

A patra revoluție industrială a început. Este pregătită România pentru a face față sfidărilor acestei noi revoluții?

(Industry 4.0 started. Is it ready Romania for the challenges of this new revolution?)

DOREL BANABIC

Universitatea Tehnică din Cluj Napoca, Str. Memorandumului 28, 400014 Cluj Napoca, România

EU elaborated an ambitious program called Industry 4.0, with the aim of initiating a new industrial revolution. Material processing technologies have evolved in a disruptive manner during the time. Three major industrial revolutions can be identified when analyzing this evolution: first revolution – characterized by the extensive use of water and steam power, second revolution – characterized by the transition to electric power, and third revolution – characterized by the massive involvement of computers and data processing in industrial activities. The Industry 4.0 program marks the beginning of the fourth industrial revolution, which will be characterized by the use of cyber-physical systems in manufacturing. The initiative of starting such a program was taken by the German Government in 2011 (the so-called Industrie 4.0 project). Since then, several other EU countries have adopted similar programs: Factory of the Future (France and Italy), Catapult (UK), etc. According to the principles of the Industry 4.0 program, industrial products should be able to interact with the manufacturing equipment (machine-tools, robots, etc.) by transferring information related to different processing stages. The main consequence of this approach will be the development of an intelligent manufacturing environment having the capability of communicating and making optimal decisions in an autonomous manner. In order to achieve such an ambitious goal, EU will have to spend more than 1,300 billion EURO in the next 15 years. The major economic and political challenge consists in allowing all industrial domains to take advantage from the digital innovation in products, manufacturing processes and business models. The main advantages and drawbacks of the Romania in the Industry 4.0 agenda are also presented.

Keywords: Industry 4.0, Cyber-physical systems, Internet of Things, Romanian manufacturing industry

1. Introducere

Industria prelucrării materialelor joacă un rol foarte important în economia țărilor din Uniunea Europeană contribuind cu peste 15% la valoarea adăugată. Această industrie generează peste 80% din inovațiile și 75% din exporturile țărilor europene, cuprinde peste două milioane de companii și oferă peste 33 de milioane de locuri de muncă. Ca urmare, industria prelucrării materialelor poate fi considerată motorul economic și social al Europei. În ultima decadă industria europeană a pierdut 10 % în termeni de valoare adăugată față de țările emergente. Ca răspuns la această scădere, Europa a inițiat un ambițios program, care reprezintă o nouă revoluție industrială, denumită Industry 4.0. Inițiativa a fost introdusă de guvernul german în anul 2011, în cadrul târgului de la Hanovra, sub denumirea Industrie 4.0 [1]. La scurt timp, această inițiativă a fost urmată de alte state sub diferite denumiri: Factory of the Future (Franța și Italia), Catapult (UK), «Smart Manufacturing» în US, respectiv «Made in China - 2025» în China sau «Innovation 2025» în Japonia.

Termenul a devenit extrem de popular odată cu inițiativa Forumului Economic Mondial de a organiza o dezbatere pe această temă în cadrul unei întâlniri la Davoz, organizată în ianuarie 2016. Klaus Schwab, fondatorul și coordonatorul acestei organizații, a publicat o carte [2] în care prezintă pe larg concluziile acestui forum.

Odată cu lansarea programului Industry 4.0 ne găsim în perioada de început a celei de-a patra revoluții industriale. Industry 4.0 este caracterizată de automatizarea, digitizarea și interconectarea tuturor componentelor din procesele de producție. Pentru atingerea acestui obiectiv foarte ambițios, Europa și-a propus să investească în acest domeniu în următorii 15 ani peste 1.300 miliarde de euro. Provocarea politică și economică majoră este de a face ca toate sectoarele industriale să profite din plin de inovarea digitală în produse, procese și modele de afaceri. Este pregătită România să se alinieze țărilor europene care au demarat, deja, programe naționale/europene pentru a răspunde acestei provocări și a nu rămâne un outsider în această competiție? Pentru aceasta trebuie ca una din direcțiile de dezvoltare strategică a României să fie orientate pe domeniul Industry 4.0.

Pentru o înțelegere mai clară a elementelor revoluționare introduse de Industry 4.0 voi prezenta pe scurt evoluția tehnologiilor de la prima revoluție industrială până în prezent.

2. Evoluția tehnologiilor de la prima revoluție industrială până în prezent

Tehnologiile de prelucrare a materialelor au evoluat disruptiv de la apariția lor până în prezent, putând fi definite patru mari revoluții industriale (denumite în literatură Industry 1 până la Industry 4). Prima revoluție industrială, care a început în ultimele decade ale secolului al XVIII-lea, este caracterizată de introducerea echipamentelor mecanice de producție acționate de forța apei sau a aburului. A doua revoluție industrială a debutat la sfârșitul secolului al XIX-lea. Specific acestei revoluții este utilizarea acționării electrice a echipamentelor de producție și realizarea unei producții de masă bazată pe divizarea muncii. A treia revoluție industrială a demarat în deceniul 8 al secolului al XX-lea odată cu apariția Controlerelor Programabile Logice (PLC). Caracteristica de bază a acestora este utilizarea sistemelor electronice și a tehnologiei informației în automatizarea producției. În momentul de față, ne găsim în perioada de început a celei de-a patra revoluții industriale (Industry 4.0), caracterizată de utilizarea sistemelor cyber-fizice în procesele de producție. Revoluția Industry 4.0 prevede că produsul care urmează să fie fabricat este capabil să interacționeze cu echipamentele de fabricație (mașini și roboți) și să transmită acestora cerințele pentru următoarea fază a procesului de prelucrare,

realizându-se, astfel, conectivitatea între elementele procesului. Se realizează, astfel, un sistem inteligent de producție capabil să comunice și să ia decizii optime în mod autonom. O prezentare grafică a celor patru revoluții industriale este reprezentată în Figura 1. (prelucrare după Wahlster [3]).

Un exemplu de evoluție a automatizării proceselor în domeniul tehnologiilor de deformare plastică este prezentat în Fig. 2 [4,5]. În prima etapă a utilizării preselor în producția de serie a pieselor din tablă pentru caroserii de automobile (începutul secolului al XX-lea) s-au utilizat prese mecanice simple, sistemul de alimentare cu semifabricate fiind manual. Ulterior, începând cu deceniul al cincilea din secolul al XX-lea, s-au utilizat prese electromecanice (mecatronice) cu sisteme de alimentare sincronizate mecanic, structura lanțului de proces devenind mai sofisticată. În a doua parte a anilor '70 din secolul trecut, comanda și controlul preselor s-au realizat prin comenzi numerice (PLC). Începând cu anii 2010, în comanda preselor și a sistemelor de manipulare a semifabricatelor și pieselor finale se folosesc sisteme cyber-fizice (cu senzori integrați în construcția matrițelor și a preseii și conexiune fără fir între postul de lucru și serverul pe care se rulează simularea procesului), ceea ce permite modificarea on-line a parametrilor procesului de deformare în scopul optimizării și creșterii robusteții acestuia. Structura lanțului de proces devine, astfel, tot mai complexă, integrând elementele de execuție (presele, matrițele), cele de deservire (roboți, sisteme de alimentare), senzorii și sistemele digitale de achiziție, prelucrare și comandă a întregului sistem.

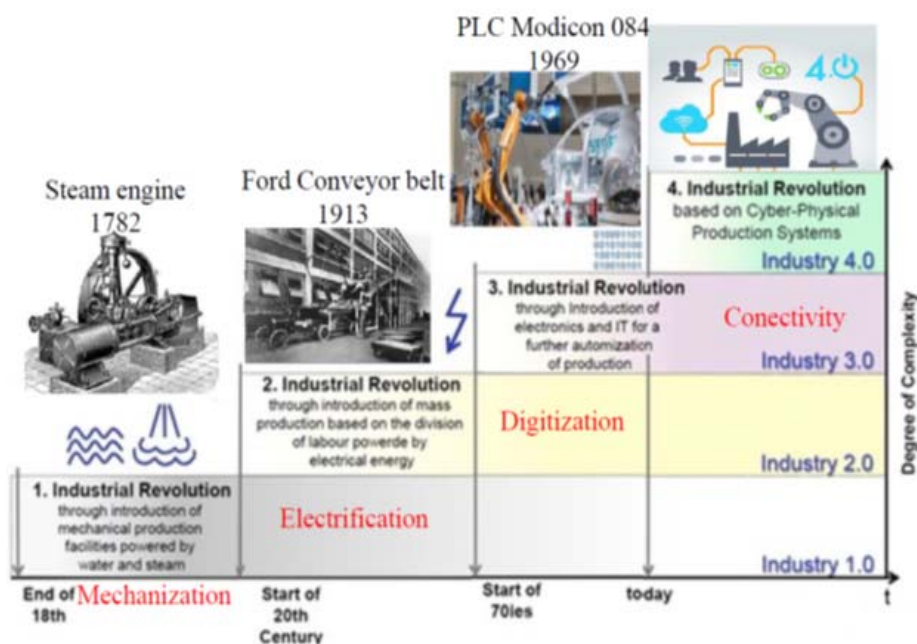


Fig. 1. Evoluția tehnologiilor de la prima la a patra revoluție industrială [3].

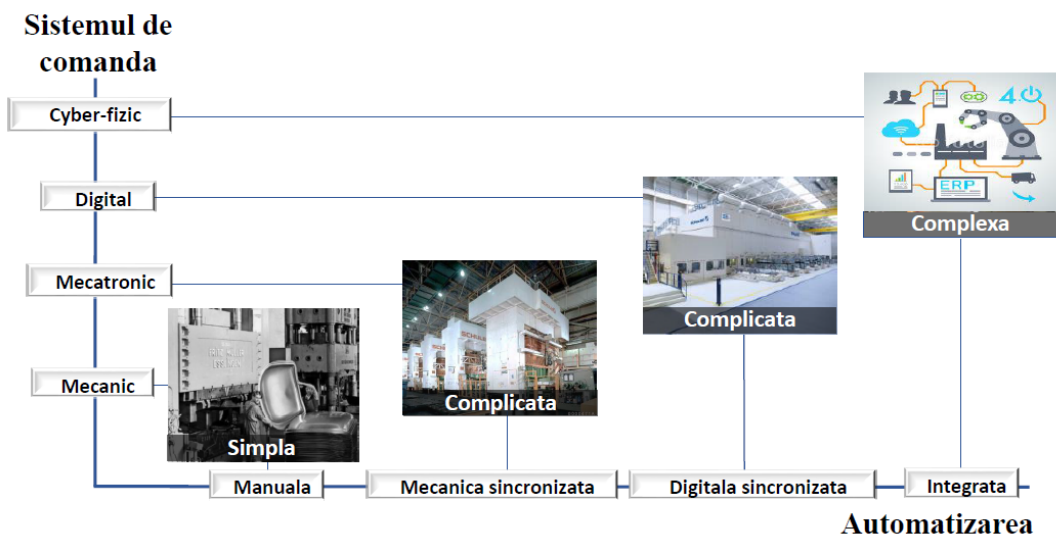


Fig. 2. Evoluția procesului de automatizare în domeniul tehnologiilor de deformare plastică.

Dacă privim istoria tehnologiilor din punctul de vedere al adaptării la cerințele consumatorului, o putem periodiza în următoarele patru etape (Fig. 3) [6]. Perioada dinaintea primei revoluții industriale (cea a producției artisanale) este caracterizată prin aceea ca fiecare produs era proiectat și realizat pentru un anumit client (încălțăminte, hainele, harnașamentele pentru cai etc.). Revoluția industrială din secolele XVIII și XIX a condus la o creștere a productivității și a volumului de producție pe variante de produs, ceea ce a făcut ca, la începutul secolului al XX-lea, să se treacă la o altă paradigmă, aceea a producției de masă (introdusă de Ford în fabricația modelului de automobil Ford T). În această etapă sunt fabricate un număr limitat de produse, acestea fiind realizate într-un număr foarte mare (de masă), presupunându-se că vor fi suficienți cumpărători pentru ele. Anul 1955 se consideră a fi caracteristic pentru producția de masă, fiind anul cu volumul cel mai mare de producție pentru o anumită variantă de produs. Începând cu acest an, de cotitură,

varietatea produselor crește, iar numărul de produse pe o variantă începe să scadă. Anul 1980 este anul trecerii într-o nouă etapă, aceea a personalizării de masă (mass customization), în care clientul selectează produsul dorit, dintr-o listă de opțiuni, înaintea realizării acestuia (exemplu clasic este cel al alegerii configurației autoturismului de către client pe baza unei liste de variante și apoi lansarea acestuia în producție). Cea de-a patra etapă tehnologică este aceea a producției personalizate care începe în prima decadă a secolului XXI. În această perioadă, opțiunile produsului sunt alese de către client, cumpărate de la producător și apoi realizate cu sisteme avansate de prelucrare. Un rol esențial la saltul tehnologic în inovări tehnologice, care au fost aplicate la scară industrială: tehnologiile rapid prototyping, denumite mai nou, tehnologii de tip Additive Manufacturing, cloud manufacturing (termen adoptat prin similitudine cu termenul de cloud computing), realitatea augmentată, simularea stohastică etc.

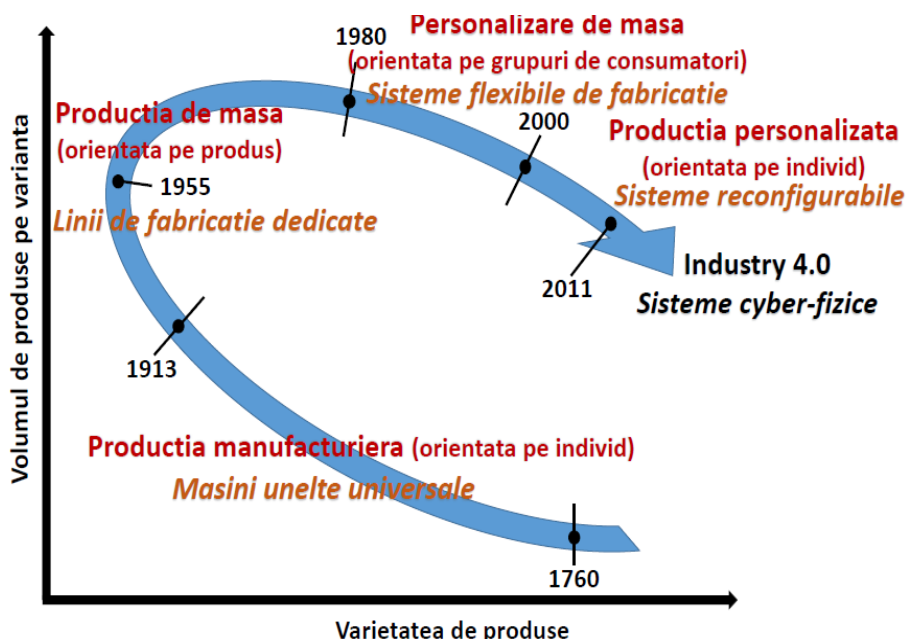


Fig. 3. Evoluția ciclică a fabricației de la prima la a patra revoluție industrială.

Din cele de mai sus rezultă că tehnologiile de fabricație au parcurs o dezvoltare ciclică, de la producția artizanală personalizată (orientată pe individ), la producția de masă (orientată pe produs), apoi la cea personalizată de masă (orientată pe grupuri de consumatori) și revenind înapoi la producția personalizată (orientată pe consumatorul individual).

Conceptul Industry 4.0 este inclus în programele strategice de dezvoltare ale unor țări dezvoltate din Europa, America și Asia. Spre exemplu, Germania a inclus în programul său de cercetare strategică, cu perspectivă anul 2025, domeniul Industrie 4.0. Acesta reprezintă unul din cele 10 proiecte de viitor pentru perioada menționată. Totodată, a creat o platformă în cadrul Ministerului Federal al Educației și Cercetării. Platforma Industrie 4.0 [7] cuprinde, deja, peste 250 de participanți din peste 100 de organizații (intreprinderi, institute de cercetare și universități). În cadrul acestei platforme, s-a constituit un grup de lucru care a elaborat un raport care cuprinde un set de reglementări privind implementarea strategiei Industrie 4.0 [8]. Tehnologiile avansate specifice celei de-a patra revoluții industriale sunt prezentate în Fig. 4 [9]. Acestea sunt: internetul obiectelor (Internet of Things-IoT), securitatea datelor, prelucrarea datelor și mai nou manufacturarea pieselor în “cloud”, prelucrarea prin adăugare de material, realitatea augmentată, Big Data, roboții autonomi, simularea proceselor, integrarea sistemelor pe verticală și orizontală.

Informații detaliate despre aceste tehnologii pot fi găsite în literatura de specialitate specifică acestora.

Evoluția de la Sistemele Inglobate (Embedded Systems) la Internetul Obiectelor (Internet of Things) s-a realizat prin intermediul Retețelor de Sisteme Inglobate și al Sistemelor Cyber-Fizice, așa cum se prezintă în Fig. 5.

Pentru o înțelegere mai ușoară a diferenței dintre structurile lanțurilor de proces într-un sistem de fabricație clasic și unul specific pentru Industry 4.0, acestea s-au reprezentat sugestiv în Fig. 6 [9]. În sistemul clasic, procesul de producție se desfășoară într-un flux de fabricație bine definit, între celule de lucru independente, așa cum se vede în Fig. 6.a. În noul concept Industry 4.0 există un flux atât al produselor, cât și al datelor, integrate între ele (Fig.6.b). Câteva caracteristici specifice noului concept de fabricație sunt: o comunicare integrată de-a lungul întregului ciclu de lucru (1); un mare grad de automatizare, ceea ce va duce la înlocuirea operatorilor care efectuează munci cu grad scăzut de calificare cu roboți (2); creșterea numărului de persoane cu calificare înaltă pentru monitorizarea și managementul fluxului de fabricație (2); un grad ridicat de comunicare între mașini (Machine to Machine-M2M) respectiv între mașină și om (Machine to Human-M2H) (3); optimizarea întregului lanț de proces prin utilizarea unor programe de inteligență artificială în fiecare structură a lanțului tehnologic.



Fig. 4. Tehnologiile specifice celei de-a patra revoluții industriale, Industry 4.0 [9].

Mai multe informații despre utilizarea Sistemelor Cyber-Fizice și a Internetului Obiectelor în sistemele de fabricație pot fi găsite în lucrările [10-12].

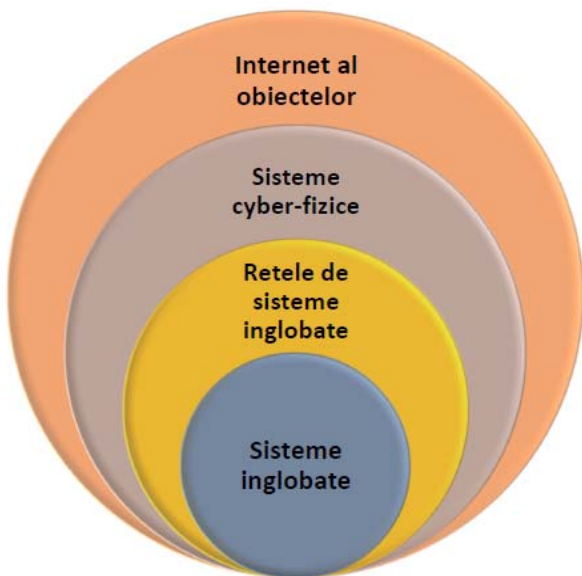


Fig. 5. Evoluția de-a lungul ultimelor decenii de la Sistemele Inglobate (Embedded Systems) la Internetul Obiectelor (Internet of Things).

3. Concluzii

Principalele așteptări ale industriei, ca urmare a trecerii ei în faza a patra a dezvoltării (Industry 4.0) sunt:

- mai multă flexibilitate și adaptabilitate ;
- transformarea structurilor rigide în structuri de tip rețea ;
- integrarea pe verticală a sistemelor de producție flexibile și reconfigurabile ;
- modularizarea și autonomia sistemelor de producție ;
- utilizarea unor sisteme de producție cu structură fractală;
- optimizarea resurselor prin conectarea echipamentelor în rețea;
- utilizarea inteligenței artificiale în comanda sistemelor de producție, în scopul luării unor decizii rapide și optime ;
- dezvoltarea și utilizarea unor noi modele de afaceri ;
- utilizarea aplicațiilor “app-store” și “cloud” ca noi concepte în managementul cunoștințelor etc.

Toate acestea vor conduce la o creștere a eficienței fabricației prin reducerea duratei procesului tehnologic, reducerea rebuturilor în lanțul de proces, o mai mare adaptabilitate la necesitățile clienților, creșterea calității produselor și, în final, la reducerea costurilor produselor fabricate și a timpilor de

așteptare pentru consumatorul final. Acest impact uriaș preconizat prin trecerea în noua etapă a industriei prin digitizarea întregului lanț de proces, pentru fabricarea unui produs, justifică efortul

bugetar al Europei pentru implementarea agendei Industry 4.0. România trebuie să fie parte activă la acest salt calitativ al industriei europene.

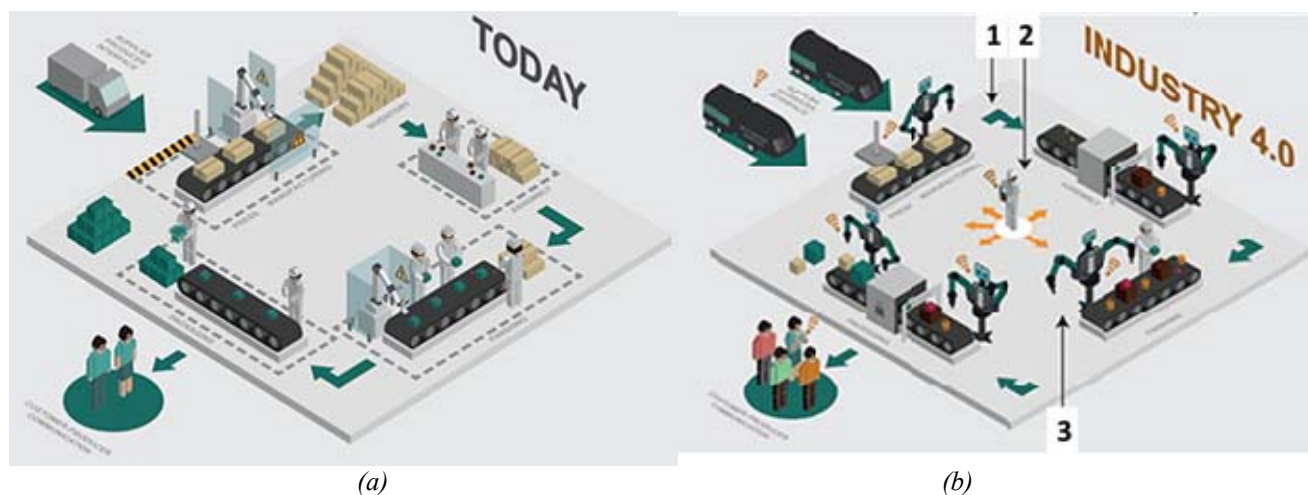


Fig. 6. Structura lanțurilor de proces într-un sistem de fabricație clasic (a) respectiv unul specific pentru Industry 4.0 (b) [9].

Spre deosebire de țările avansate din punct de vedere tehnologic, în România discuțiile privind Industry 4.0 au fost abordate cu preponderență în literatura de popularizare (Știință și Tehnică [13], Ziarul Financiar [14], Magazin [15], T&T - Tehnică și Tehnologie [16] etc.) nefiind, încă, un domeniu abordat în revistele sau conferințele de specialitate, cu cele câteva excepții menționate în secțiunea 3. Domeniul Industry 4.0 este promovat foarte intens de companiile multinaționale localizate în România (Siemens [17], Bosch [18], FESTO [19], [20], Vodafone [21] etc.). Din păcate, încă nu se observă un interes al companiilor românești pentru agenda Industry 4.0. Referindu-mă la domeniul academic, menționez faptul că doar Universitatea „Politehnica” din București a introdus o specializare la masterat în domeniul sistemelor cyber-fizice [22] cu aplicații în domeniul sistemelor de fabricație. Primele cercetări în acest domeniu au fost demarate de Profesorul Ioan Dumitrache [23] care inițiază în anul 2012 o serie de workshop-uri în domeniul sistemelor cyber-fizice sub egida Societății Române de Automatică și Informatică Tehnică (SRAIT) și a Secției de Știință și Tehnologie Informației a Academiei Române [24]. Workshop-urile se organizează, anual, fie ca evenimente independente, fie în cadrul unor conferințe mai ample, ultimul având loc în luna mai 2016 [25].

În continuare, voi prezenta punctele tari și pe cele slabe ale României în agenda Industry 4.0 a Europei, precum și câteva propuneri pentru promovarea acestei agende.

Punctele tari:

- existența forței de muncă înalt calificate în domeniul IT ;
- existența unui sector IT foarte performant, cu competențe în domeniile esențiale pentru Industry 4.0 : inteligența artificială, securitatea datelor, Big Data, rețele de comunicații etc.;
- existența unor centre performante în câteva domenii importante pentru Industry 4.0: informatică, calculatoare, robotică, automatică;
- existența unui masterat în sisteme cyber-fizice în cadrul Universității „Politehnica” din București;
- existența unui workshop cu tradiție în domeniul Sistemelor Cyber-Fizice organizat anual de Universitatea „Politehnica” din București împreună cu Academia Română;
- existența unor nuclee de cercetare în tehnologii specifice pentru Industry 4.0 (Aditive Manufacturing) sau în domeniul simulării avansate a proceselor de fabricație (multiscale modeling, stochastic modeling) ;

- implicarea unor colective universitare în proiecte europene din domeniul Industry 4.0 ;
- existența unei diaspore românești foarte active în acest domeniu ;
- existența unei infrastructuri de internet foarte performantă;
- existența unei industrii în plină dezvoltare, ceea ce o face atractivă pentru atragerea de investiții în facilități noi de producție;
- existența unei industrii de furnizori pentru industria auto dezvoltată și cu o dinamică accentuată, acest sector fiind unul din cele mai atractive pentru Industry 4.0 ;
- existența unor companii care oferă expertiză în acest domeniu, precum Digital Twin [26], NTT Data [27], Evosoft [28], Fortech [29] etc.;
- existența unei excelente colaborări cu industria germană, promovarea Industry 4.0.

Punctele slabe:

- lipsa unui program coerent al guvernelor României în domeniul Industry 4.0;
- lipsa unei reprezentări eficiente și competente în foruri internaționale, unde se discută agenda Industry 4.0;
- lipsa participării (cu câteva excepții) a cercetătorilor români la conferințe internaționale în care se dezbate problemele Industry 4.0;
- lipsa vizibilității cercetătorilor români din domeniul tehnologiilor de prelucrare (cu câteva excepții) în literatura de specialitate relevantă pentru comunitatea științifică internațională;
- lipsa unei culturi organizaționale în industria prelucrărilor mecanice din România;
- lipsa resurselor financiare ale întreprinderilor românești din domeniul prelucrărilor mecanice;
- lipsa interesului băncilor românești în finanțarea activităților specifice acestui domeniu;
- lipsa specialiștilor în organizarea producției;
- lipsa calificării forței de muncă în domenii interdisciplinare;
- lipsa unor specializări interdisciplinare (calculatoare-senzorică-tehnologii mecanice-materiale-organizarea producției), cu excepția specializării de sisteme cyber-fizice menționată în secțiunea anterioară;
- calitatea slabă a studenților în unele domenii esențiale pentru Industry 4.0 : construcții de mașini, mecanică, știința materialelor, organizarea producției etc.

Dacă analizăm atât punctele tari, cât și pe cele slabe prezentate succint mai sus, putem răspunde la întrebarea din titlul articolului: *România nu este pregătită încă pentru a face față sfidărilor celei de-a patra revoluții industriale, care a început deja de*

cinci ani și care nu se reflectă încă în realitățile țării noastre.

Ce este de făcut ?

1. Inițierea unui Think-Thank în domeniul Industry 4.0, care să cuprindă specialiști din universități, institute ale Academiei Române, Academia de Științe Tehnice din România, industrie, firme de IT;
2. Definirea unei agende Industry 4.0 a României;
3. Introducerea în Strategia de Dezvoltare a României a unei agende Industry 4.0;
4. Introducerea în Programul Național de Cercetare, Dezvoltare și Inovare 2015-2020, PNIII, spre exemplu în Programul 2, Creșterea Competitivității Economiei Românești prin Cercetare, Dezvoltare și Inovare a domeniului Industry 4.0 ca domeniu prioritar;
5. O promovare mai accentuată a conceptului Industry 4.0 în mediul academic, de cercetare și industrial din România;
6. Introducerea în programele de învățământ a unor cursuri interdisciplinare care să abordeze problematica Industry 4.0 la specializări precum : Tehnologia construcțiilor de mașini, Mașini-unelte și sisteme de producție, Inginerie industrială, Mecatronică, Robotică, Instrumentație și achiziții de date, Rețele și software de telecomunicații, Calculatoare, Tehnologia informației etc.;
7. Continuarea și dezvoltarea inițiativelor existente prin dezbateri, mese rotunde, workshop-uri de către Academia Română, Academia de Științe Tehnice din România, Camerele de Comerț, asociațiile profesionale (ARIES, AGIR, ACAROM, Asociația Universitară de Ingineria Fabricației etc.) pentru promovarea conceptului Industry 4.0 ;
8. Găsirea unor modalități de motivare de către Guvernul României de implicare a firmelor românești în Agenda Industry 4.0;
9. Găsirea unor soluții de interesare a băncilor românești în finanțarea unor inițiative ale întreprinderilor de implicare în programul Industry 4.0;
10. Intensificarea colaborărilor cu specialiștii români din diaspora implicați în programele Industry 4.0;
11. Promovarea unor persoane competente în platforme și agenții europene care au ca domeniu de interes Industry 4.0;
12. Eficientizarea comunicării între reprezentanții României în forurile europene, unde se dezbate problemele din acest domeniu și cei din organismele naționale (agenții de finanțare, universități etc.).

Din cele de mai sus, se poate concluziona că, în acest moment, cu toate inițiativele insulare menționate, România nu este încă pregătită să se integreze în agenda Industry 4.0 a Europei. Consider că întârzierea demarării rapide de acțiuni va duce la scoaterea României de pe harta agendei europene din acest domeniu cu repercursiuni negative pe termen lung pentru companiile românești. Este necesară o campanie activă de conștientizare și sprijinire a acestora pentru adaptarea lor la tendințele europene și mondiale de digitizare a fabricației.

Bibliografie

- [1] 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, April 2013
- [2] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, Geneva, 2016
- [3] W. Wahlster, Das Internet der Dinge als Innovationstreiber: Vernetzte Produktions-, Mobilitäts- und Energiesysteme, 6 Innovation – Unternehmertipfel 2012, Hannover, 13. September 2012.
- [4] D. Banabic, Industry 4.0 in Metal Forming, Int. Conf. on Advanced Manufacturing as the Foundation for a Successful Society, 31st May – 2nd June 2016, Belgrade, Serbia.
- [5] D. Banabic, Industry 4.0 A patra revoluție industrială, Simpoziul « Perspective în Inginerie », Zilele Academice Clujene, Cluj Napoca, 20 Mai, 2016.
- [6] D. Banabic, Digitizarea fabricației: a patra revoluție industrială, Proc. Conferinței ASTR, Târgu Mureș, 6-7 Oct. 2016
- [7] <http://www.plattform-i40.de>
- [8] Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0, ACATECH, 2013.
- [9] M. Ruessmann et al, Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, The Boston Consulting Group, April 2015.
- [10] A. Al-Fuqaha et al., Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications, IEEE Communication Surveys & Tutorials, 17 (2015) 2347-2376.
- [11] O. Vermesan et al., IoT Digital value Chain Connecting Research, Innovation and Deployment, In: Digitising the Industry (Eds. O Vermesan, P. Friess), River Publishers, 2016
- [12] L. Monostori et al., Cyber-physical systems in manufacturing, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 65(2), 2016.
- [13] A. Safta, C. Andone, A patra revoluție industrială, Știință și Tehnică, 2016, Martie, 34-47.
- [14] D. Luca, România și revoluția industrială 4.0, ZF, 22 Ianuarie 2015 (<http://www.zf.ro/opinii/opinie-dan-luca-romania-si-revolutia-industriala-4-0-13780009>)
- [15] G. Cușnarencu, Sub ochii noștri se naște a Patra Revoluție Industrială, Magazin, 26 Iulie 2016.
- [16] L. Nae, Industry 4.0 în România, Mai 2016 <http://www.ttonline.ro/sectiuni/tt-plus/articole/13476-industry-40-romania>
- [17] <http://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/digital-factory-trends-industrie-4-0.html>
- [18] <https://www.boschrexroth.com/en/xc/industries/factory-automation/cutting-machine-tools/index#>
- [19] T. Stamate, Industrie 4.0 – Advanced Production Systems, 20th Int. Conf. on Control Systems and Computer Science, Bucharest, May 27-29, 2015.
- [20] https://www.festo.com/cms/ro_ro/56644.htm
- [21] <http://www.romaniajournal.ro/vodafone-brings-industry-4-0-in-romania-through-its-supernet-4g-network/>
- [22] <http://acs.pub.ro/doc/master/ro/courses/CPS-courses-ro.pdf>
- [23] I. Dumitrache, Cyber-Physical Systems (CPS) Factor determinant în economia bazată pe inovare și cunoștințe, Revista Română de Informatică și Automatică, 23(2013), 43
- [24] <http://iwocps.hpc.pub.ro>
- [25] The fifth international workshop on cyber-physical systems-IWoCPS-5, Romanian Academy, Bucharest, May 26, 2016
- [26] <https://www.digitaltwin.ro>
- [27] <http://emea.nttdata.com/ro/home/index.html>
- [28] <http://www.evosoftware.com/>
- [29] <http://www.fortech.ro/>