lor în mediul social și industrial. Această nouă abordare a sistemului de educație face parte din educația modernă prin aceea că este caracterizată prin poziționarea studentului ca subiect al procesului educațional, acumularea de competențe, dezvoltarea gândirii critice și rezolvarea de probleme [ION01]. În cazul Industry 4.0, una sau două abilități nu sunt suficiente pentru a rezolva anumite probleme complexe, ci este necesar un set mai larg de abilități care să includă competențe mecanice, de software și electronice [LIV19]. Mecatronica pregătește și antrenează indivizii pe baze foarte aplicate și interdisciplinare, caracteristici foarte importante pentru Industry 4.0. Individul care studiază mecatronica dobândește, în procesul educațional, o serie de competențe de bază în domeniile proiectare 3D, automatizare, software, controlul avansat al sistemelor electromecanice, baze de date, controlul proceselor neconvenționale, etc.

Domeniul Mecatronica acoperă o paletă largă de abilități necesare pentru Industry 4.0. Bineînțeles, sunt necesare îmbunătățiri și adăugări la abilitățile cerute. Pentru a identifica abilitățile necesare pentru Industry 4.0 în țările partenere proiectului MIND, am dezvoltat un formular pe platforma Google Forms pe care l-am distribuit companiilor din cele trei țări partener (Serbia, Slovacia, România). Acest formular a fost completat de 55 de companii mari,

mici și mijlocii; majoritatea acestor companii fiind producători, și o mică parte în domeniul dezvoltării, cercetării și distribuției. O importantă parte a companiilor operează în domeniul automotive, celelalte fiind în domeniul ingineriei mecanice sau electronice. Din graficul de mai jos se poate spune ca abilitățile mecatronice sunt semnificative și extrem de importante pentru dezvoltarea companiilor (Fig. 7). Unele companii spun că abilitățile mecatronice nu sunt prea importante sau nu sunt importante, deoarece aceste companii nu lucrează direct cu domeniul de producție sau mecatronic. Aceste companii sunt în servicii conexe domeniului cum ar fi consultanță, paletizare, construcții industriale, servicii financiare, etc.

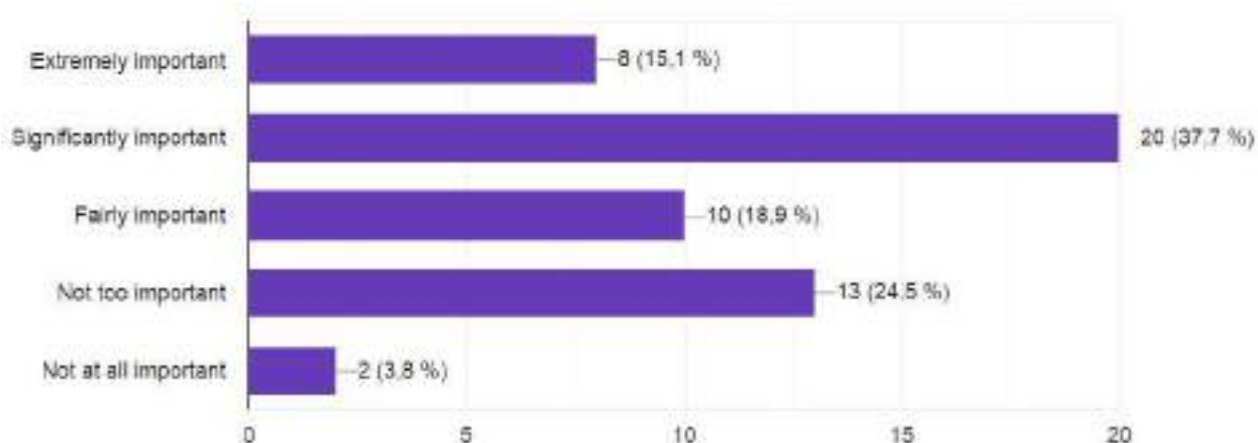


Fig 7 Importanta abilităților mecatronice.

La întrebarea adresata companiilor privind cât de bine pregătiți sunt angajații lor în domeniul mecatronic, cei mai mulți au răspuns că sunt pregătiți în intervalul 1-50% . Există o mică parte a companiilor care pretind că angajații lor au un grad foarte ridicat de pregătire mecatronică (Fig. 8).

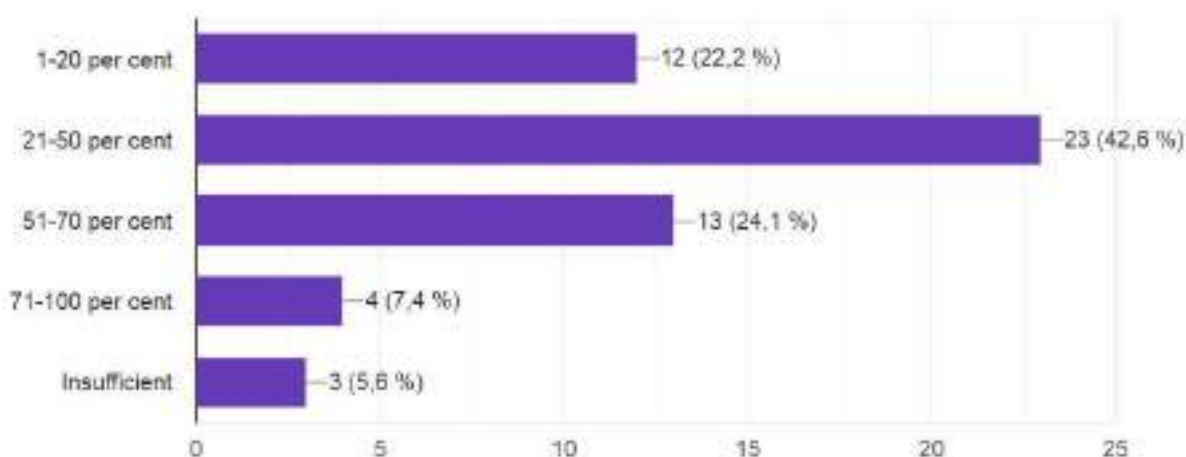


Fig. 8 Pregătirea angajaților în domeniul mecatronic.

Cele mai multe companii au nevoie de un nivel ridicat de pregătire mecatronică, de aceea cele mai multe companii au nevoie de nivel de master, urmat de nivel de bachelor. Un



număr semnificativ de companii au nevoie de asemenea de tehnicieni care cunosc domeniul mecatronic la nivel mai scăzut, dar care au potențial de creștere în companie în anumite sectoare (Fig. 9).

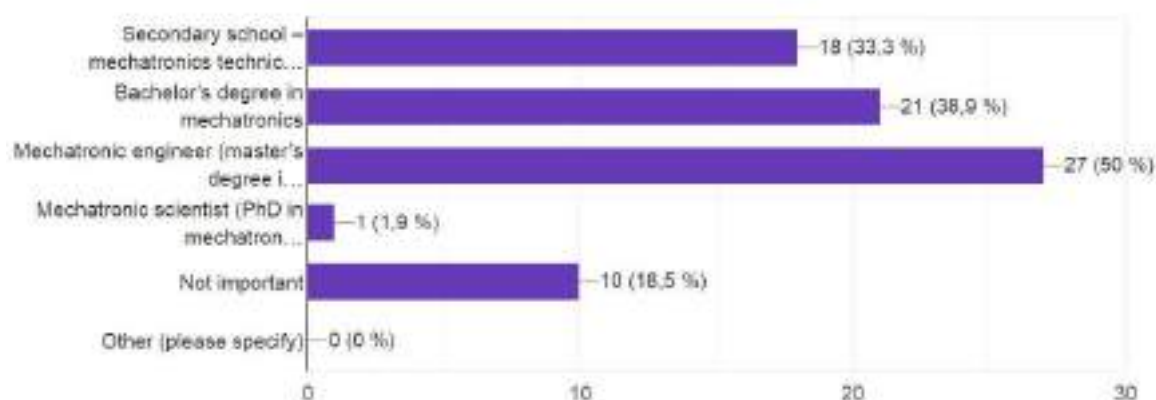


Fig. 9 Nivelul de educație.

În cazul competențelor pe care trebuie să le aibă resursa umană specializată pentru a face față provocărilor Industry 4.0, companiile au ales competențele de automatizare și cele de tehnologii de fabricație. Aceste două componente sunt majoritare în preferințele angajaților privind competențele necesare individului în Industry 4.0. Altă competență preferată de companii a fost ITO, datorită interconectivității pe care o oferă între elementele comune procesului industrial (Fig. 10).

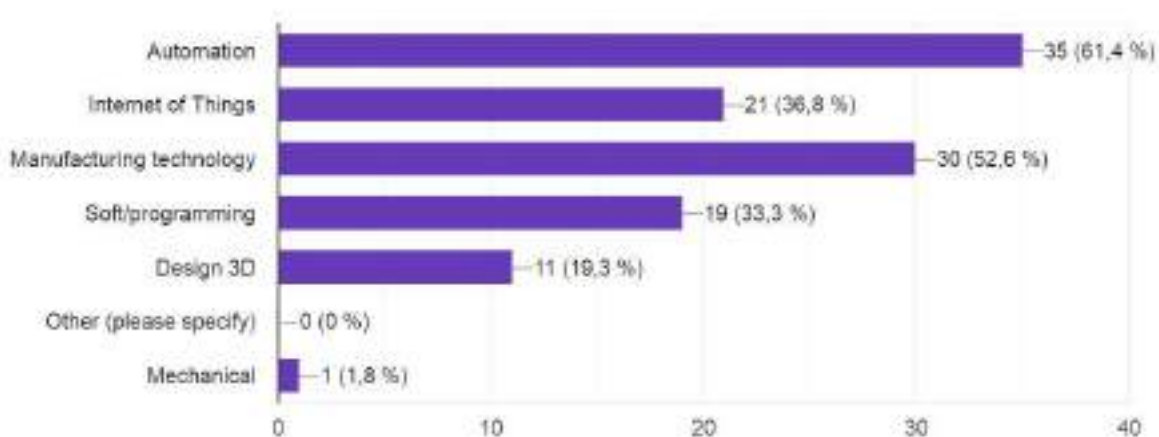


Fig. 10 Abilitățile cerute în Industry 4.0. (selectare max 2 abilități)

Cele mai multe companii recomandă studenților să studieze mai mult sisteme de control automat, precum și ingineria mecanică. De asemenea, programarea și ingineria electrică au obținut procente semnificative.

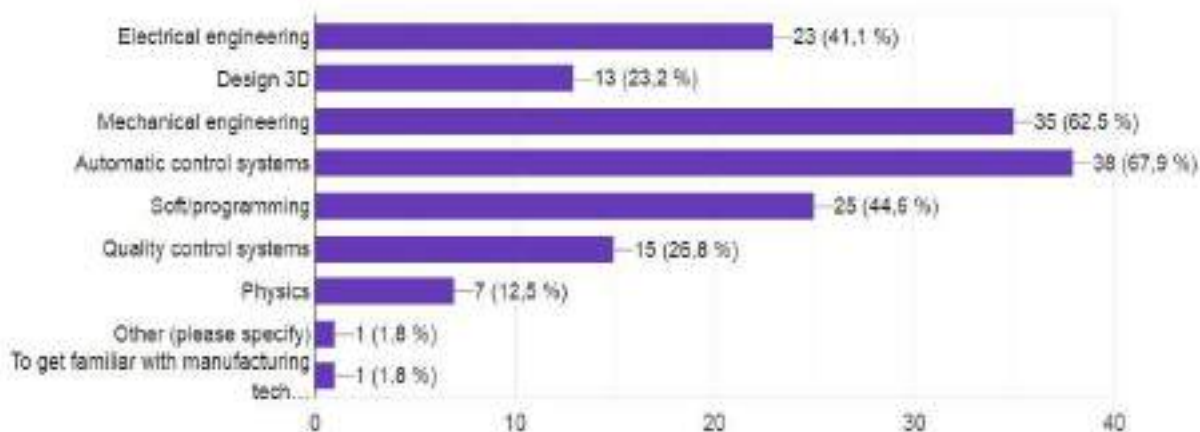


Fig. 11 Subiecte importante pentru a fi tratate serios de studenți. (selectare max 3 subiecte)

Internetul obiectelor și printarea 3D / fabricația aditivă sunt cursurile preferate de cele mai multe companii pentru studenții de la master. Companiile cred că aceste cursuri vor fi utile masteranzilor, pentru că sunt un element cheie în atingerea pragului industrial 4.0 (Fig. 12).

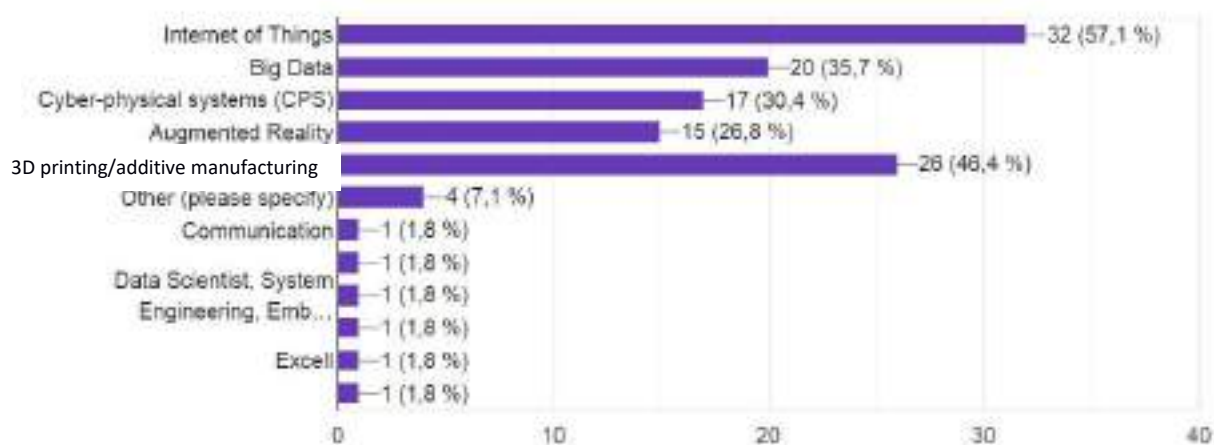


Fig. 12 Cursuri utile pentru masteranzi. (selectare max 3 cursuri).

Ultima întrebare adresată companiilor se referă la viziunea de viitor a companiei, cele mai multe dintre ele concentrându-se pe implementarea principiilor de producție lean, ca și echiparea companiei cu roboți autonomi sau cu Internetul obiectelor (Fig. 13).

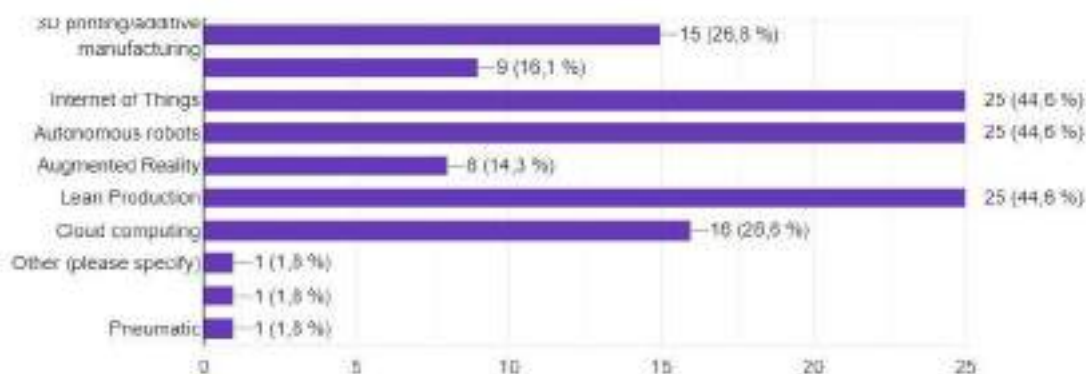


Fig 13 Domenii viitoare de interes pentru companii.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

În forma de mai sus, a fost făcută o identificare a competențelor tehnice necesare indivizilor pentru a rezolva probleme ale Industry 4.0. Aceste abilități tehnice sunt foarte importante în contextul Industry 4.0, dar aproape la fel de importante sunt abilitățile sociale (sursa: <https://medium.com/@LeadTheChange/key-competencies-for-industry-4-0-negotiation-and-creativity-2f7685f8d49f>), (Figura 14 - CFI).

Top 10 skills

in 2020

1. Complex Problem Solving
2. Critical Thinking
3. Creativity
4. People Management
5. Coordinating with Others
6. Emotional Intelligence
7. Judgment and Decision Making
8. Service Orientation
9. Negotiation
10. Cognitive Flexibility

in 2015

1. Complex Problem Solving
2. Coordinating with Others
3. People Management
4. Critical Thinking
5. Negotiation
6. Quality Control
7. Service Orientation
8. Judgment and Decision Making
9. Active Listening
10. Creativity



Figure 14 Abilități de top în Industry 4.0.

Se poate vedea că pe locul întâi în 2015 și 2020 este rezolvarea problemelor complexe ca abilitate principală pentru Industry 4.0. Pentru a adopta Industry 4.0 trebuie să fim pregătiți să acceptăm provocările legate de nivelul real al abilităților forței de muncă. În anii care vin, se așteaptă ca forța de muncă să posede abilități noi. În acest caz, rolul principal îl are educația. În lucrarea “From E-learning to Industry 4.0” autorii introduc criteriile importante pentru educație în Industry 4.0 [MIK16]:

- Nevoi crescute de flexibilitate;
- Cooperare între Universitate-Industria;
- Deschiderea sistemelor de învățare;
- Modificări în procesele de comunicare.



3. Concluzii

Industry 4.0 se bazează pe concepte care sunt noi sau încă nu complet dezvoltate: cloud computing, fog computing, blockchain, etc. Unele dintre ele au evoluat spectaculos în ultimii ani, dar și așa, Industry 4.0 este încă în perioada de copilărie. Pe lângă provocările tehnice, tranziția la acest nivel nou se va dovedi a fi o încercare pentru status-quo-ul actual: partajarea de cantități extinse de informații forțează actorii industriali să își schimbe metodele de interacțiune, luarea de decizii prin inteligență artificială va face ca pozițiile în managementul mijlociu să fie depășite, un salt în cele din urmă la parcuri industriale complet automatizate va impune regândirea normelor și convențiilor sociale, etc.

Din 2011 de la începutul Industry 4.0, acest concept a fost dezvoltat an de an. Acesta este dovedită prin numărul mare de articole științifice publicate în acest domeniu. Este sigur că acest domeniu este unul de interes datorită avantajelor pe care le aduce peste tot în întregul proces de fabricație. Câteva dintre aceste avantaje au fost incluse de asemenea în acest raport. Acest chestionar a fost adresat companilor din cele trei țări partnere în proiectul MIND.

Acknowledgments

We thank Assoc. Prof. Dr. Eng. Sergiu-Dan STAN from the Technical University for the help given in writing this intellectual result.



4. Bibliography

- AKE18 M. Åkerman, Å. Fast-Berglund, E. Halvordsson, J. Stahre; *Modularized assembly system: a digital innovation hub for the Swedish smart industry* *Manuf. Lett.*, 15 (1) (2018), pp. 143-146
- BAC17 [Baccarelli, E](#); [Naranjo, PGV](#); [Scarpiniti, M](#); [Shojafar, M](#); [Abawajy, JH](#); *Fog of Everything: Energy-Efficient Networked Computing Architectures, Research Challenges, and a Case Study; Volume: 5; Pages: 9882-9910; DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2702013*
- BOR11 Borja González-Albo, María Bordons,
Articles vs. proceedings papers: Do they differ in research relevance and impact? A case study in the Library and Information Science field, *Journal of Informetrics*, Volume 5, Issue 3, 2011, Pages 369-381, ISSN 1751-1577, <https://doi.org/10.1016/j.joi.2011.01.011>.
- CHE18 Chen-Fu Chien, T. Warren Liao, Runliang Dou,
Soft computing for smart production to empower industry 4.0, *Applied Soft Computing*, Volume 68, 2018, Pages 833-834, ISSN 1568-4946, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.05.021>.
- COM16 *A new skills agenda for Europe*. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. COM(2016) 381 final. Brussels, 10.6.2016, available at: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-381-EN-F1-1.PDF>
- COM19 <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/projects/eplus-project-details/#project/2019-1-RO01-KA203-063153>
- DFK11 <https://www.dfki.de/web/forschung/projekte-publikationen/publikationen/publikation/9923/>



- DOR12 Dorin Telea; *Sisteme inteligente de productie*; Ed. Universitatii L Blaga; Sibiu 2012; ISBN 978-606-12-0401-4
- HER20 I.Vuksanovic Herceg, V. Kuc, V.M. Mijuškovic, T.Herceg, *Challenges and Driving Forces for Industry 4.0 Implementation*, Sustainability 2020, 12, 4208; pp.1-22 doi:10.3390/su12104208
- IZV19 <https://pametnaspecijalizacija.mpn.gov.rs/wp-content/uploads/2019/03/4S-Finalni-izvestaj-o-kvalitativnoj-analizi.pdf>
- EMI19 G. D'Emilia, A. Gaspari, and E. Natale, „Mechatronics Applications of Measurements for Smart Manufacturing in an Industry 4.0 Scenario“, IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, April 2019
- FEN01 Feng, S., L. Li, and L. Cen. 2001. “An Object-oriented Intelligent Design Tool to Aid the Design of Manufacturing Systems.” Knowledge-Based Systems 14 (5–6): 225–232. DOI:10.1016/S0950-7051(01)00100-9
- GHE18 G. Gheorghe „MECHATRONICS, CYBER-MIXMECHATRONICS AND IT&C BASED ON THE DEVELOPMENT OF INDUSTRY 4.0 IN ROMANIA“ Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX November 7-9, Băile Govora, Romania
- GIO20 Giovanna Culot, Guido Nassimbeni, Guido Orzes, Marco Sartor, *Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions*, International Journal of Production Economics, 2020, 107617, ISSN 0925-5273, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>.
- HAY19 Hayriye Atik, Fatma Ünlü, *The Measurement of Industry 4.0 Performance through Industry 4.0 Index: An Empirical Investigation for Turkey and European Countries*, Procedia Computer Science, Volume 158, 2019, Pages 852-860, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.123>



- HER16 Hermann, M., T. Pentek, and B. Otto. 2016. “*Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios.*” Proceedings of 2016 49th Hawaii International Conference on Systems Science, January 5–8, Maui, Hawaii. DOI:10.1109/HICSS.2016.488.
- HOF17 [Hofmann, E](#); [Rusch, M](#); *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*, Volume:89; Pages:23-34; DOI:10.1016/j.compind.2017.04.002
- ION01 Ionescu, M., Radu I, *Didactica modernă*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 2001
- IVA16 [Ivanov, D](#); [Dolgui, A](#); [Sokolov, B](#); [Werner, F](#); [Ivanova, M](#); *A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0*; Volume:54; Issue: 2; Pages: 286-402; DOI: 10.1080/00207543.2014.999958
- JAS12 Jasperneite, J. 2012. “*Was Hinter Begriffen Wie Industrie 4.0 Steckt.*” *Computer & Automation* 12: 24–28. Jia, X., O. Feng, T. Fan, and Q. Lei. 2012. “RFID Technology and its Applications in Internet of Things (IoT).” In Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), April 21–23, Yichang, China, 1282–1285.
- KAG13 Kagermann, H., W. Wahlster, and J. Helbig. 2013. “*Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group.*” Acatech-National Academy of Science and Engineering, Germany
- KEI18 Keith Moran; *Benefits Of Industry 4.0; 2018*; <https://slcontrols.com/benefits-of-industry-4-0/>
- KHO18 V. A. Kholopova, E. N. Kashirskayaa, A. P. Kushnira, E. V. KuKurnasov, A. V. Ragutkina, and V. V. Pirogovb, „Development of Digital Machine-Building Production in the Industry 4.0 Concept“, *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2018, Vol. 47



- LAS14 Lasi, H., F. Peter, F. Thomas, and M. Hoffmann. 2014. "Industry 4.0." *Business & Information Systems Engineering* 6 (4): 239–242
- LIA17 [Liao, YX](#); [Deschamps, F](#); [Loures, EDR](#); [Ramos, LFP](#), *Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal*, Volume: 55; Issue: 12; Pages: 3609-3629, DOI: 10.1080/00207543.2017.1308576
- LIV19 Liviu Moldovan, *State-of-the-art Analysis on the Knowledge and Skills Gaps on the Topic of Industry 4.0 and the Requirements for Work-based Learning*, *Procedia Manufacturing*, Volume 32, 2019, Pages 294-301, ISSN 2351-9789, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.217>.
- LUY17 Lu, Y. 2017b. "Cyber Physical System (CPS)-based Industry 4.0: A Survey." *Journal of Industrial Integration and Management* 2(3). DOI:10.1142/S2424862217500142
- MAC18 P. MARCON, F. ZEZULKA, Z. BRADAC, „TERMINOLOGY OF INDUSTRY 4.0“, *Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria "Fundamental Sciences and Applications" Vol. 24, 2018*
- MIK16 M. Huba, Š. Kozák, "From E-learning to Industry 4.0", *Slovak University of Technology in Bratislava, Slovakia, November 2016*, DOI: [10.1109/ICETA.2016.7802083](https://doi.org/10.1109/ICETA.2016.7802083).
- PIR17 F.A.S. Piran, D.P. Lacerda, L.F.R. Camargo, C.F. Viero, R. Teixeira, A. Dresch; *Product modularity and its effects on the production process: an analysis in a bus manufacturer*, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 88 (5–8) (2017), pp. 2331-2343
- PWC16 PWC. 2016 Global Industry 4.0 Survey, available at: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- RAI14 Rainer, Drath; Alexander Horch; *Industrie 4.0: Hit or Hype?*; Volume: 8 , [Issue: 2](#) , June 2014; DOI: [10.1109/MIE.2014.2312079](https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079)



- RAU00 H. Rauen, J. Fleischer, R. Anderl „Guideline Industrie 4.0 Guiding principles for the implementation of Industrie 4.0 in small and medium sized businesses“
- SIK17 [Sikorski, JJ](#); [Haughton, J](#); [Kraft, M](#); *Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market*; Volume:195; Pages:234-246 DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.03.039
- SLU18 Ślusarczyk B., „INDUSTRY 4.0 – ARE WE READY?“, POLISH JOURNAL OF MANAGEMENT STUDIES, 2018 Vol.17 No.1
- STA19 S. Stanovski, G. Ostojić, X. Zhang, I. Baranovski, S. Tegeltija, S. Horvat, “Mechatronics, Identification Tehnology, Industry 4.0 And Education“, 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 20-22 March 2019.
- SUA17 S. Suárez Fernández-Miranda^a, M. Marcos^b, M.E. Peralta^a, F. Aguayo^a, „*The challenge of integrating Industry 4.0 in the degree of Mechanical Engineering*“, Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain
- WAN16 [Wan, JF](#); [Tang, SL](#); [Shu, ZG](#); [Li, D](#); [Wang, SY](#); [Imran, M](#); [Vasilakos, AV](#), *Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0*; Volume:16; Issue: 20; DOI: 10.1109/JSEN.2016.2565621
- WAN16 [Wang, SY](#), [Wan, JF](#), [Zhang, DQ](#), [Li, D](#), [Zhang, CH](#), *Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination*; Volume 101; Pages 158-168; DOI: 10.1016/j.comnet.2015.12.017
- WAN17 [Wan, JF](#); [Tang, SL](#); [Li, D](#); [Wang, SY](#); [Liu, CL](#); [Abbas, H](#); [Vasilakos, AV](#); *A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance*; Volume: 13; Issue:4; Pages:2039-2047; DOI: 10.1109/TII.2017.2670505



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

- WOR17 A. Wortmann, B. Combemale, O. Barais, „A Systematic Mapping Study on Modeling for Industry 4.0“, 2017 ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems
- WWW01 https://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=WOS&SID=C58FBP6JbvHn6He62kG&field=TASCA_JCRCategories_JCRCategories_en&yearSort=false
- XUL18 [Xu, LD](#) ; [Xu, EL](#); [Li, L](#); *Industry 4.0: state of the art and future trends*; Volume 56; Issue: 8; Pages: 2941-2962; DOI: 10.1080/00207543.2018.1444806
- ZHA15 [Zhan, ZH](#); [Liu, XF](#); [Gong, YJ](#); [Zhang, J](#); [Chung, HSH](#); [Li, Y](#); *Cloud Computing Resource Scheduling and a Survey of Its Evolutionary Approaches*, Volume: 47; Issue: 4; DOI: 10.1145/2788397
- [CFI] <https://medium.com/@LeadTheChange/key-competencies-for-industry-4-0-negotiation-and-creativity-2f7685f8d49f>