

CONTRIBUȚII PRIVIND STABILIREA TRASEULUI DE IMPLEMENTARE A CONCEPTULUI INDUSTRY 4.0 ÎN CADRUL FIRMELOR MICI ȘI MIJLOCII

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul Inginerie și Management
de către

Ing. Edwald-Viktor Gillich

Conducător științific:

Prof.univ.dr.ing. Marian Liviu MOCAN

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | 16. Inginerie și Management |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2023

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
Tel./fax 0256 403823
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Teza de doctorat "Contribuții privind stabilirea traseului de implementare a conceptului Industry 4.0 în cadrul firmelor mici și mijlocii" a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Management din cadrul Facultății de Management în Producție și Transporturi al Universității Politehnica Timișoara, care mi-a oferit un cadru organizatoric propice pentru desfășurarea activităților de cercetare și elaborare a tezei de doctorat.

Mulțumiri deosebite se cuvine să aduc conducătorului meu de doctorat, domnul prof.univ.dr.ing. Marian Liviu MOCAN, care m-a sprijinit și consiliat pe întreaga durată a studiilor de doctorat. Competența cu care a coordonat activitate de cercetare și răbdarea de care a dat dovadă m-au ajutat să abordez o tematică vastă și un domeniu cu o dinamică a schimbării deosebită.

Aduc mulțumiri membrilor comisiei de îndrumare, prof.univ.dr.ing. Anca DRĂGHICI, prof.univ.dr.ing. Adrian PUGNA, conf.univ.dr.ing. George BELGIU și membrilor catedrei, prof.univ.dr.ing. Larisa IVAȘCU și s.l.dr.ing. Atila TURI, pentru analiza critică a rezultatelor cercetărilor, pentru opiniile exprimate și pentru îndrumările care au avut o influență pozitivă asupra conținutului științific al tezei. De asemenea, doresc să mulțumesc colectivului departamentului și colegilor doctoranzi pentru discuțiile purtate și sfaturile pertinente.

Pentru deschiderea spre colaborare și susținerea activităților de cercetare aplicativă mulțumesc deopotrivă managerilor firmelor și tuturor respondenților. Fără această colaborarea nu ar fi fost posibilă extragerea datelor și caracterizarea interesului manifestat în cadrul firmelor mici și mijlocii pentru transformare digitală.

Nu în ultimul rând, aș dori să mulțumesc familiei mele și mai ales părinților mei, Nicoleta și Gilbert-Rainer, pentru susținerea continuă în toată această perioadă. A fost un proces lung și obositor și nu l-aș fi putut parcurge fără sprijinul lor.

Timișoara, aprilie 2023

Edwald-Viktor Gillich

Gillich, Edwald-Viktor

CONTRIBUȚII PRIVIND STABILIREA TRASEULUI DE IMPLEMENTARE A CONCEPTULUI INDUSTRY 4.0 ÎN CADRUL FIRMELOR MICI ȘI MIJLOCII

Teze de doctorat ale UPT, Seria X, Nr. YY, Editura Politehnica, 2023, 164 pagini, 84 figuri, 21 tabele.

Cuvinte cheie: revoluție industrială, transformare digitală, industrii emergente, maturitate tehnologică, Industry 4.0, mașini inteligente, lanț de producție auto-organizat

Rezumat,

Teza prezintă cercetările efectuate de autor privind stabilirea traseului de implementare a Industry 4.0 pentru o firmă de dimensiune medie. Au fost întâi identificați factorii motivaționali și de frânare a trecerii la sistemul Industry 4.0. Pe baza acestor factori a fost caracterizat nivelul de acceptarea transformării digitale în rândul unei firme de dimensiune medie și a partenerilor din zona de vest a României. Apoi a fost determinat gradul de maturitate al unei firme de dimensiune mijlocie privind transformarea digitală pe baza unor indicatori propuși de autor și a fost stabilit un traseu de implementare etapizat a Industry 4.0 pe baza constrângerilor și a beneficiilor. În final se prezintă modul în care mașini de prelucrare clasice se pot transforma în mașini inteligente și cum pot fi integrate într-o linie de producție auto-organizată.

CUPRINS

Notații, abrevieri, acronime	7
Lista tabelor	8
Lista figurilor	9
Oportunitatea, obiectivele și conținutul tezei	13
1. Stadiul actual privind implementarea sistemului Industry 4.0	17
1.1. Aspecte istorice privind dezvoltarea industrială	17
1.2. Adoptarea conceptului Industry 4.0 pentru a defini cea de-a patra revoluție industrială	19
1.3. Schimbări aduse de Industry 4.0 în producția industrială	24
1.3.1. Mediul în care operează firmele care aderă la conceptul Industry 4.0	25
1.3.2. Principalele caracteristici ale producției în fabricile inteligente	26
1.3.3. Principiile implementării sistemului de producție Industry 4.0 în companii	33
1.3.4. Concluzii	38
2. Analiza contextului în care operează firma	39
2.1. Metoda de cercetare utilizată	39
2.2. Poziționarea FIRMEI în contextul național	39
2.3. Percepția generală a respondenților privind sistemul de producție Industry 4.0.	42
2.4. Percepția privind factorii care accelerează implementarea sistemului de producție Industry 4.0	44
2.5. Percepția privind factorii care pot frâna implementarea sistemului de producție Industry 4.0	57
2.6. Concluzii și contribuții personale	72
3. Stabilirea unei metodologii de implementare a sistemului Industry 4.0	75
3.1. Modelul propus privind implementarea Industry 4.0	75
3.2. Nivelul de maturitate al firmei în conceptul Industry 4.0	75
3.2.1. Produsele firmei	76
3.2.2. Infrastructura de producție	81
3.2.3. Strategia și organizarea	86
3.2.4. Lanțul de aprovizionare și distribuție	91
3.2.5. Modelul de business	95
3.2.6. Securitatea și protecția datelor	101
3.3. Stabilirea elementelor asupra cărora trebuie acționat pentru a atinge gradul de maturitate dorit	105
3.4. Stabilirea dependențelor cronologice între activități și structurarea unor programe de implementare	113
3.5. Reguli de stabilire a priorității acțiunilor desfășurate în vederea stabilirii celui mai rațional traseu de implementare a Industry 4.0	120
3.6. Concluzii și contribuții personale	123
4. Studiu privind integrarea unui sistem cyber-fizic într-o linie de fabricație auto-organizată	126
4.1. Descrierea liniei de fabricație	126
4.2. Implementarea senzorului optic	128
4.3. Algoritmul ALSO destinat monitorizării procesului de fabricație cu senzorul optic pentru descentralizarea deciziilor	131
4.4. Implementarea unui accelerometru pe o mașină CNC	135
4.5. Algoritmul ALMA destinat monitorizării procesului de fabricație cu un accelerometru în vederea descentralizării deciziilor	136

4.6. Concluzii și contribuții personale	143
5. Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de dezvoltare ale cercetărilor	145
5.1. Concluzii generale	145
5.2. Contribuții personale	147
5.3. Diseminarea rezultatelor cercetării	148
5.4. Direcții viitoare de cercetare	149
 Bibliografie	 150
 Anexe	 158
Anexa 1	158
Anexa 2	159
Anexa 3	160
Anexa 4	164

Notații, abrevieri, acronime

A	Amplitudinea vibrației
A _{OPER}	Amplitudinea limită în cazul funcționării normale a mașinii
ALMA	Algoritmul destinat luării deciziilor în cazul monitorizării procesului de fabricație cu un accelerometru
ALSO	Algoritmul destinat luării deciziilor în cazul monitorizării procesului de fabricație cu senzorul optic
C_i	costul total al acțiunii i
C_{ij}	costul acțiunii i în luna j
C_{total}	costul total al implementării Industry 4.0
CNC	Comandă numerică (<i>Computer Numerical Control</i>)
CPPS	Sisteme de producție cyber-fizice (<i>Cyber-Physical Production Systems</i>)
CPS	Sisteme cyber-fizice (<i>Cyber-Physical Systems</i>)
GDPR	Reglementări privind protecția datelor (<i>General Data Protection Regulation</i>)
i	numărul de ordine al acțiunilor desfășurate în vederea atingerii gradului de maturitate țintă
IoP	Internetul persoanelor (<i>Internet of People</i>)
IoT	Internetul lucrurilor (<i>Internet of Things</i>)
j	numărul de ordine lunii în care se desfășoară acțiuni derulate în vederea atingerii gradului de maturitate țintă
k_j	cheltuiala efectuată în luna j
k_{total}	cheltuiala totală efectuată pentru implementarea Industry 4.0
LAN	Rețea locală de calculatoare conectate de obicei prin Ethernet (<i>Local Area Network</i>)
LASER	Amplificarea luminii prin stimularea emisiei de radiație (<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>)
M	numărul de luni stabilite pentru atingerea nivelului țintă de maturitate Industry 4.0
MGI-IDI	Indicele de Digitizare a Industriei propus de McKinsey Global Institute (<i>MGI-Industry Digitisation Index</i>)
N	numărul total de acțiuni necesare pentru atingerea nivelului țintă de maturitate Industry 4.0
p2p	Vârf la vârf (<i>peak to peak</i>) – modul în care se consideră amplitudinea semnalului
RMS	Media pătratică (<i>Root Mean Square</i>) a unui semnal
SAD	Sursă de alimentare dublă
SF	Fabrica inteligentă (<i>Smart factory</i>)
SNM	Rețeaua socială a mașinilor (<i>The Social Network of Machines</i>)
SNP	Rețeaua socială a persoanelor (<i>The Social Network of People</i>)
SNT	Rețeaua socială a obiectelor (<i>The Social Network of Things</i>)
SPP	Sistemul de planificare a producției
SOP	Sistemul de organizare a producției
TE	Ingineria aplicată pe întreg ciclul de fabricare și durată de viață a produsului (<i>Through-Engineering</i>)
VI	Instrument virtual (<i>Virtual Instrument</i>)
WAN	Rețea de calculatoare cu distribuție geografică largă (<i>Wide Area Network</i>)
WiFi	Numele comercial pentru tehnologiile radio construite pe baza standardelor de comunicație din familia IEEE 802.11
WSAN	Rețea de senzori și actuatori wireless (<i>Wireless Sensor and Actuator Network</i>)

Lista tabelelor

Tabelul 1.1	Bugetele unor țări europene pentru finanțarea politicilor naționale de stimulare a implementării Industry 4.0	21
Tabelul 2.1	Tipul de companii după cifra de afaceri și număr de angajați.....	40
Tabelul 2.2	Distribuția firmelor în funcție de anul înființării	41
Tabelul 2.3	Factorii care dinamizează implementarea Industry 4.0 – abordare sintetică	45
Tabelul 2.4	Factorii care dinamizează implementarea Industry 4.0 după Szabó și colaboratorii	46
Tabelul 2.5	Oportunități oferite de Industry 4.0 care dinamizează implementarea sistemului.....	47
Tabelul 2.6	Efectul factorilor agregați pe domenii asupra Industry 4.0.....	56
Tabelul 2.7	Bariere în implementarea Industry 4.0	57
Tabelul 2.8	Factorii care frânează implementarea Industry 4.0	59
Tabelul 2.9	Bariere în implementarea Industry 4.0 după Müller și colaboratorii	60
Tabelul 2.10	Efectul factorilor agregați pe domenii asupra frânării implementării Industry 4.0.....	71
Tabelul 3.1	Nivelele propuse pentru domeniul <i>produsele firmei</i>	79
Tabelul 3.2	Nivelele propuse pentru domeniul <i>infrastructură</i>	84
Tabelul 3.3	Nivelele propuse pentru domeniul <i>strategia și organizarea</i>	89
Tabelul 3.4	Nivelele propuse pentru domeniul <i>lanțul de aprovizionare și distribuție</i>	93
Tabelul 3.5	Nivelele propuse pentru domeniul <i>modelul de business</i>	98
Tabelul 3.6	Nivelele propuse pentru domeniul <i>securitatea și protecția datelor</i>	102
Tabelul 3.7	Acțiuni propuse care implică activități de formare-instruire	115
Tabelul 3.8	Acțiuni propuse care necesită achiziții	116
Tabelul 3.9	Acțiuni propuse care constituie măsuri organizatorice	117
Tabelul 3.10	Ordinea priorității rezultatelor așteptate din implementarea Industry 4.0	123
Tabelul 4.1	Deplasările și tensiunile măsurate în timpul procesului de calibrare	130

Lista figurilor

Figura 1.1	Caracteristicile celor patru revoluții industriale	18
Figura 1.2	Țările din Uniunea Europeană care au programe naționale de implementare Industry 4.0	22
Figura 1.3	Exemple de țări care au programe naționale de implementare Industry 4.0	23
Figura 1.4	Țări care au implementate strategii naționale de creștere economică	23
Figura 1.5	Numărul articolelor care menționează politici naționale.....	24
Figura 1.6	Mediul în care operează fabrica inteligentă în contextul Industry 4.0	25
Figura 1.7	Schema unor linii de fabricație lungi ce implică prelucrări similare.....	26
Figura 1.8	Schema unor linii de fabricație divizate prin gruparea pe tipuri de prelucrări	27
Figura 1.9	Cei nouă piloni ai Industry 4.0	28
Figura 1.10	Frecvența apariției celor nouă piloni ai Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019	29
Figura 1.11	Frecvența apariției pilonilor Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019 pe itemi	29
Figura 1.12	Frecvența apariției pilonilor Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019 pe ani	31
Figura 1.13	Principiile implementării Industry 4.0	33
Figura 1.14	Pașii de parcurs la implementarea conceptului Industry 4.0 (adaptare după Hermann et al.)	35
Figura 1.15	Indicatorului de maturitate Industry 4.0 Acatech	35
Figura 1.16	Indicator global de maturitate Industry 4.0	36
Figura 1.17	Indicator specific de maturitate Industry 4.0 pentru domeniul Strategie	36
Figura 1.18	Indicator agregat de maturitate Industry 4.0	37
Figura 2.1	Structura firmelor care au răspuns la chestionar pe domenii de activitate	40
Figura 2.2	Comparație între productivitate și nivelul de inovare a produselor.....	41
Figura 2.3	Experiența respondenților în companiile chestionate	42
Figura 2.4	Nivelul de cunoaștere a conceptului Industry 4.0 în rândul angajaților companiilor	43
Figura 2.5	Domeniile/practicile Industry 4.0 prioritare în firmă	43
Figura 2.6	Domeniile care cuprind practicile Industry 4.0 prioritare în firmă	48
Figura 2.7	Modul în care factorul <i>Concurența în creștere</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	49
Figura 2.8	Modul în care factorul <i>Productivitatea și eficiența economică</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0.....	49
Figura 2.9	Modul în care factorul <i>Utilizarea judicioasă a resurselor</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0.....	50
Figura 2.10	Modul în care factorul <i>Așteptările clienților</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	51

Figura 2.11	Modul în care factorul <i>Creșterea nivelului de inovare al produselor</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	51
Figura 2.12	Modul în care factorul <i>Crearea valorii prin noi servicii</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	52
Figura 2.13	Modul în care factorul <i>Sprijin pentru activități de management</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0 ...	53
Figura 2.14	Modul în care factorul <i>Inovarea privind modelul de afaceri</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	53
Figura 2.15	Modul în care factorul <i>Satisfacerea nevoilor angajaților</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	54
Figura 2.16	Modul în care factorul <i>Satisfacerea nevoilor angajaților</i> este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0	55
Figura 2.17	Percepția companiilor privind ponderea celor zece factori analizați care stimulează implementarea Industry 4.0.....	55
Figura 2.18	Importanța acordată domeniilor care caracterizează practicile Industry 4.0.....	56
Figura 2.19	Domeniile care cuprind factorii care pot inhiba implementarea Industry 4.0	60
Figura 2.20	Modul în care factorul <i>Rezistență organizațională – opoziție la schimbare</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	61
Figura 2.21	Modul în care factorul <i>Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	62
Figura 2.22	Modul în care factorul <i>Lipsa resurselor financiare</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	63
Figura 2.23	Dependența dintre criteriile <i>Lipsa resurselor financiare</i> și <i>Îngrijorare legată de proprietatea datelor</i>	63
Figura 2.24	Modul în care factorul <i>Îngrijorare legată de securitatea cibernetică</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0...	64
Figura 2.25	Modul în care factorul <i>Îngrijorare legată de proprietatea datelor</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	65
Figura 2.26	Modul în care factorul <i>Provocări legate de analiza/ integrarea datelor din surse disparate</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	66
Figura 2.27	Analiza modului în care factorul <i>Lipsa resursei umane</i> este asociat cu <i>Provocările legate de analiza/integrarea datelor din surse disparate</i>	66
Figura 2.28	Modul în care factorul <i>Lipsa voinței de a face parte din lanțuri de producție</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	67
Figura 2.29	Modul în care factorul <i>Lipsa unei platforme de colaborare între organizații</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	67
Figura 2.30	Modul în care factorul <i>Lipsa echipamentelor și tehnologiilor necesare implementării schimbării</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	68
Figura 2.31	Analiza modului în care factorul <i>Lipsa resurselor financiare și Lipsa echipamentelor și tehnologiilor necesare implementării schimbării</i> se influențează reciproc	69

Figura 2.32	Modul în care factorul <i>Lipsa modelelor de business sau a exemplelor de bune practici</i> este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0.....	69
Figura 2.33	Analiza modului în care respondenții asociază criteriile <i>Srijin pentru activități de management și Lipsa modelelor de business</i>	70
Figura 2.34	Percepția companiilor privind ponderea celor zece factori analizați care frânează implementarea Industry 4.0.....	70
Figura 2.35	Relevanța domeniilor care pot frâna implementarea Industry4.0	71
Figura 3.1	Modelul parcursului de implementare a Industry 4.0.....	75
Figura 3.2	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pentru domeniul <i>produsele firmei</i>	81
Figura 3.3	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pentru domeniul <i>infrastructură</i>	86
Figura 3.4	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pentru domeniul <i>strategia și organizarea</i>	89
Figura 3.5	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pentru domeniul <i>lanțul de aprovizionare și distribuție</i>	95
Figura 3.6	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pentru domeniul <i>modelul de business</i>	100
Figura 3.7	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pentru domeniul <i>securitatea și protecția datelor</i>	104
Figura 3.8	Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pe domenii	105
Figura 3.9	Notarea acțiunilor în funcție de necesitatea derulării în prealabil a altor acțiuni	114
Figura 3.10	Acțiuni ce au în vedere <i>Colaborare internă și externă</i>	119
Figura 3.11	Acțiuni ce au în vedere <i>Sistemul informatic, decizional și securitatea</i>	119
Figura 3.12	Acțiuni ce au în vedere <i>Dezvoltarea și promovarea produselor</i> ...	119
Figura 3.13	Acțiuni ce au în vedere <i>Fabricația</i>	119
Figura 3.14	Matricea-program de stabilire a momentului implementării acțiunilor	121
Figura 4.1	Schema unui WAN global care integrează LAN-ul firmei	126
Figura 4.2	Schema unui LAN care include și mașinile-unelte din linia de fabricație analizată	127
Figura 4.3	Schema fluxului de material și de informații pentru linia de fabricație analizată	127
Figura 4.4	Mașina-unealtă și senzorul laser LG10A56PU cu focalizare pe piesa de prelucrat	128
Figura 4.5	Sistemul de achiziție constând din senzorul optic LG10A56PU, sistemul de achiziție multifuncțional NI USB-6259 M și sursa de alimentare dublă SAD	129
Figura 4.6	Interfața aplicației Measurement & Automation cu indicarea datelor pentru deplasarea capătului liber al piesei cu 0,85 mm .	130
Figura 4.7	Monitorizarea pe termen lung a procesului de fabricație și înregistrarea numărului de piese procesat	131
Figura 4.8	Detaliu asupra semnalului achiziționat pentru un ciclu de prelucrare	134
Figura 4.9	Detaliu asupra semnalului achiziționat pentru o trecere când procesul se desfășoară normal	134

Figura 4.10	Detaliu asupra semnalului achiziționat pentru o trecere când e depășită limita impusă deplasării datorită uzurii sculei sau funcționării necorespunzătoare a mașinii	135
Figura 4.11	Mașina CNC și sistemul de măsurare a vibrațiilor	136
Figura 4.12	Exemplu pentru un semnal achiziționat de la accelerometru în timpul procesului de fabricație	137
Figura 4.13	Exemplu pentru un semnal achiziționat de la accelerometru în timpul procesului de fabricație și limitele amplitudinilor pentru diverse stări ale mașinii	137
Figura 4.14	Exemple de funcționare normală și anormală a mașinii cu indicarea limitelor de avertizare și oprire	138
Figura 4.15	Definirea timpului minim TI și maxim TS necesar prelucrării piesei pe mașina CNC	139
Figura 4.16	Arborele de clasificare și decizie care stă la baza algoritmului ALMA	139
Figura 4.17	Algoritmul ALMA sub formă de schemă logică	140

Oportunitatea, obiectivele și conținutul tezei

Modul în care s-a dezvoltat societatea actuală are la origine câteva cicluri de revoluții industriale. Progresul adus de aceste revoluții a permis în decursul timpului o globalizare a tehnologiilor industriale, ceea ce a avut drept consecință dezvoltarea unui sistem de producție economică tot mai ramificat și interconectat. În ultima perioadă transformarea digitală își pune tot mai pregnant amprenta pe modul de producție, în prezent se poate vorbi chiar de era digitală a tehnologiei industriale.

În acest context, tema de cercetare „Contribuții privind stabilirea traseului de implementare a conceptului Industry 4.0 în cadrul firmelor mici și mijlocii” își propune să analizeze stadiul în care se află o firmă românească din punct de vedere al implementării conceptului Industry 4.0, așa-numita maturitate a firmei, și să propună un traseu coerent de urmat pentru implementarea acestui concept în funcție de disponibilitatea și potențialul firmei. Din acest motiv, studiul își propune să analizeze modul în care firme românești, parteneri ale firmei analizate, sunt pregătite pentru transformarea impusă de sistemul Industry 4.0 și disponibilitatea acestora de a colabora în noua logică de dezvoltare.

Oportunitatea cercetărilor efectuate rezidă din lipsa informațiilor legate de modul în care firmele românești abordează cea de-a patra revoluție industrială și de stadiul în care se află acestea în implementarea transformărilor impuse de această revoluție. Globalizare implică ca firmele să își adapteze și compatibilizeze sistemele și metodele de lucru, motiv pentru care este important să avem o imagine a firmelor românești în context mondial, dar mai ales regional. Lipsa reglementărilor specifice sau a programelor naționale care să încurajeze firmele să adopte conceptul Industry 4.0, precum și lipsa modelelor de succes, dacă acestea există, face ca acest studiu să fie cu atât mai important.

Pentru a determina poziția firmei în context național și internațional și a stabili un traseu coerent de implementare a sistemului Industry 4.0 am definit următoarele obiective ale tezei:

- studiul literaturii științifice și a documentelor normative care se referă la fenomenul Industry 4.0;
- identificarea principalilor factori care pot stimula managementul firmelor românești să grăbească implementarea sistemului Industry 4.0 și ierarhizarea acestora în funcție de relevanță pentru firmele românești;
- identificarea principalelor bariere care pot inhiba implementarea sistemului Industry 4.0 și ierarhizarea acestora în funcție de relevanță pentru firmele românești;
- stabilirea indicatorilor de maturitate care caracterizează cel mai bine firma analizată și definirea nivelurilor de maturitate și a nivelurilor țintă;
- definirea acțiunilor necesare a fi derulate pentru implementarea Industry 4.0 și identificarea limitărilor existente în procesul de implementare;
- definirea unui model de implementare a Industry 4.0 și exemplificarea utilizării acestuia prin stabilirea ordinii implementării acțiunilor în funcție de limitările identificate și de resursele disponibile;
- dezvoltarea unui echipament care permite transformarea unei mașini clasice în sistem cyber-fizic și stabilirea unor algoritmi de analiză și raportare a evenimentelor;
- diseminarea rezultatelor cu caracter științific și practic obținute în urma cercetării.

Teza, care prezintă cercetări prin care se urmărește îndeplinirea obiectivelor propuse, este structurată pe 5 capitole având ca punct de plecare cercetările, prezentate în literatura de specialitate. Aceasta continuă cu o analiză a stării unor firme românești privind maturitatea acestora din punctul de vedere al adoptării sistemelor și metodelor care corespund paradigmei Industry 4.0. Concluziile formulate permit trasarea unui parcurs de urmat de către firma în cauză, care să permită parcurgerea pașilor către implementarea conceptelor Industry 4.0 coerent, cu efort minim și rezultate maximizate. În încheiere se prezintă principalele concluzii desprinse în urma cercetărilor efectuate și se evidențiază contribuțiile personale. O detaliere a conținutului capitolelor tezei este redată în continuare.

Capitolul 1 "Stadiul actual privind implementarea sistemului INDUSRTY 4.0", prezintă mai întâi aspecte istorice privind dezvoltarea industrială și etapele parcurse, desemnate în literatura de specialitate ca revoluții industriale. Este apoi analizată cea de-a patra revoluție, cunoscută sub denumirea de Industrie 4.0 sau Industry 4.0, care se caracterizează prin exploatarea noilor tehnologii precum digitalizarea și lumea virtuală, sensoristica și Internetul. Acestea permit integrarea în cadrul companiilor a proceselor tehnice cu cele de afaceri rezultând fabricația inteligentă.

În continuare sunt prezentate abordări și strategii naționale legate de implementarea Industry 4.0, atât pentru țări din Europa cât și pentru țări din America și Asia. Schimbările aduse de această nouă revoluție, aflată în plină desfășurare, se doresc a avea un efect pozitiv asupra eficienței și a sustenabilității producției industriale, cu implicații directe asupra relațiilor sociale și a calității vieții. La finalul capitolului sunt prezentate principiile care stau la baza implementării Industry 4.0 și se prezintă un traseu clasic de adoptare a acestui sistem.

În Capitolul 2, intitulat "Analiza contextului în care operează firma", se investighează mediul în care operează FIRMA (denumire data societății analizate pentru anonimizare) și se evaluează poziția acesteia în cadrul partenerilor. În acest demers sunt analizate 31 de companii care activează în diverse industrii și care au dimensiuni diferite. Analiza s-a efectuat prin aplicarea unui chestionar care conține trei părți distincte. În urma studiului s-a constatat că nivelul de cunoaștere legat de fenomenul Industry 4.0 este limitat, dar numeroase elemente care duc la implementarea noului sistem sunt deja abordate de firme. Disponibilitatea managerilor de a colabora în sensul propus de conceptul Industry 4.0 a fost exprimată în mod hotărât, ceea ce încurajează FIRMA în demersul de implementare a noului sistem. Factorii decisivi care determină managementul să se gândească la implementarea Industry 4.0 sunt eficiența și piața. Există însă și temeri legate de implementare, din studiul efectuat a rezultat că principalele îngrijorări sunt legate de lipsa resursei umane capabile să determine transformarea și securitatea datelor. Un aspect pozitiv este faptul că lipsa resurselor financiare nu reprezintă o temere majoră pentru marea majoritate a managerilor firmelor analizate, ceea ce indică disponibilitate pentru colaborarea în contextul Industry 4.0.

Rezultatele analizei au fost comparate cu cele ale unor studii prezentate în literatura de specialitate, efectuate în țări cu o dezvoltare istorică similară cu România, dar și în alte țări europene. Abordarea managerilor firmelor românești este destul de asemănătoare cu cea a managerilor din străinătate, ierarhizarea factorilor stimulativi și a barierelor fiind asemănătoare.

Din studiu s-a desprins ideea că FIRMA și partenerii acesteia supuși analizei acceptă implementarea sistemul Industry 4.0, respectiv colaborarea în acest context al organizării producției. Prin urmare, este oportună trasarea unui parcurs al implementării, care însă trebuie să țină seama pe de o parte de resursele disponibile ale FIRMEI, dar și de domeniile în care partenerii sunt pregătiți să coopereze.

Capitolul 3 "Stabilirea traseului firmei în implementarea sistemului INDUSRTY 4.0", pornește de la rezultatele obținute în capitolul anterior. Constatându-se că partenerii FIRMEI înțeleg transformarea digitală și au deschidere pentru o colaborare conform noii paradigme, iar firma are deschiderea necesară pentru a trece la sistemul Industry 4.0 cu toate implicațiile financiare, este necesar să se stabilească întâi nivelul de maturitate la care se află firma la momentul actual. În urma unei cercetări de birou dar și a discuțiilor cu managerii și responsabilii din diverse compartimente, au fost identificate nivelele de maturitate la care firma se încadrează în prezent, pe șase domenii împărțite pe 35 de subdomenii. Tot în acest subcapitol, în urma discuțiilor cu managementul firmei, au fost stabilite țintele de atins în momentul în care sistemul Industry 4.0 este implementat în FIRMA.

Trecerea la un nivel de maturitate superior presupune îndeplinirea unor cerințe, ceea ce implică acțiuni specifice. Pentru toate subdomeniile identificate au fost inventariate cerințele, care pot fi asimilate cu rezultatele așteptate. Fiecărei cerințe i s-a asociat una sau mai multe acțiuni. În cazul în care nivelul actual de maturitate este ridicat și criteriul este îndeplinit din start, acțiunile necesare nu mai sunt luate în considerare. Acțiunile sunt apoi grupate în funcție natura lor (training, achiziții, elaborare proceduri și strategii etc.) și sunt stabilite legăturile cronologice dintre acestea, precum și nivelul costurilor necesare pentru implementare.

La implementarea acțiunilor au fost stabilite patru tipuri de limitări, constând în limitări legate de: cronologia acțiunilor, durata minimă a acțiunilor, necesarul de resurse financiare și necesarul de resurse umane. Utilizând informațiile legate de acțiunile necesare pentru implementarea Industry 4.0 se elaborează un model de stabilire a care permite eșalonarea acțiunilor în timp în condiții suportabile de utilizare a resurselor financiare și umane. Spre deosebire de modelele existente, modelul propus privește tranziția în mod global și are avantajul că elimină redundanțe și necesitatea corectării și ajustării acțiunilor în funcție de istoricul tranziției.

Capitolul 4 "Studiu de caz privind integrarea unei mașini-unelte clasice într-o linie de fabricație auto-organizată conform sistemului INDUSRTY 4.0", prezintă un exemplu de transformare a producției pe o linie de fabricație clasică într-una controlată cu ajutorul sistemelor instrumental-informatic, capabilă să se organizeze autonom și să stabilească nevoia de intervenție umană în cazul funcționării anormale sau pentru a asigura mentenanța. Această transformare este găsită ca fiind necesară în studiul prezentat în capitolul trei, la domeniul *infrastructură*.

Linia de fabricație utilizată ca un prim exemplu constă din trei utilaje, constând dintr-o mașină de debitat, o freză universală și o mașină pe care se assemblează componente dintre care unul este produs pe freză. Scopul cercetării îl constituie implementarea unui senzor optic și dezvoltarea algoritmului ALSO într-un program informatic care să permită mașinii să cunoască starea proprie și să genereze date care pot fi transmise către diverse compartimente ale firmei (producție, contabilitate, mentenanță etc.) pentru a informa factorii decidenți asupra stării mașinii și a cantității de piese realizate. La intervale de timp stabilite se pot genera și rapoarte legate de numărul de produse realizate, de cantitatea rebuturilor, respectiv de timpii de funcționare, mentenanță și staționare.

Un al doilea exemplu constă în utilizarea accelerometrelor amplasate pe mașini cu comandă numerică și dezvoltarea unui algoritm (ALMA) bazat pe un arbore de clasificare și decizie care a fost realizat pentru a permite identificarea și transmiterea informațiilor legate de starea mașinii, a producției și a gradului de utilizare a mașinii.

Datele obținute și prelucrate în acest fel excedează cele obținute în mod obișnuit pentru mașini chiar complexe și dotate cu senzori standard, care oferă doar informații despre parametrii mașinii (presiune ulei, consum energie electrică etc.), fiind utile și unor departamente care nu au legătură nemijlocită cu producția.

Informațiile pot fi transmise și altor mașini în timp real, iar dacă programele informatice sunt înglobate într-un program global de organizare a producției, fluxul de producție devine auto-organizat.

Capitolul 5 "Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de dezvoltare ale cercetărilor" reflectă rezultatele studiilor efectuate, prezentând principale concluzii desprinse în urma cercetărilor efectuate și contribuțiile originale relevante. Sunt de asemenea identificate și enumerate principalele direcții în care pot fi dezvoltate cercetări viitoare.

Lucrarea se încheie cu lista referințelor bibliografice și cu anexele, care prezintă programele naționale legate de Industry 4.0 din țările Uniunii Europene, lista firmelor și chestionarul aplicat acestora și nivelele de maturitate actuale versus cele propuse a fi atinse de FIRMĂ.

1. Stadiul actual privind implementarea sistemului INDUSRTY 4.0

1.1. Aspecte istorice privind dezvoltarea industrială

Modul în care s-a dezvoltat societatea actuală are la origine câteva cicluri de revoluții industriale. Progresul adus de aceste revoluții a permis în decursul timpului o globalizare a tehnologiilor industriale, ceea ce a avut drept consecință dezvoltarea economică și socială a multor țări care modelează azi piața mondială. Sintagma *Revoluție Industrială* a provocat în comunitatea științifică discuții aprinse despre geneza și interpretarea sa. Termenul a fost acceptat pe scară largă ca un element reprezentativ al fazelor diferențiate de dezvoltare a capacității tehnologice productive prin intermediul creativității ca factor cheie de creștere, dezvoltarea și schimbare a societății umane și a mediului. Revoluțiile industriale se bazează pe un set de invenții majore, care au permis o accelerare a invențiilor la diverse niveluri (Mokyr, 1985).

Prima revoluție industrială apare odată cu antrenarea capacităților de producție cu energia cinetică produsă de surse de energie termică la sfârșitul secolului al XVIII-lea. Până atunci, ideea creșterii productivității prin legarea celor două forme de energie părea imposibilă. Primele războaie de țesut mecanice create de Henry Cort în 1784 au creat contextul inițierii primei revoluții industriale. Astfel, introducerea motoarelor cu aburi care permit producția mecanizată în industria textilelor, care a început în Marea Britanie și s-a răspândit apoi în Europa și în restul lumii, a înlocuit munca fizică laborioasă desfășurată de indivizi sau grupuri restrânse de indivizi în diferite locații. Prin inovația oferită de această revoluție, indivizii s-au grupat în jurul surselor de energie mecanică obținute prin conversia energiei termice. Astfel a început o nouă eră, în orașele mari au început să apară fabrici, iar o schimbare a economiei a avut loc prin trecerea de la activitatea preponderent agricolă la producția industrială (Albert, 2015; Kagermann, 2015).

Apariția celei de-a doua revoluții industriale este datată de obicei în anul 1870 (Mokyr, 1998), fiind o consecință a perioadei fertile de inovare între 1859 și 1873 (Mowery și Rosenberg, 1989). Principala inovație a fost acționarea mijloacelor de producție cu energie electrică, fiind astfel posibilă o acționare mai precisă a echipamentelor (Hughes, 1993). Introducerea benzilor transportoare acționate cu energie electrică au modificat modul de producție. Cel mai relevant exemplu este linia de asamblare a automobilelor concepută de Henry Ford, care a permis aprovizionarea cu componente interschimbabile provenite de la diferiți furnizori (Hounshell, 1985). Muncitorii erau folosiți pentru a monta o singură piesă după care mașina trecea la următoarea stație de montaj. A apărut astfel *diviziunea muncii* care a favorizat producția de masă. Prin urmare, pe lângă utilizarea unei noi forme de energie pentru acționarea echipamentelor industriale a apărut și un nou mod de organizare a producției. Noile tehnologii nu au dus automat la o creștere rapidă a productivității muncii. Unii istorici consideră că managerii au avut nevoie de timp pentru adaptarea la noile realități. Un factor și mai important este acela că fabricile au trebuit reorganizate pentru a fi adaptate la condițiile impuse de noile tehnologii. Deci, creșterea economică nu a avut loc odată cu dezvoltarea tehnologică ci a fost nevoie de o perioadă de tranziție (Atkeson & Kehoe, 2001).

La sfârșitul anilor 1960, odată cu intrarea într-o nouă etapă de dezvoltare tehnologică, a fost posibilă automatizarea proceselor de producție pe scară largă. Aceasta s-a făcut prin integrarea tehnologiei informației cu electronica. Din acest motiv, startul celei de-a treia revoluții industriale este considerat a fi dat de introducerea în dotarea echipamentelor a Controlerului Logic Programabil, care este un calculator digital industrial robust și adaptat pentru controlul proceselor de producție cum ar fi linii flexibile sau roboții industriali. A fost astfel posibil ca mașinile să fie programate încât să efectueze activități care necesită repetabilitate, precizie și totodată să diagnosticheze erorile de proces. Rezultatul a fost obținerea de produse de calitate superioară, fiabile, în condițiile creșterii substanțiale a productivității muncii. Accentul în această etapă este pus pe echipamentele de producție care au permis scăderea costului forței de muncă cu impact major asupra structurii calificărilor și a salariilor angajaților. Ca urmare a schimbărilor tehnologice s-au dezvoltat noi modele de competențe și afaceri pentru a face față ritmului în creștere al inovației tehnologice, fiind necesară adaptarea în care tehnologia informației a jucat un rol important (Nof, 2009; Brynjolfsson și McAfee, 2011).

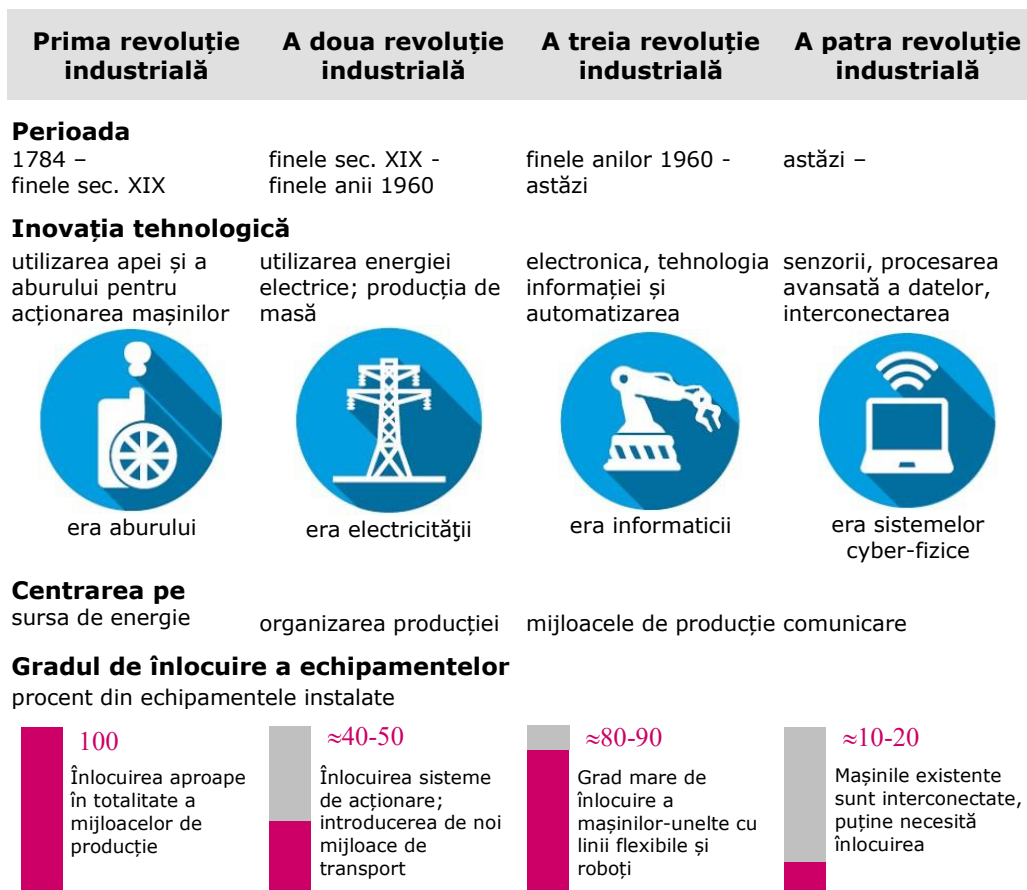


Figura 1.1: Caracteristicile celor patru revoluții industriale

A patra revoluție industrială are ca principală caracteristică demersul de integrare a Sistemelor Cyber-Fizice (Cyber-Physical Systems - CPS) cu tehnologia informației și a comunicării în procesele industriale de fabricație și logistică. Această integrare va reprezenta o schimbare în organizarea clasică a lanțurilor de producție și va duce la dezvoltarea de noi modele de afaceri (Kang et al., 2016; Cimini et al., 2017a). Schimbările ce survin fac necesară nu doar schimbarea sistemelor de producție, dar vor avea un efect profund asupra societății și a persoanelor în particular, prin schimbarea relațiilor de producție (Morrar et al., 2017).

Figura 1.1 descrie sintetic cele patru mari transformări survenite în lumea modernă în urma introducerii inovațiilor în sistemele de producție. Trebuie remarcat faptul că nu există un consens general privind clasificarea și desemnarea acestor patru etape de dezvoltare a societății actuale. Spre exemplu, unii cercetători includ producția de masă în prima revoluție industrială. Există controverse și în ceea ce privește a patra revoluție industrială, care este considerată de unii specialiști ca o simplă conectare a sistemului digital cu lumea fizică, conectare desemnată ca Internetul Lucrurilor (Internet of Things - IoT). Prezenta teză este dedicată cercetării conceptului de Industry 4.0, acest fenomen fiind considerat în ansamblul său ca fiind urmarea primelor trei revoluții industriale.

1.2. Adoptarea conceptului Industry 4.0 pentru a defini cea de-a patra revoluție industrială

Industria 4.0, sau Industry 4.0 cum este mai larg cunoscut termenul provenit din limba engleză, este o inițiativă strategică a guvernului federal german care în mod tradițional sprijină dezvoltarea din sectorul industrial. Nu este surprinzător faptul că acest concept vine din Germania, deoarece această țară are una dintre cele mai competitive industrii manufacturiere din lume, fiind chiar unul din liderii mondiali în sectorul echipamentelor de producție. Conceptul, care a fost prezentat pentru prima dată la Târgul de la Hanovra în anul 2011, poate fi privit ca o acțiune de susținere a poziției Germaniei pe piața mondială (Roblek et al., 2016; Vogel-Heuser and Hess, 2016). Din momentul prezentării, conceptul Industry 4.0 este în Germania un subiect de discuție comun în cercetare, comunități academice și industriale în diferite ocazii. Ideea principală este să se exploateze potențialul noilor tehnologii și concepte precum:

- utilizarea Internetului și cu accent pe Internetul Lucrurilor;
- integrarea în cadrul companiilor a proceselor tehnice cu cele de afaceri;
- digitalizarea și virtualizarea lumii reale;
- fabricația inteligentă, care include mijloace inteligente de producție industrială și produse "inteligente".

Deși termenul Industrie 4.0 este german, nu toate componente incluse în concept sunt dezvoltate în Germania, unele dintre ele fiind deja utilizate în alte țări avansate cum ar fi de exemplu SUA. De fapt, toate țările industrializate își canalizează eforturile în aceeași direcție, și anume să concentreze cele mai recente și avansate tehnologii pentru a sprijini luarea deciziilor corecte și eficiente bazate pe informații în timp real, prin implementarea diferitelor componente ale tehnologiei informației și comunicării în tehnologiile de fabricație existente (Kang et al., 2016). Datorită importanței acestei tranziții pentru poziția unei țări pe piață într-un context global, guvernele țărilor avansate industrial dar și firme puternice au întreprins inițiative de sprijinire a tranziției spre o industrie competitivă. Industry 4.0, ca prima inițiativă lansată în Germania, a constituit o sursă de inspirație pentru alte țări.

Un concept similar a fost introdus în SUA de compania General Electric la sfârșitul anului 2012, denumit „the Industrial Internet” (Lee, 2015), sau Internetul Industrial. Conceptul ia în calcul o integrare strânsă a lumii fizice cu cea digitală, implicând Big data și Internetul Lucrurilor. Conceptul presupune un domeniu mult mai larg de aplicații ca Industry 4.0, incluzând generarea și distribuția energiei, asistență medicală, producție, sectorul public, transport și minerit. În cadrul consorțiului Industrial Internet, fondat de General Electric și alte companii, s-a estimat că 46% din costul total al producției în economia globală poate beneficia de Internetul industrial (Rojko, 2017).

Republica Coreea are unul dintre cele mai importante infrastructuri de producție și IT, dar acestea sunt insuficiente pentru dezvoltarea fabricilor inteligente. În plus, această țară se confruntă cu dificultăți în dezvoltarea programelor de calculator și a altor soluții software. De aceea, guvernul coreean a inițiat în anul 2014 un proiect intitulat "Innovation in manufacturing industry 3.0" pentru a obține competitivitate în sectoarele de producție prin convergența între fabrică și IT și a accelera dezvoltarea sistemului de fabrică inteligentă (Park, 2016). Unele companii au implementat deja sistemul de fabrici inteligente; cu toate acestea, procentul de implementare este încă foarte scăzut în comparație cu alte țări dezvoltate. În plus, regulamentele și politicile vechi pentru sectorul de producție reprezintă încă obstacole în calea dezvoltării de noi tehnologii pentru fabricile inteligente (Jeong Eun Ha, 2015).

Japonia, o altă țară dezvoltată tehnologic, a lansat în anul 2013 programul intitulat "Japan Revitalization Strategy", care ia în considerare zece reforme-cheie distribuite pe patru planuri: (1) Modificări la nivelul companiilor; (2) Modificări la nivelul țării; (3) Crearea condițiilor de dezvoltare; (4) Crearea de motoare de creștere a industriilor implicate în dezvoltarea regională. Pentru fiecare măsură au fost stabiliți indicatorii cheie de performanță (NISC, 2016).

În China, Ministerul Industriei și Tehnologiei Informației a inițiat, tot în 2015, în cooperare cu experți de la Academia de Inginerie din China inițiativa "Made in China 2025" (Wübbeke et al., 2016). Scopul principal al acestei inițiative este acela de a îmbunătăți în mod substanțial industria chineză prin preluarea conceptului Industry 4.0 și adaptarea acestuia la nevoile Chinei. Producția ar trebui să fie bazată pe inovare, iar elemente cum ar fi dezvoltarea durabilă și aspectele ecologice să dețină un rol mai important. Au fost identificate zece sectoare prioritare, printre care se numără tehnologia informației, robotica și mașini de prelucrare automată. Obiectivele pe termen lung sunt de trecere de la producția de masă cu valoare redusă la produse de înaltă tehnicitate și calitate.

Rusia încearcă și ea să își redefinească economia prin finanțarea programului "Digital Economy of the Russian Federation" lansat în vara anului 2017. Documentul a fost publicat sâmbătă pe site-ul guvernului. Programul, proiectat până în 2024, are o finanțare de 53,14 milioane dolari și include cinci domenii: standardizarea, educația și resursa umană, securitatea informatică, cercetarea și infrastructura IT (Akarkin, 2017; TASS, 2018).

Inspirate și încurajate de strategia Uniunii Europene privind "Digitalizarea industriei europene" (Digitizing European Industry), cele mai multe țări europene și-au dezvoltat strategii naționale de digitizare industrială și implementare a conceptului Industry 4.0. Tabelul 1.1 prezintă bugetele alocate de unele țări europene în perioada 2014-2017 pentru finanțarea politicilor naționale de stimulare a implementării conceptului Industry 4.0 și sursa de finanțare.

Tabelul 1.1: Bugetele unor țări europene pentru finanțarea politicilor naționale de stimulare a implementării Industry 4.0 (perioada 2014-2017)

Țara	Franța	Germania	Marea Britanie	Spania	Suedia	Italia	Olanda
Buget (mil. EUR)	10.000	200	164	97,5	50	45	25
Sursa de finanțare	Public și privat	Public și privat	Public și privat	Public	Public și privat	Public	Public și privat

Sursa: *Digital Transformation Monitor 2017*

În Franța, conceptul "Industrie du futur" a fost introdus în anul 2015 ca un nucleu al viitoarei politici industriale franceze. Acesta se bazează pe cooperarea dintre industrie și știință și este sprijinit pe cinci piloni: (1) tehnologii de vârf, inclusiv prototiparea rapidă, secții de producție virtuale, Internetul Lucrurilor și realitatea augmentată; (2) sprijinirea în special a companiilor franceze mici și mijlocii pentru a se adapta rapid la noile tehnologii; (3) formarea profesională a angajaților; (4) consolidarea cooperării internaționale în ceea ce privește standardele industriale; (5) promovarea industriei franceze (Cadix, 2017). În acest sens, termenul "Industrie du futur" corespunde unei viziuni mai puțin precise, dar este mai largi și mai diversificat decât Industry 4.0.

Inițiativa "Industria Conectada 4.0" face parte din agenda de consolidare a sectorului industrial din Spania. Ea a fost lansat în 2015 de către Ministerului Economiei, Industriei și Competitivității spaniol prin Secretarul General al Industriei și IMM-urilor. Prin această inițiativă sunt vizate patru direcții principale, care conduc la opt obiective strategice: (1) Conștientizare și educație - Formarea cunoștințelor despre Industry 4.0 și a beneficiilor sale, respectiv Asigurarea abilităților și competențelor legate de Industry 4.0; (2) Încurajarea colaborării multidisciplinare - Stimularea colaborării prin promovarea de medii și platforme adaptate nevoilor industriei și sunt concentrate pe tehnologia 4.0; (3) Creșterea sprijinului dat de tehnologia digitală - Stimularea cercetării, dezvoltării și inovării în domeniul tehnologiilor Industry 4.0, respectiv Sprijin dat dezvoltării afacerilor pentru furnizorii de tehnologie; (4) Sprijin acordat transformării digitale a industriei din domeniile strategice - Sprijinirea și consolidarea adoptării Industria 4.0 de către companii, Reglementarea cadrului privind standardizarea, respectiv Finanțarea proiectelor Industry 4.0 (Lazaro, 2017).

În Italia, Ministerul pentru Dezvoltare Economică a lansat planul național "Industria 4.0", o strategie care vizează sprijinirea schimbărilor industriale printr-o serie de măsuri convergente. Acestea urmăresc promovarea investițiilor în inovare, tehnologie și dezvoltarea abilităților și competențelor în concordanță cu necesitățile fixate de cea de-a patra revoluție industrială (Pinceti, 2018). Planul conține două măsuri strategice (Investiții inovative și Competențe) și două măsuri complementare (Infrastructuri suport și Măsuri suplimentare).

Sistemul federal belgian este foarte descentralizat în procesul de elaborare a politicilor, în special în ceea ce privește competențe pentru inovare și politici industriale. Datorită diferitelor responsabilități instituționale, inițiativele de digitizare a industriei au apărut la diferite niveluri: "Digital Belgium", la nivel federal, "Industrie 4.0" în regiunea Flandra și "Digital Wallonia" în regiunea Valonia. La nivel privat, inițiativa legată de implementarea conceptului Industry 4.0 în economia belgiană aparține federației belgiene de tehnologie (Agoria) și Centrului Colectiv de Cercetare

pentru Industria Tehnologică (Sirris), care au lansat acțiunea "Made Different". Aceasta se adresează tuturor companiilor din toate regiunile țării (Larosse, 2017-1).

În Olanda, sub impactul crizei economice, politica privind întreprinderile a trecut printr-o schimbare radicală începând cu anul 2010. Guvernul a dorit să își reducă intervenția directă și să joace un rol de facilitator, prin politici și instrumente generice. Subvențiile directe au fost reduse substanțial, fiind lansată o nouă politică industrială: politica sectorială de vârf. În acest fel s-a dorit creșterea influenței impactului cercetării-dezvoltării efectuat de sectorul public. Rol mai activ al guvernului în sprijinirea transformărilor care oferă soluții la provocările societății, precum și la oportunitățile competitive, s-a manifestat prin inițiativa "Smart Industry" lansată în 2015 (Larosse, 2017-2).

Polonia a adoptat în 2016 o foaie de parcurs economic intitulată "Responsible Development Plan", pilonii principali ai strategiei adoptate fiind Reindustrializarea, respectiv Dezvoltarea societăților inovatoare și a capitalului pentru dezvoltare. Ca parte a pilonului Reindustrializare, au fost realizate 20 de scenarii de "specializare inteligentă" care definesc domenii relevante, precum Tehnologiile inovatoare și procesele industriale, Societatea sănătoasă, Agro-alimentația și lemnul sau Energia durabilă (Mattauch, 2017).

Figura 1.2 prezintă, pe lângă exemplele date mai sus, și celelalte țări din Uniunea Europeană care au politici referitoare la acest concept, atât la nivel guvernamental cât și la nivel regional (<https://ec.europa.eu-1>).



Figura 1.2: Țările din Uniunea Europeană care au programe naționale de implementare Industry 4.0

Un studiu bibliografic efectuat de Liao și colaboratorii a analizat, în contextul creșterii interesului în întreaga lume față de cea de-a patra revoluție industrială, opinia autorilor despre cele mai influente politici publice legate de cea de-a patra revoluție industrială. Au fost luate în considerare contribuțiile academice în limba engleză legate de a patra revoluție industrială apărute până la sfârșitul anului 2017. Căutarea a fost făcută cu motorul de căutare Google, cuvinte cheie fiind "the fourth industrial revolution" și "the 4th industrial revolution". În statistică au fost incluse articolele relevante, selecția fiind făcută pe baza metodelor sistematice de analiză a literaturii științifice. În articole au fost menționate unsprezece țări și o regiune, fiind identificate opt politici referitoare la cea de-a patra revoluție industrială. Figura 1.5 prezintă numărul referirilor la aceste politici și țara/regiunea care le promovează.

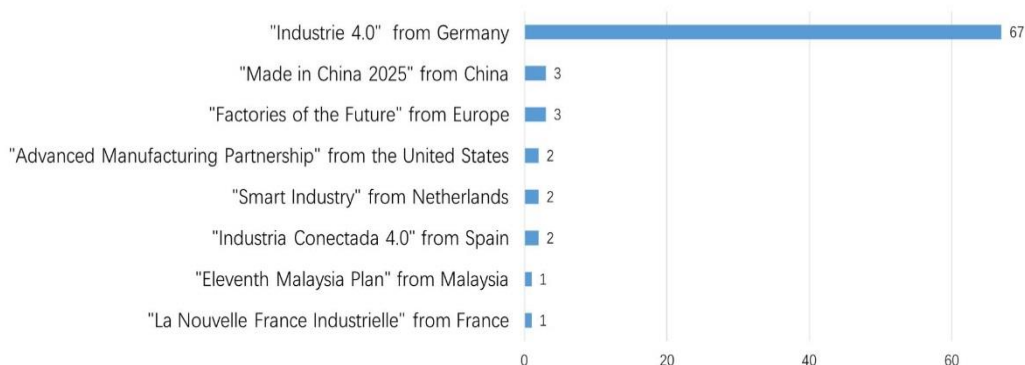


Figura 1.5: Numărul articolelor care menționează politici naționale

Analizând figura 1.5 se poate constata faptul că toți autorii au menționat programul german Industrie 4.0, iar cei mai mulți au folosit direct acest plan pentru a reprezenta ideea generală de a patra revoluție industrială. Planurile celorlalte șase țări și a Uniunii Europene sunt mai puțin populare în a caracteriza noua revoluție industrială, fiind menționate în număr limitat.

1.3. Schimbări aduse de Industry 4.0 în producția industrială

Industria prelucrătoare va fi supusă unor schimbări radicale în următorul deceniu. Marea parte a proceselor de fabricație viitoare vor include mașini mai precise, mai eficiente și mai inteligente, conectate la sistemele de planificare a resurselor și la cele de execuție. Noile tehnologii, prin capacitatea de a oferi managerilor informații în timp real pentru întregul lanț de aprovizionare și producție, rezultând de exemplu o scădere a incertitudinii cererii sau ofertei sau posibilitatea unei personalizări sporite a produselor. Vor apare astfel noi modele de afaceri și mecanisme de coordonare, care vor conduce la descentralizarea structurii organizațiilor. Sunt așteptate bariere și avantaje diferite la implementarea Industry 4.0 pentru firmele mici și mijlocii comparat cu cele previzionate pentru marile concerne (Sommer, 2015). În plus, disponibilitatea de a implementa noi tehnologii este legată și de industria în care acționează întreprinderea (Brettel et al., 2014).

1.3.1. Mediul în care operează firmele care aderă la conceptul Industry 4.0

Elementul care va schimba în mod esențial modul de abordare al producției viitoare este comunicarea mașină-mașină și mașină-om. Aceasta se realizează prin introducerea Sistemelor Cyber-Fizice (CPS) care au ca suport Internetul. Sistemele Cyber-Fizice vor fi interconectate prin intermediul *Rețelelor Sociale ale Mașinilor* (SNM), la fel cum sunt în prezent organizate *Rețelele Sociale ale Persoanelor* (SNP). Unii autori înlocuiesc cuvântul „mașini” din sintagma rețea socială a mașinilor cu termenul „lucruri”, pentru a include și materiile prime, componentele și produsele în această rețea. Rezultă astfel *Rețelele Sociale ale Lucrurilor* (SNT), o componentă a IoT. Mașinile inteligente vor putea în acest fel transmite informații despre stocuri, probleme de funcționare cum ar fi defectarea respectiv necesarul de materie primă. Va fi deci posibil să se creeze lanțuri de producție auto-organizate, care elimină omul ca factor decident. Procesele de fabricație și termenele de execuție vor fi coordonate pentru a crește eficiența economică prin: reducerea timpilor de așteptare și a spațiilor necesare depozitării, utilizarea rațională a capacităților de producție, optimizarea proceselor de achiziție și vânzare etc. Rețele constituite din sisteme cyber-fizice sunt baza Fabricilor inteligente (Smart factories - SF) care constituie principalul suport al Industry 4.0. Figura 1.6 prezintă fabrica inteligentă și interconexiunile cu mediul extern inteligent (Schlaepfer și Koch, 2015).

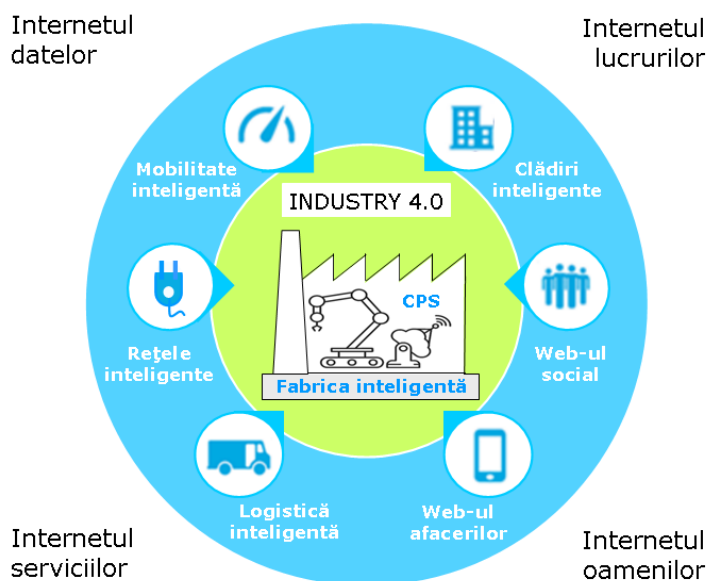


Figura 1.6: Mediul în care operează fabrica inteligentă în contextul Industry 4.0

Un loc important în transformarea digitală impusă de Industry 4.0 îl vor ocupa și *Rețelele sociale* (Social Web) și *Rețelele de afaceri* (Business Web). Conectarea acestora între ele și cu *Rețelele sociale ale mașinilor* asigură comunicarea mașină-decident-executant-client. Suportul logistic este asigurat de Internet prin componentele sale: Internetul oamenilor, Internetul lucrurilor (IoT), Internetul serviciilor și Internetul datelor.

Legăturile cu alte structuri inteligente sunt de asemenea extrem de importante pentru reușita implementării conceptului Industry 4.0. Spre exemplu, *Rețelele inteligente* (Smart grids) sunt vitale pentru aprovizionarea optimă cu energie, iar *Logistica inteligentă* (Smart logistics) pentru aprovizionarea cu materii prime și componente. La rândul ei, *Mobilitatea inteligentă* (Smart mobility) face conexiunea dintre fabrica inteligentă și *Orașul inteligent* (Smart city) și asigură fluxul de personal spre și dinspre platforma de producție.

1.3.2. Principalele caracteristici ale producției în fabricile inteligente

Modul de producție în fabricile inteligente va diferi de modul în care se desfășoară acum prin patru caracteristici esențiale. Relaționarea între unitățile și departamentele unei companii (*colaborarea pe verticală*) respectiv între companii (denumită *integrare orizontală*) joacă un rol esențial în Industry 4.0. În plus, alte două caracteristici importante sunt *utilizarea tehnologiilor avansate și ingineria aplicată pe întreaga ciclul de fabricare și durata de viață* a produsului.

A. Colaborarea pe verticală a sistemelor inteligente este caracteristică definitorie a fabricilor inteligente care caracterizează Industry 4.0. În această colaborare sunt implicate Sisteme Cyber-Fizice de Producție (CPPS), care permit un răspuns rapid la schimbările de context apărute pe platformele de producție prin modificarea cererii sau a stocurilor respectiv prin semnalarea defectării. Astfel, fabricile inteligente se auto-organizează și permit realizarea unei producții de masă adaptată și individualizată la nevoile clientului. Poziția și stadiul materialelor și a componentelor este tot timpul cunoscută, la fel ca și fluctuațiile de comenzi sau defectarea utilajelor. În acest mod orice abatere de la programul de producție este consemnată și corectată. Relația dintre resurse și produse este astfel dirijată încât să se asigure eficiența maximă a utilizării resurselor. Personalului angajat în fabricile inteligente, care se ocupă de planificarea, monitorizarea, operarea și întreținerea utilajelor, logistică etc., i se solicită competențe noi legate de lucrul cu CPPS-uri.

B. Integrarea orizontală în Industry 4.0 se face prin crearea de noi rețele de producție, care sunt formate din toate entitățile implicate în proiectarea, realizarea și mentenanță produselor. Structura acestor rețele este flexibilă, ele fiind concepute astfel încât să permită optimizarea producției în timp real. Liniile lungi de fabricație, care implică multe mașini diferite legate în serie, au limitări deoarece defectarea unei mașini poate duce la stoparea producției.

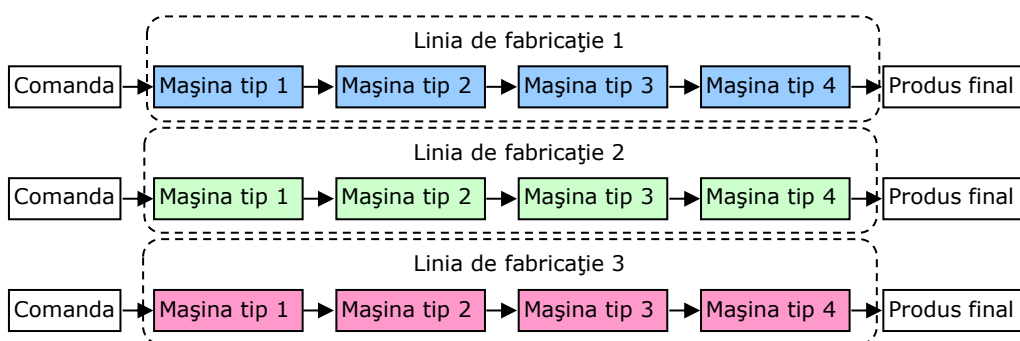


Figura 1.7: Schema unor linii de fabricație lungi ce implică prelucrări similare

În figura 1.7 sunt prezentate trei linii de fabricație similare, ce pot aparține unei firme sau mai multor firme. Producția organizată pe linii face dificilă transferarea unor operații de prelucrare de la o linie la alta chiar dacă fac parte din aceeași firmă, deoarece sistemul de organizare nu este conceput în acest fel. Ceea ce lipsește sunt informațiile legate de termene, cantități, disponibilitatea utilajelor.

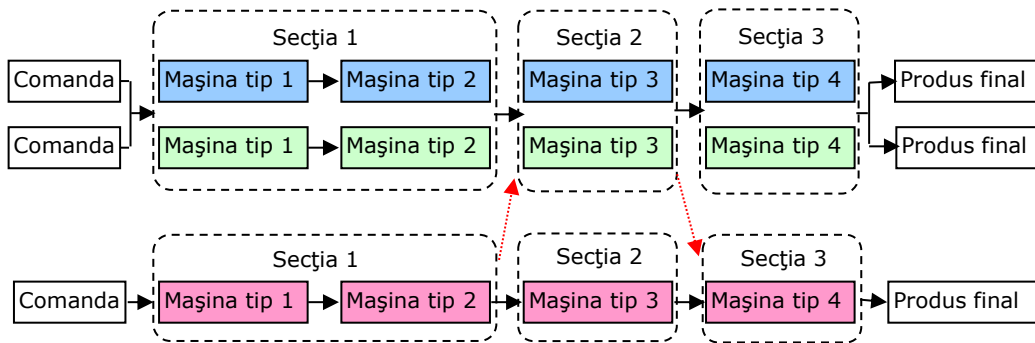


Figura 1.8: Schema unor linii de fabricație divizate prin gruparea pe tipuri de prelucrări

Prin fragmentarea lanțului de producție și fabricația pe tipuri de mașini, fluxul de producție este controlat etapizat, iar informațiile legate de termene, cantități, disponibilitatea utilajelor sunt valabile pentru verigi scurte ale lanțului de producție. În acest fel, se poate asigura o flexibilitate sporită a producției și este posibil să se optimizeze traseul de fabricație în cazul indisponibilității unei mașini. Pe lângă modul de producție pe lanțuri scurte utilizând CPPS-uri, o condiție necesară pentru optimizarea globală a fabricației o constituie transparența informațiilor în condițiile siguranței cibernetice. Toate materialele, componentele și produsele sunt înregistrate și pot fi urmărite de orice entitate implicată oricând și pe întregul flux, fiind astfel asigurată și trasabilitatea.

Transparența pe întregul lanț de producție, valabilă de la nivelul furnizorilor și până la nivelul clienților, permite nu doar dezvoltarea de produse particularizate dar și gestionarea problemelor cum ar fi calitatea, timpul, riscurile prețurile în mod dinamic și în timp real.

C. Utilizarea tehnologiilor avansate conduce la accelerarea dezvoltării producției industriale prin posibilitatea oferită de acestea proceselor de producție constând în individualizarea soluțiilor, flexibilitate și reducerea costurilor. Tehnologiile avansate și inteligența artificială aplicate în domeniul roboților și a senzorilor conferă CPPS-urilor autonomie și capacitate de auto-organizare crescută și de acționare independentă.

Un exemplu citat în aproape toate materialele legate de tehnologii avansate și Industry 4.0 este prototiparea rapidă, care este o soluție foarte simplă pentru executarea de obiecte cu configurații complexe prin tipărire 3D. Astfel pot fi executate componente cu funcționalitate mărită fără costuri suplimentare sau pot fi reconfigurate lanțurile de producție prin eliminarea unor verigi intermediare. În prezent există tehnologii de tipărire 3D pentru aproape orice tip de material (metale, ceramică, plastic, celule vii etc.) dar nu toate îndeplinesc condițiile utilizării industriale. Introducerea în circuitul industrial a componentelor tipărite 3D presupune omologări similare cu cele efectuate pentru noi materiale executate prin tehnologii clasice.

D. Conceptul de inginerie aplicată pe întreg ciclul de fabricare și durata de viață a produsului (through-engineering - TE) are la bază ideea că accentul în procesul de fabricație nu trebuie să fie pus doar pe procesul de producție, ci și pe produsul final. Procesul de dezvoltare al unui nou produs necesită sisteme de producție noi sau modificate. Proiectarea și fabricarea produselor se coordonează și integrează, creând oportunitatea unor noi colaborări între cei care dezvoltă produsul și cei care operează sistemele de producție. Și acest concept reclamă transparența datelor și informațiilor pe întregul ciclu de viață al produsului, utilă pentru flexibilizarea proceselor ca urmare a interpretării rezultatelor obținute prin simulare.

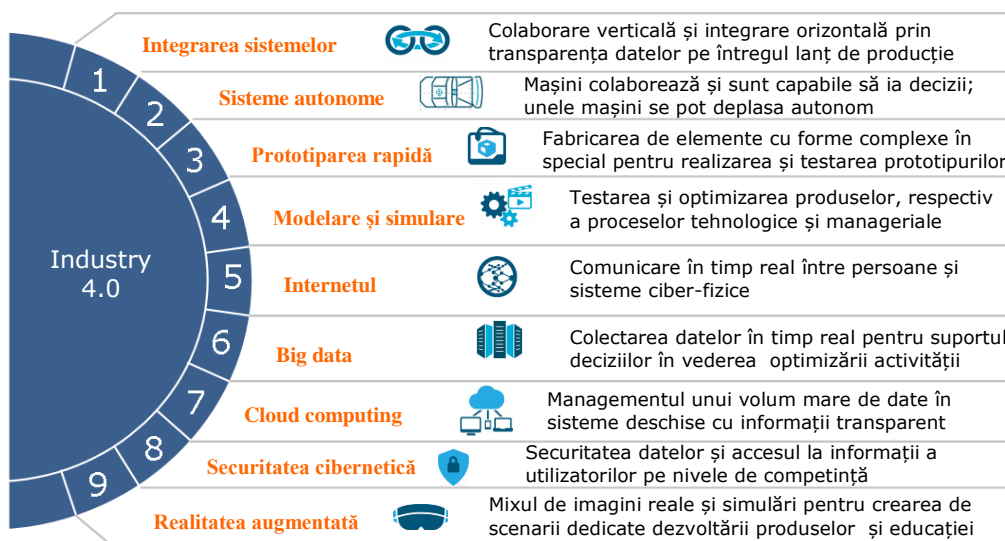


Figura 1.9: Cei nouă piloni ai Industry 4.0

Așa cum a fost prezentat mai sus, pentru a se obține un impact favorabil maximizat, Industry 4.0 se bazează pe progresul tehnic și tehnologic. În figura 1.9 se prezintă cei nouă piloni pe care este construit acest concept.

Am efectuat o analiză privind frecvența apariției articolelor ce leagă cei nouă piloni de conceptul Industry 4.0, în scopul determinării relevanței acestora pentru cercetători. Studiul a fost efectuat utilizând baza de date ScienceDirect, iar limba în care au fost scrise articolele a fost selectată limba engleză care este cea mai relevantă în mediul tehnic-științific. Cuvintele cheie selectate au fost:

- "Vertical integration" OR "Horizontal integration" pentru Integrarea sistemelor;
- "CPS" OR "autonomous systems" pentru Sisteme autonome;
- "Additive manufacturing" pentru Prototipare rapidă;
- "Simulation" pentru Modelare și simulare;
- "Internet of Things" pentru Internet;
- "Big data";
- "Cloud computing";
- "Cyber-security" pentru Securitate cibernetică;
- "Augmented reality" pentru realitatea augmentată.

Toți termenii au fost asociați consecutiv cu sintagmele „Industry 4.0” și „Industrie 4.0”. Tipul lucrărilor luate în considerare au fost „Review article”, „Research article” și „Book chapter”. Analiza s-a făcut în luna noiembrie 2018, iar perioada supusă analizei a fost 2014-2019. Trebuie menționat că anului 2018 îi vor mai fi atribuite lucrări în continuare, iar pentru 2019 puține publicații au inițiat editarea. Rezultatele obținute sunt prezentate în figurile 1.10 la 1.12.

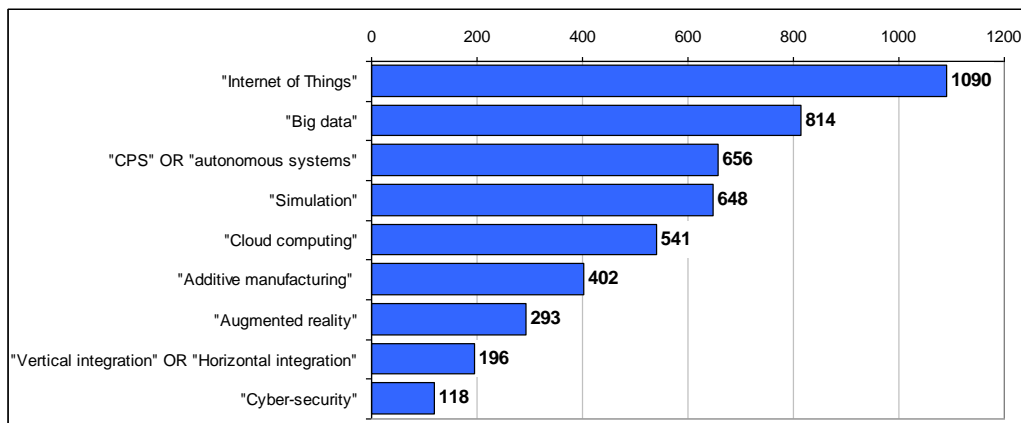


Figura 1.10: Frecvența apariției celor nouă piloni ai Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019

Figura 1.10 arată de câte ori a fost amintit unul din termenii legați Industry 4.0 în întreaga perioadă 2014-2019. Se observă că cel mai uzual termen asociat este Internetul Lucrurilor care apare de 1090 de ori. Foarte populari sunt și termenii Big data și Sisteme autonome (care includ și CPS).

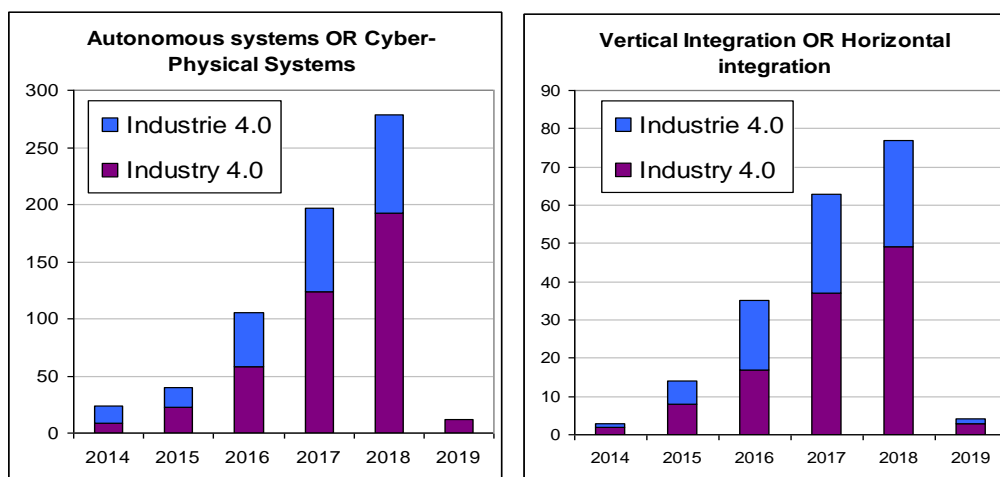


Figura 1.11: Frecvența apariției pilonilor Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019 pe itemi

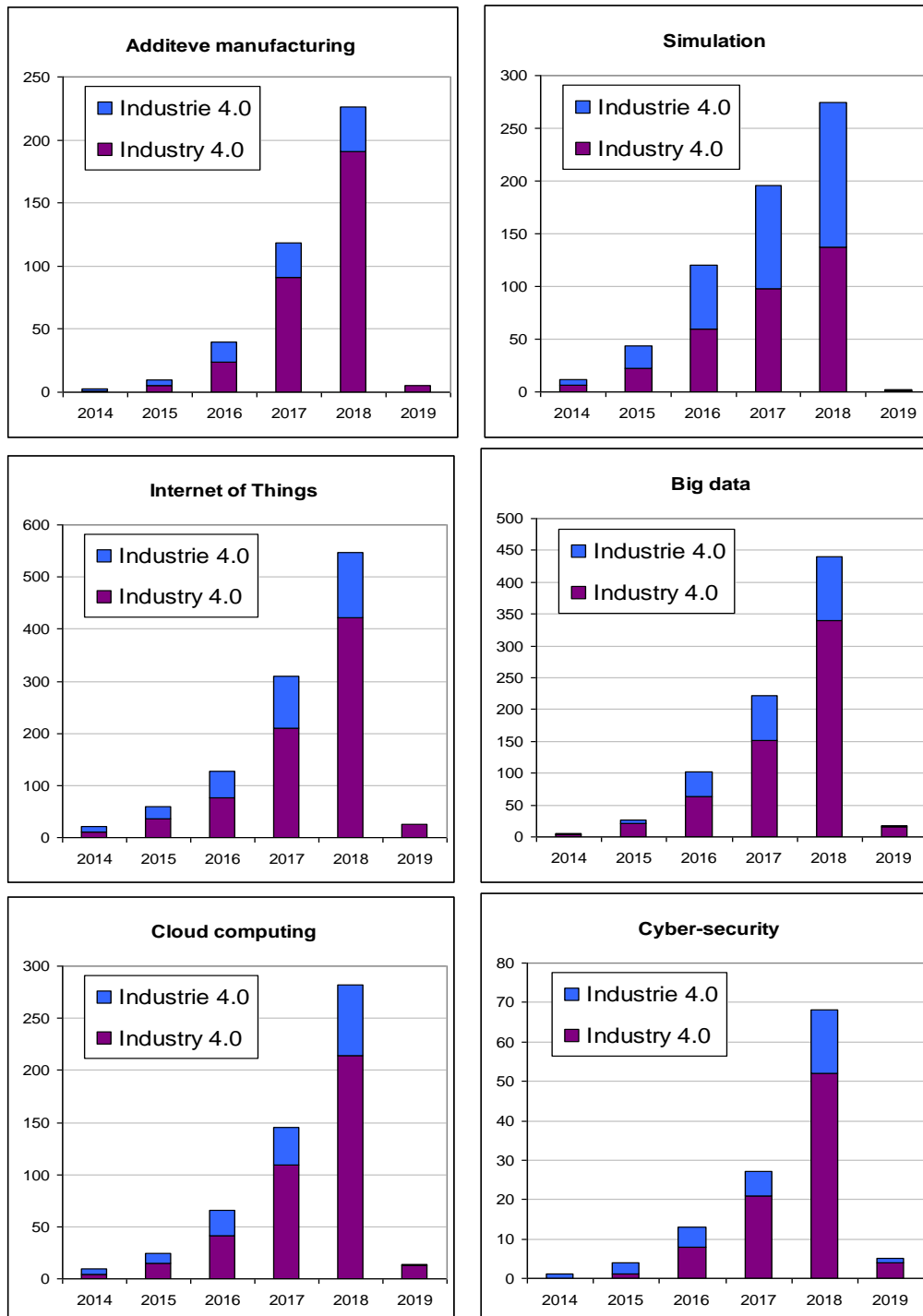


Figura 1.11: Frecvența apariției pilonilor Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019 pe itemi (continuare)

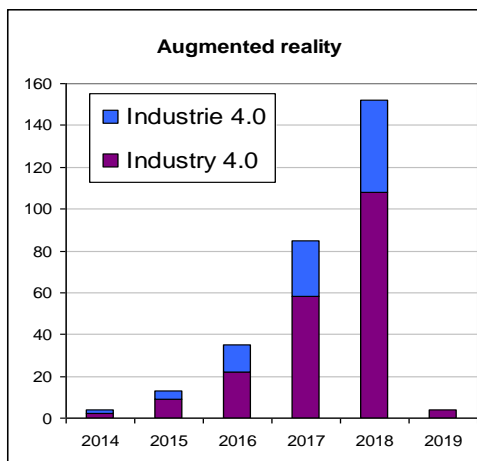


Figura 1.11: Frecvența apariției pilonilor Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019 pe itemi (continuare)

Distribuția pe ani a frecvenței aparițiilor termenilor ce caracterizează cei nouă piloni ai Industry 4.0 este redată în figura 1.11. Se poate observa că rezultatele asociate cu Industry 4.0 sunt mai numeroase decât cele asociate cu Industrie 4.0; fenomenul este mai evident după anul 2015. Aparent, toți termenii au același ritm de creștere. La o analiză mai atentă, făcută prin normalizarea valorilor prin împărțirea la valoarea cea mai mare a seriei, se observă că acesta panta curbelor care exprimă frecvența aparițiilor în publicații diferă chiar semnificativ. Cel mai mare ritm de creștere îl are pilonul Big data, care este pe locul secund și privit ca valori absolute.

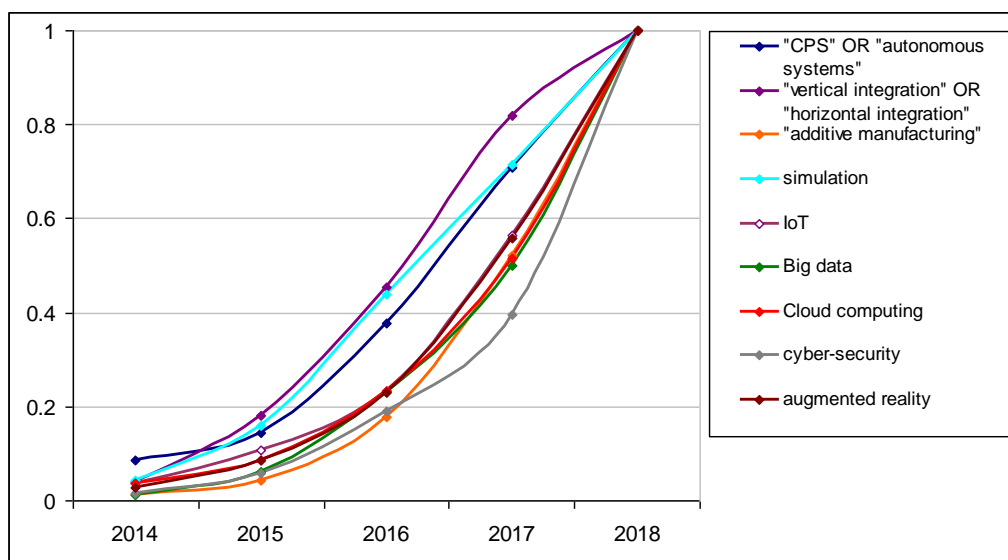


Figura 1.12: Frecvența apariției pilonilor Industry 4.0 în articole din baza de date ScienceDirect în perioada 2014-2019 pe ani

Factorul principal, care stă la baza tuturor pilonilor este digitizarea. În prezent există mai mulți termeni care au ca rădăcină termenul „digit”, al cărui înțeles preluat din limba engleză în domeniul informaticii înseamnă cifră. Uneori în limbajul de zi cu zi termenii care au prefixul digit se confundă, dar în contextul Industry 4.0 trebuie acordată semnificația convenită fiecărui termen.

Digitizarea (digitization). Prin a digitiza desemnează orice acțiune de converti o informație din format analog (text, imagine, sunet etc.) în format digital în cod binar. Astfel, informațiile sunt reprezentate printr-un șir de cifre care să poată fi recunoscut, stocat, procesat și transmis de computer.

Digitalizare (digitalization). Inițial, digitalizarea semnifica utilizarea mai intensivă a tehnologiei informației (IT) pentru a profita de facilitățile aduse de aceste tehnologii. În prezent acestui termen i se atribuie un înțeles mai larg, digitalizarea agregând tehnologiei informației cu schimbările sociale și ale mediului de afaceri. Astfel, prin utilizarea tehnologiei informației se transformă activitățile/operațiunile din domeniul afacerilor. Se pot automatiza procesele, măsura/cuantifica aspecte ale afacerii care anterior nu au putut fi măsurate și pot fi utilizate informații dintr-o mare varietate de surse pentru a oferi o perspectivă asupra procesului de luare a deciziilor. Ea a dus la dezvoltarea IoT, permite comunicarea între mașini fiind suportul Industry 4.0. Digitalizarea este considerată drept prima revoluție în domeniul afacerilor.

Transformarea digitală (digital transformation). Transformarea digitală se referă la faptul că tehnologia digitală permite și este tot mai utilizată la rezolvarea problemelor tradiționale. Ea conduce la abordări și soluții inovative și creative într-un domeniu dat, mai degrabă decât să ofere suport pentru rezolvarea problemelor prin metode tradiționale. Într-un sens mai restrâns, transformarea digitală se poate referi la conceptul de *afacere fără hârtie* și la o *maturitate a afacerii digitale*, care afectează atât întreprinderile individuale (Patel K., McCarthy M.P., 2000) cât și domenii mari, cum ar fi guvernarea, știința, arta, medicina (Baker, 2014). Se poate aprecia că transformarea digitală este "efectul total și global al digitalizării" (Khan, 2017). Digitizarea a permis procesul de digitalizare, care a avut ca rezultat oportunități mai puternice de a transforma și schimba modelele de afaceri existente, modelele de consum, structurile socio-economice, măsurile juridice și politice, modelele organizaționale, barierele culturale etc. Digitizarea (transformarea), digitalizarea (procesul) și transformarea digitală (efectul) accelerează procesele deja existente și în curs de desfășurare ale schimbării în societate.

Deși impactul transformării digitale asupra afacerilor este deja profund, procesul este încă în plină desfășurare. Progresele privind digitalizarea diferă pe zone geografice. Potrivit Indicelui de Digitizare a Industriei propus de McKinsey Global Institute (MGI-Industry Digitisation Index), Europa deține în prezent 12% din potențialul său digital (Bughin et al., 2016), în timp ce Statele Unite ale Americii funcționează la 18% din potențial (Manyika et al., 2015). Chiar și în economiile de vârf ale Europei există, de asemenea, unele diferențe semnificative, deoarece, conform studiului, Germania funcționează la 10% din potențialul său digital, în timp ce Marea Britanie este aproape la egalitate cu SUA la 17%. Acest lucru demonstrează în mod clar că, deși procesele de afaceri sunt în curs de schimbare majoră, progresând mult în adoptarea digitizării, economiile avansate se luptă să exploateze întregul potențial al digitalizării.

1.3.3. Principiile implementării sistemului de producție Industry 4.0 în companii

Strategia de implementare a Industry 4.0 în companii este importantă pentru a obține un parcurs cât mai scurt și care implică resurse minime. Conceptul de producție bazat pe Industry 4.0 are la bază patru principii: (1) Interconectarea; (2) Transparența informațiilor; (3) Descentralizarea deciziilor; (4) Asistența tehnică. Definiția clară a acestor principii sprijină companiile în identificarea scenariilor și implementarea Industry 4.0.

Un studiu privind frecvența apariției celor patru termeni în literatura de specialitate cu caracter aplicativ (Hermann M. et al., 2016) a arătat că primii doi factori sunt menționați mai des, în special colaborarea dintre om și mașină sau securitatea datelor și a informațiilor. Punerea mai frecvent în discuție a acestor termeni legați de implementarea sistemelor de producție conform Industry 4.0 evidențiază că practicienii percep aceste provocări ca având o influență mai mare în implementarea reușită a Industry 4.0.

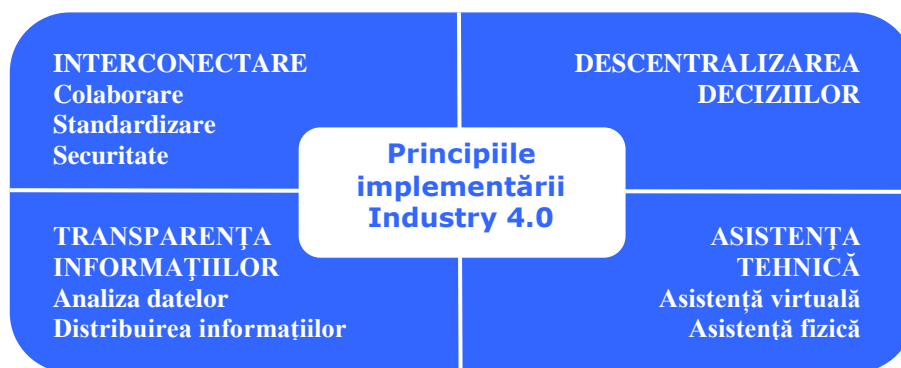


Figura 1.13: Principiile implementării Industry 4.0

Cele patru principii, împreună cu componentele relevante pentru fiecare dintre ele, sunt prezentate schematic în figura 1.13 care redă o diagramă propusă în (Holtkamp și Iyer, 2017). O descriere detaliată a principiilor este dată în (Hermann et al., 2016). În continuare se descriu aspecte semnificative în detaliu.

Interconectarea (Interconnection sau Interoperability). Oamenii, mașinile, dispozitivele, componentele și materialele sunt conectați prin IoP și IoT. Senzorii și Tehnologia Informației și a Comunicațiilor (TIC - Information and Communications Technology) joacă un rol important în nivelul tot mai mare de interconectare. Internetul permite accesul din orice loc și în orice moment la informații, ceea ce constituie baza unei *colaborări comune* pentru atingerea obiectivelor. În acest context există trei tipuri de colaborare: colaborarea om-om, colaborarea om-mașină și colaborarea mașină-mașină. *Standardele comune de comunicare* sunt de o importanță deosebită pentru asigurarea unei interconectări eficiente, permițând combinarea flexibilă a sistemelor de operare și programelor furnizate de diferiți furnizori (Zuehlke, 2010). Această modulare permite fabricilor inteligente să se adapteze rapid la fluctuațiile pieței sau la comenzile personalizate. Odată cu creșterea numărului de utilizatori se estimează și o creștere a numărului de atacuri asupra sistemelor de producție din fabricile inteligente și în consecință crește necesitatea *securității cibernetice*.

Transparența informației (Information transparency). Pe baza numărului tot mai mare de obiecte și persoane interconectate, fuziunea lumii fizice și virtuale permite o nouă formă de transparență a informațiilor (Kagermann, 2015). Prin conectarea datelor senzorilor cu modele digitale ale structurilor de producție se creează o copie virtuală a lumii fizice. Informațiile contextuale sunt indispensabile pentru ca factorii responsabili să ia decizii adecvate. Sisteme de producție își îndeplinesc sarcinile pe baza informațiilor provenite din lumea virtuală și fizică. Exemple de informații din lumea virtuală sunt documentele electronice și modelele sistemelor reale utilizate pentru simulare. Exemple de informații despre lumea fizică sunt poziția unei componente sau starea de funcționare a unui echipament (Lucke et al., 2008). Pentru a analiza lumea fizică, datele brute preluate de la senzori trebuie să fie *analizate și interpretate* pentru a obține informații valoroase. Rezultatele analizei datelor trebuie să fie integrate în sisteme de asistență accesibile tuturor participanților la proces, asigurându-se în acest fel transparența informațiilor. Furnizarea de informații în timp real este vitală (Bauernhansl, 2015). Astfel se permite companiilor să ia decizii de afaceri mai informate și oamenilor de știință și cercetătorilor să verifice modele, teorii și ipoteze.

Asistență tehnică (Technical assistance). În fabricile inteligente ale Industry 4.0 rolul principal al personalului se schimbă. El devine din operator de mașini un factor decizional strategic și are în principal rolul de a rezolva în mod flexibil probleme. Datorită complexității crescânde a producției, în care CPS-urile formează rețele complexe și iau decizii în mod descentralizat, oamenii trebuie să fie *asistați virtual* de sisteme care să poată agrega informațiile și să le prezinte inteligibil pentru ca decidenții să acționeze în cunoștință de cauză sau să rezolve problemele urgente în cel mai scurt timp (Gorecky et al., 2014). Se preconizează că dispozitivele mobile, cum ar fi telefoanele inteligente și tabletele, vor avea un rol crescut în conducerea afacerilor și a producției. *Suportul fizic* acordat oamenilor de către roboți este considerat un alt aspect al asistenței tehnice, deoarece roboții sunt capabili să realizeze o serie de sarcini neplăcute, prea oboseitoare sau nesigure pentru colegii lor umani. Pentru o susținere eficientă, reușită și sigură a oamenilor în sarcini fizice, este necesar ca roboții să interacționeze ușor și intuitiv cu omologii lor umani și că oamenii sunt instruiți corespunzător pentru acest tip de colaborare om-mașină (Kiesler, 2004).

Descentralizarea deciziilor (Decentralized decisions). Luarea deciziilor se poate descentraliza dacă persoanele și obiectele sunt interconectate și există transparența informațiilor în interiorul și exteriorul unei platforme de producție. Factorii de decizie descentralizați și interconectați este o combinație care permite utilizarea informațiilor locale și globale în același timp, rezultând decizii mai bune care duc la creșterea productivității și a eficienței. Participanții la procesul de producție își îndeplinesc sarcinile cât mai autonom posibil, dar sub supravegherea decidenților de la nivelele superioare. Aceștia intervin doar excepțional, în cazul conflictelor sau a funcționării defectuoase (ten Hompel și Otto, 2014). Din punct de vedere tehnic, deciziile descentralizate sunt activate de CPS. Computerele, senzorii și actorii lor încorporați permit monitorizarea și controlul autonom al lumii fizice.

Implementarea sistemului de producție Industry 4.0 solicită efectuarea unor pași, descriși în lucrarea (Hermann et al., 2016) și prezentați schematic în figura 1.14. În lucrarea menționată sunt prezentați 5 pași, și anume pașii 1 și 3-6, la care am adăugat pasul doi, „Evaluarea maturității companiei în sensul Industry 4.0”. Acest pas trebuie defalcat de pasul trei deoarece pasul doi trebuie să fie un punct de plecare.

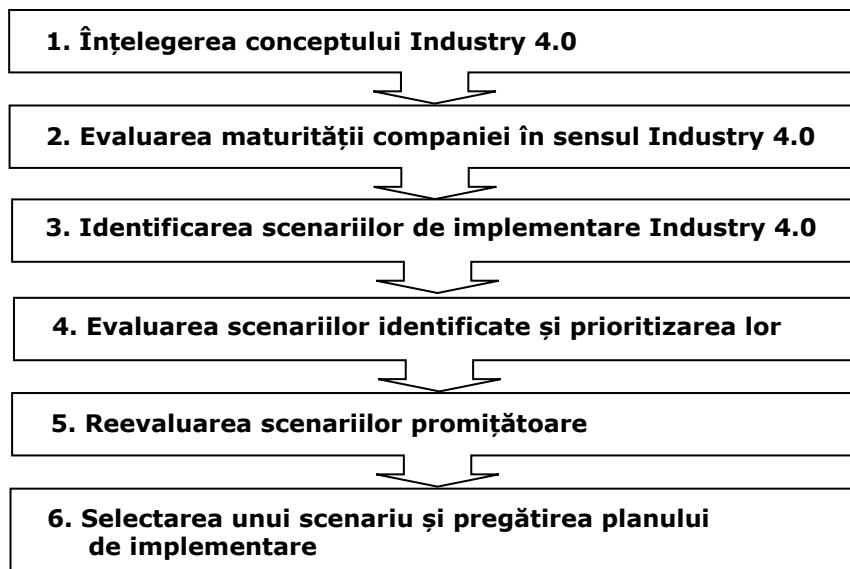


Figura 1.14: Pași de parcurs la implementarea conceptului Industry 4.0 (adaptare după [Hermann et al., 2016](#))

Individualizarea pasului doi este importantă, mai ales în contextul în care există stadii foarte diferite de implementare a Industry 4.0 în cadrul firmelor din industrie și regiuni diferite. Există mai multe metode de evaluare a maturității firmei din perspectiva Industry 4.0. Aceasta se face pe baza unor criterii care constituie:

- Pilonii Industry 4.0
- Principiile de trecere la Industry 4.0
- Caracteristicile Industry 4.0

Aceste categorii pot fi divizate în sub-categorii și se poate crea un mix de parametri care să fie evaluați. Reprezentarea parametrilor se poate face grafic sau tabelar.

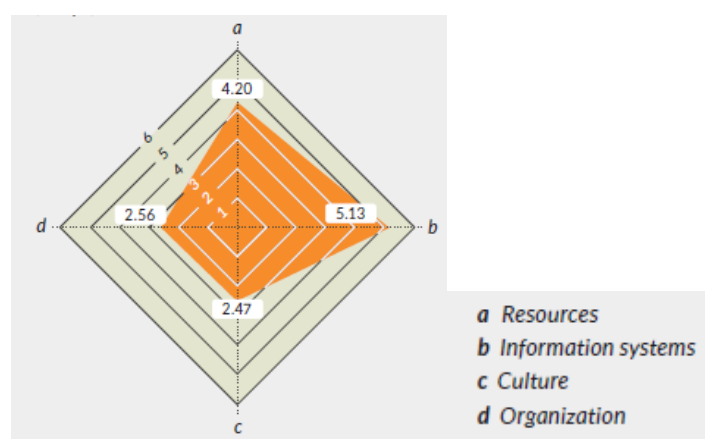


Figura 1.15: Indicatorului de maturitate Industry 4.0 Acatech ([Schuh et al., 2017](#))

Un exemplu de reprezentare a indicatorului de maturitate Industry 4.0 Acatech (Schuh et al., 2017) sub formă de grafic radar este prezentat în figura 1.15. Se observă că sunt luate în calcul patru criterii. Pentru fiecare criteriu sunt stabilite mai multe nivele de maturitate și pot fi luați în calcul mai mulți factori. În final se acordă o valoare pentru fiecare criteriu, apropierea de valoarea maximă reprezentând faptul că Industry 4.0 este implementat la criteriul în cauză.



Figura 1.16: Indicator global de maturitate Industry 4.0 (Schumacher et al., 2016)

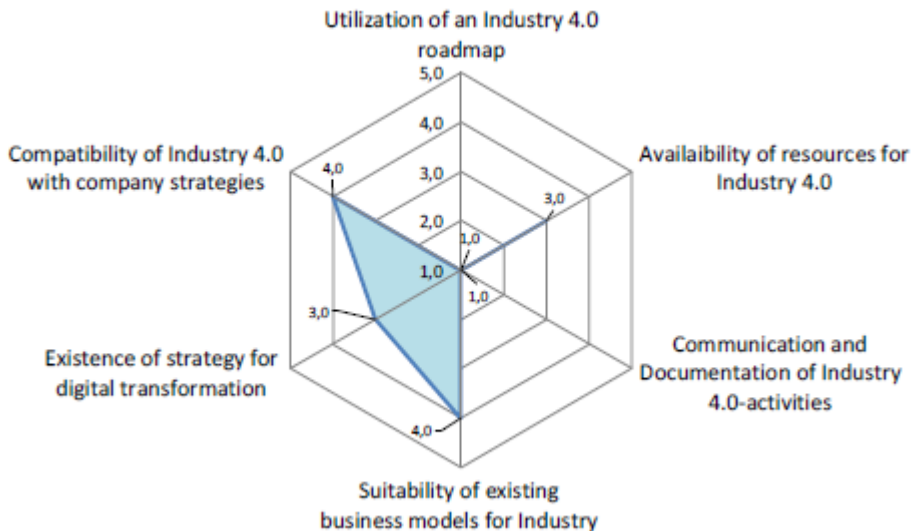


Figura 1.17: Indicator specific de maturitate Industry 4.0 pentru domeniul Strategie (Schumacher et al., 2016)

Indicatorii de maturitate pot fi reprezentați ca valori globale așa cum sunt redați în figura 1.16, indicatorii specifici fiind redați tot prin reprezentare grafică (Schumacher et al., 2016). Figura 1.17 prezintă detaliat situația pentru categoria strategie din graficul din figura 1.16.

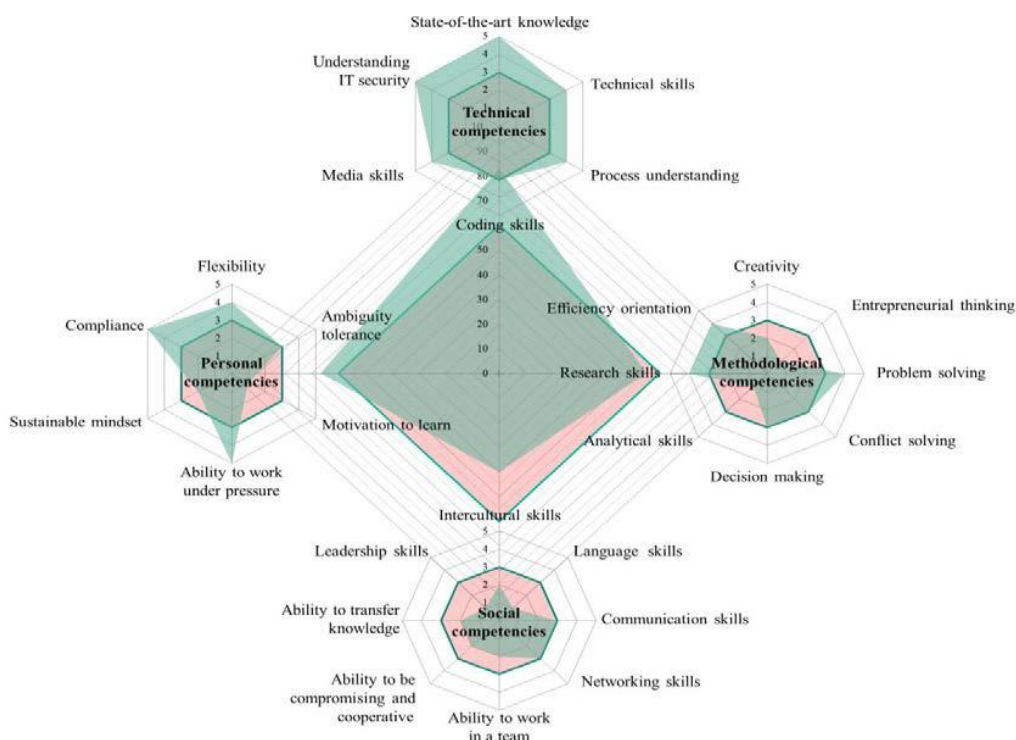


Figura 1.18: Indicator agregat de maturitate Industry 4.0

Alte reprezentări (Hecklau et al., 2016) redau indicatorul global împreună cu cei specifici în mod agregat, în aceeași reprezentare grafică, așa cum este prezentat în figura 1.18.

Transformările solicitate de trecerea la Industry 4.0 sunt mari și în multe companii nu sunt depuse eforturi pentru implementarea noului sistem de producție. Principalele cinci bariere care stau în calea implementării Industry 4.0 sunt (Gracel și Lebkowski, 2017):

- Dificultatea în coordonarea acțiunilor;
 - Lipsa curajului în a trece prin schimbări radicale;
 - Lipsa abilităților necesare pentru a determina schimbarea;
 - Îngrijorare legată de securitatea cibernetică;
 - Lipsa modelelor de business care să justifice investiții în tehnologia IT.
- Alte bariere, cu grad mai mare de complexitate, sunt:
- Îngrijorare legată de proprietatea datelor;
 - Incertitudini privind externalizarea proceselor și lipsa informațiilor privind potențialii furnizorii;
 - Provocări legate de integrarea datelor provenite din surse disparate.

1.4. Concluzii

Stadiul de dezvoltare în care se află azi societatea este rezultatul unor revoluții tehnologice. În era industrială sunt cunoscute trei revoluții, actualmente fiind în plină implementare cea de-a patra revoluție industrială cunoscută sub numele de Industry 4.0. Aceasta presupune dezvoltarea unui sistem de producție tot mai ramificat și interconectat, care are ca suport tehnologia informației și a comunicațiilor și sprijinul inteligenței artificiale. În acest context mașinile devin inteligente, pot acționa autonom și pot comunica între ele, iar fluxurile de producție devin auto-organizate. Această transformare își pune pregnant amprenta pe modul de producție, iar în prezent se poate vorbi de era digitală a tehnologiei industriale.

Spre deosebire de primele trei revoluții industriale, cea actuală presupune investiții mai mici comparat cu totalul activelor, acestea constând în principal în transformarea mașinilor existente în mașini colaborative. Totodată, se poate spune că Industry 4.0 este și o revoluție socială, prin faptul că se regândesc relațiile sociale și modelele de business, transparența și descentralizarea deciziilor fiind componente esențiale ale noii revoluții industriale.

2. Analiza contextului în care operează firma

2.1. Metoda de cercetare utilizată

Un prim aspect de care trebuie ținut cont când se dorește estimarea maturității și trasarea unui parcurs coerent pentru implementarea sistemului Industry 4.0 este contextul în care operează firma vizată. Aceasta, deoarece procesul de implementare are loc într-o situație socio-economică dată și presupune eforturi financiare și umane semnificative. În plus, deoarece există interconexiuni pe verticală și pe orizontală cu alte entități economice, trebuie stabilit gradul de compatibilitate cu acestea și traseul trebuie stabilit astfel încât să nu apară disfuncționalități. Analiza efectuată în acest subcapitol are de aceea în vedere culegerea de informații privind partenerii economici ai firmei analizate (numită în continuare FIRMA), prin aplicarea unor chestionare. Chestionarele au fost lansate în primăvara anului 2019. Întrebările sunt în marea lor majoritate închise, pentru ca răspunsurile să fie ușor cuantificabile. Pentru a asigura un grad de încredere ridicat (Golafshani, 2003; Patton, 2002), am triangulat datele cercetării verificând site-uri web ale companiilor și rapoarte anuale publice. Pentru a reduce prejudecățile și a crește fiabilitatea rezultatelor, persoanele intervievate au fost asigurate că se respectă anonimatul și confidențialitatea în ceea ce privește numele companiei. Din acest motiv, numele companiilor respondente sunt codificate.

Prin chestionarul dedicate scopului amintit mai sus au fost interogate 30 de persoane din companii care colaborează cu FIRMA, iar un chestionar a fost aplicat unui membru din conducerea FIRMEI. Companiile, care sunt furnizori sau clienți ai FIRMEI, provin din diverse industrii (Anexa 2), iar personalul chestionat face parte din managementul acestora. Chestionarul aplicat (Anexa 3) conține 3 grupe de întrebări:

- I. Informații generale privind compania și respondentul
- II. Percepția companiilor privind conceptului Industry 4.0
- III. Interpretarea și identificarea forțelor motrice și barierelor Industry 4.0

Răspunsurile sunt prezentate centralizat, atât cel oferit de FIRMĂ cât și cele ale companiilor colaboratoare. Scopul a fost de a identifica poziția acesteia în contextul actual național privind implementarea conceptului Industry 4.0. Din răspunsuri s-a urmărit stabilirea nivelului de compatibilizare a FIMEI cu potențialii beneficiari sau furnizori în vederea identificării oportunităților și constrângerilor impuse de adoptarea noilor tehnologii de producție și comunicare.

2.2. Poziționarea FIRMEI în contextul național

Prima categorie de întrebări urmărește caracterizarea firmelor și a respondenților. În figura 2.1 se prezintă structura firmelor după domeniul în care își desfășoară activitatea. Se observă că majoritatea firmelor au ca principal obiect de activitate producția de bunuri (20), o parte însemnată (7) este implicată în comerț cu produse similare cu cele ale FIRMEI fiind inclusiv distribuitori ai acesteia, iar restul firmelor (4) desfășoară activități legate de servicii.

Dintre firmele respondente, 24 sunt potențial utilizatori direcți ai produselor FIRMEI, iar cele șase firme care au ca domeniu de activitate comerțul sunt distribuitori ale acestor produse. Produsele sunt utilizate pentru iluminatul industrial, al birourilor și a zonele adiacente halelor precum ar fi depozitele și căile de acces. O a doua componentă include elemente de iluminat pentru industria automotive. Trei companii au pe lângă statutul de clienți și pe cel de furnizori ai FIRMEI.

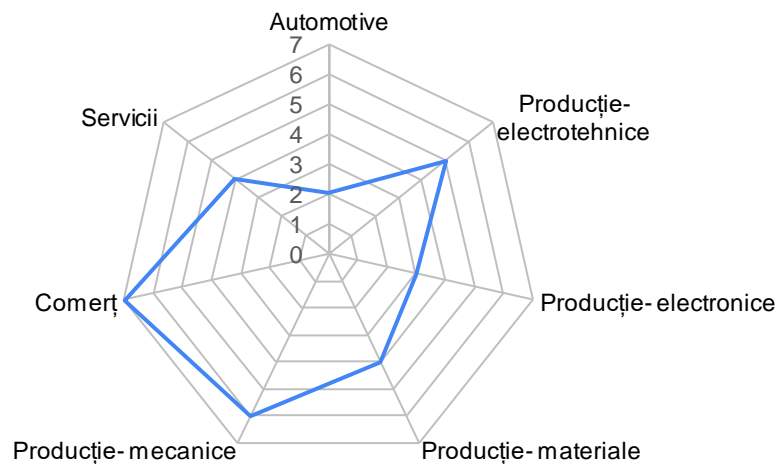


Figura 2.1: Structura firmelor care au răspuns la chestionar pe domenii de activitate

Cifra de afaceri și numărul de angajați al companiilor chestionate sunt prezentate în [Anexa 2](#). Se observă că, în general, există o concordanță între cifra de afaceri și dimensiunea firmei raportată la numărul de angajați. O clasificare a firmelor după dimensiune conform Recomandării 2003/361/CE, transpuse în legislația națională ([Legea 175/2006](#)) este prezentată în tabelul 2.1. Din tabel se observă că tendința de clasificare agregată (cifra de afaceri și număr de salariați) este determinată în special de numărul de angajați, ceea ce ne conduce la concluzia că aceste companii au produse mai puțin inovative și care înglobează puțină plusvaloare. FIRMA se încadrează în categoria întreprinderilor mari, atât ca cifră de afaceri, cât și ca număr de angajați.

Tabelul 2.1: Tipul de companii după cifra de afaceri și număr de angajați

Categoria după criteriul	Micro	Mică	Mijlocie	Mare
Cifra de afaceri (Euro)	6 ≤2 Mil.	8 ≤10 Mil.	8 ≤50 Mil.	9 >50 Mil.
Nr. mediu de salariați	2 <10	4 <50	16 <250	9 ≥250
Agregat	1	5	14	11

Productivitatea a fost calculată împărțind cifra de afaceri la numărul mediu de angajați. Din analiză au fost eliminate firmele care au ca obiect de activitate comerțul, care de regulă nu contribuie la creșterea nivelului de inovare a produselor. O comparație a productivității cu nivelul de inovare al produselor, ilustrată în figura 2.2, ne arată că nu se poate face o clasificare globală și concludentă a companiilor după aceste două criterii. Productivitatea depinde de ramura industrială în care se încadrează compania, de poziția în lanțul de producție dar și de măsura în care cercetarea proprie este înglobată în produsele realizate. Datorită numărului mic de companii analizate, nu se poate face o delimitare relevantă a nivelului de inovare pe domenii de activitate. FIRMA se încadrează în prima jumătate a clasamentului în ceea ce privește productivitatea, iar autoaprecierea privind nivelul de inovare o situează între cele mai inovative companii analizate.

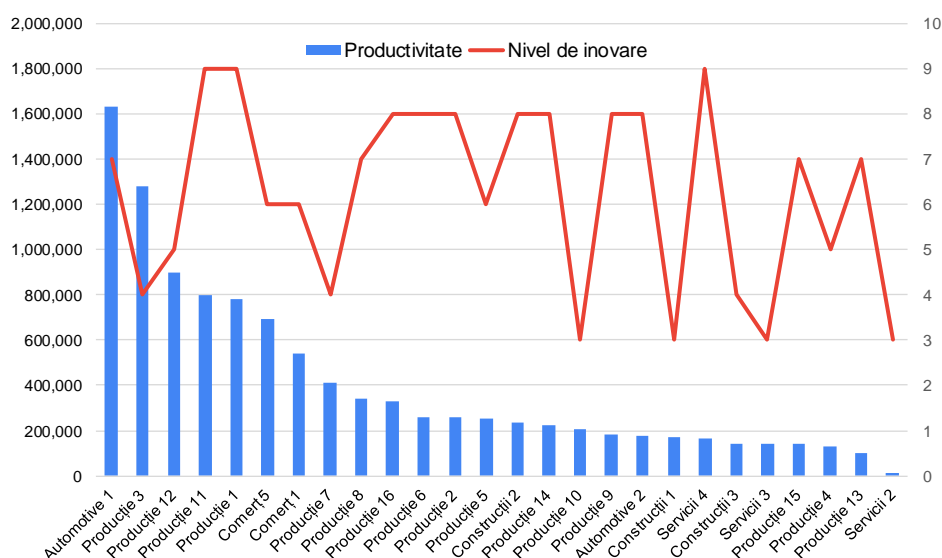


Figura 2.2: Comparație între productivitate și nivelul de inovare a produselor

Legat de vechimea firmelor, din tabelul 2.2 se poate observa că majoritatea companiilor (24) au fost înființate după anul 1990. Dintre acestea, niciuna nu are o vechime mai mică de 10 ani, deci se poate concluziona că acestea sunt mature și au o stabilitate care le califică ca potențiali colaboratori ai FIRMEI pentru viitor.

Tabelul 2.2: Distribuția firmelor în funcție de anul înființării

Anul înființării	Înainte de 1990	1990-2000	2001-2020	2011-2020
Nr. companii	7	13	11	-

Respondenții sunt în general acționari sau fac parte din top managementul companiilor. Vechimea în firmă depășește în marea majoritate 10 ani, cei mai mulți respondenți deținând funcția actuală de conducere de la data angajării în firmă sau au dobândit-o la scurt timp după aceasta.

Din figura 2.3 se mai poate observa că doar șase respondenți au ajuns să ocupe funcția actuală după ce au acumulat o experiență semnificativă pe o altă poziție în companie.

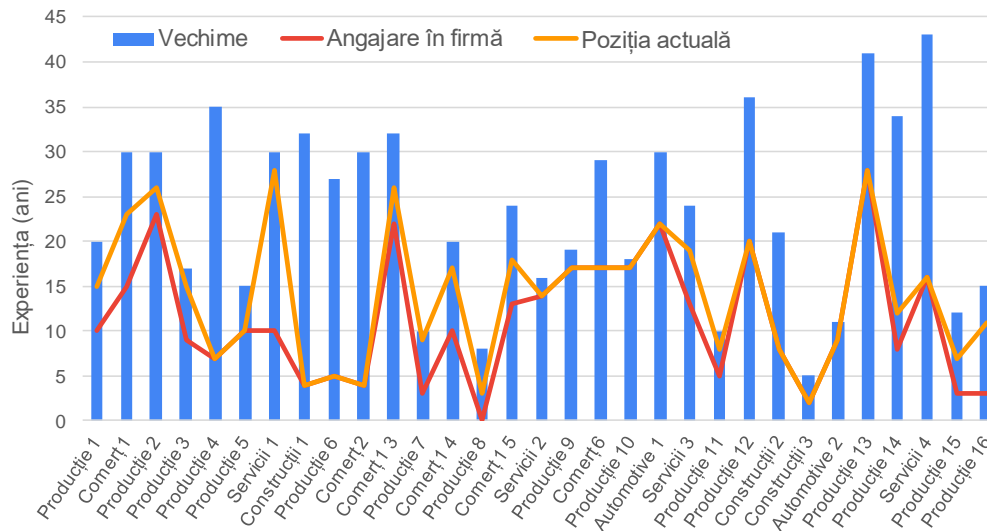


Figura 2.3: Experiența respondenților în companiile chestionate

Prin vechimea în firmă și durata pe care respondenții au deținut funcția actuală de conducere putem concluziona că aceștia au oferit răspunsuri calificate și relevante. Așa cum am menționat anterior, marea majoritate a răspunsurilor din grupul I de întrebări au fost verificate pe paginile Web ale companiilor și pe pagini care oferă informații generale despre firme (listafirme.ro).

În ceea ce privește FIRMA, aceasta se situează la nivel superior în rândul companiilor supuse analizei, atât ca și cifră de afaceri cât și ca număr de angajați. Fiind înființată cu aproape 100 de ani în urmă, FIRMA se caracterizează prin tradiție și stabilitate, deci este oportun să fie supusă analizei privind implementarea noilor tehnologii și procese caracteristice Industry 4.0.

2.3. Percepția generală a respondenților privind sistemul de producție Industry 4.0

A doua categorie de întrebări din chestionar, întrebările 13, 14 și 15, au menirea de a explica modul în care conceptul de Industry 4.0 este cunoscut și perceput de către managementul firmelor românești chestionate. Respondenții au primit un material informativ sumar legat de Industry 4.0 odată cu chestionarul de completat.

Referitor la nivelul de cunoaștere a problemei în companii, care a fost prima întrebare din set, se observă din răspunsurile centralizate în figura 2.4 că subiectul este cunoscut eventual de o parte mai mare sau mai mică a managementului companiilor, dar nu este un topic despre care se discută uzual în firmă. Angajații nu sunt deloc în temă cu subiectul. FIRMA se încadrează în acest șablon.

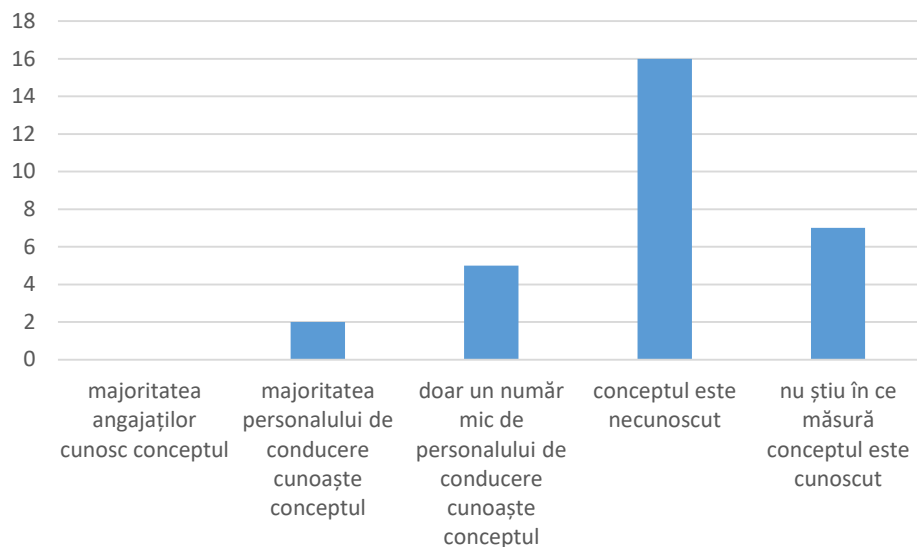


Figura 2.4: Nivelul de cunoaștere a conceptului Industry 4.0 în rândul angajaților companiilor

Companiile nu au o strategie de implementare a conceptului Industry 4.0, sau aceasta nu este cunoscută de către respondenți. De asemenea, nu există preocupări privind formarea de competențe pe această direcție, nici pentru management și nici pentru angajați.

Referitor la domeniile Industry 4.0 care trebuie abordate prioritar de companii (întrebarea 15), respondenții au identificat "digitizarea" și "tehnologiile avansate" ca fiind cele mai relevante și mai urgent de abordat transformări tehnologice. Digitizarea este o preocupare a firmelor indiferent de domeniul în care activează. Pe de altă parte, tehnologiile avansate împreună cu modelarea și simularea și într-o oarecare măsură sistemele cyber-fizice sunt în domeniul de interes al firmelor de producție. Firmele care se ocupă de comerț și servicii abordează preponderent securitatea cibernetică și big data. Cloud computing nu se regăsește în prioritatea niciunei companii.

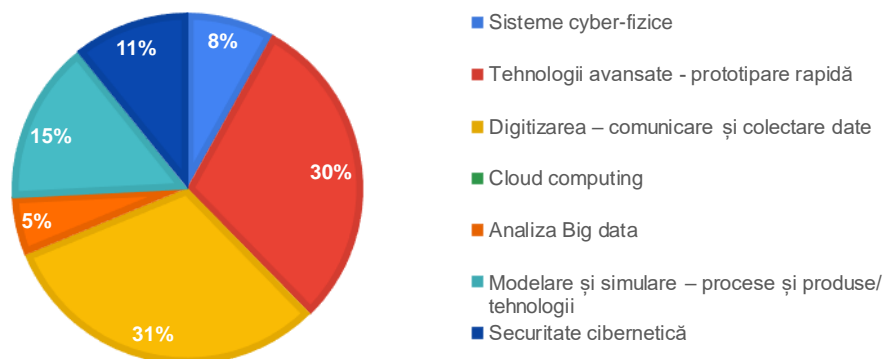


Figura 2.5: Domeniile/practicile Industry 4.0 prioritare în firmă

O privire de ansamblu asupra răspunsurilor privind domeniile Industry 4.0 relevante pentru firmele analizate este posibilă din analiza figurii 2.5. Răspunsurile FIRMEI se încadrează în șablonul companiilor care au ca specific producția. Cu toate că respondenții au declarat că nu au o pregătire specifică în ceea ce privește implementarea Industry 4.0, răspunsurile obținute permit crearea unei imagini asupra poziției în care se află companiile în raport cu noul sistem de producție.

2.4. Percepția privind factorii care accelerează implementarea sistemului de producție Industry 4.0

Întrebarea formulată la punctul 16 din chestionar urmărește identificarea factorilor care pot determina managementul firmelor să implementeze sau să urgenteze implementarea conceptului Industry 4.0. Acești factorii sunt tratați pe larg în literatura de specialitate.

Concurența în creștere determină companiile să își crească capacitatea de inovare și productivitatea, în paralel cu reducerea timpului de livrare (Lasi et al., 2014; Bauer et al., 2015). Investițiile în noile tehnologii digitale vor permite companiilor să creeze un avantaj decisiv față de concurenți (Hortoványi, 2016). Schimbarea sistemului de producție este motivată și de scăderea duratei ciclului de viață al produsului, schimbări în așteptările și nevoile consumatorilor și nivelul de eterogenitate a pieței (Adolph et al., 2014; Karre et al., 2017).

Transformările pe care le aduce Industry 4.0 în ceea ce privește mediul și eficiența energetică sunt un alt factor care impune noul sistem de producție, deoarece sistemele de producție anterioare sunt depășite și adesea provoacă daune mediului. Industry 4.0 poate afecta pozitiv producția durabilă din punct de vedere al mediului, prin dezvoltarea de produse ecologice și utilizarea proceselor de fabricație prietenoase cu mediul (de Sousa Jabbour et al., 2018). De asemenea, prin îmbunătățirea proceselor tehnologice calitatea producției poate fi semnificativ crescută și aceasta duce la reducerea rebuturilor și deșeurilor (Paritala et al., 2016). Îmbunătățiri semnificative pot fi obținute și în ceea ce privește eficiența energetică a firmelor (Lins și Oliveira, 2017).

Industry 4.0 poate duce și la schimbări semnificative ale modelelor de afaceri existente, permițând noi modalități de creare a valorii (Fonseca, 2018) și un nivel mai ridicat de implicare a consumatorilor (Ustundag și Cevikcan, 2017). Companiile pot apela la Industry 4.0 pentru a crește volumul de vânzări și pentru a reduce semnificativ costurile (Kiel et al., 2017). Colectarea și procesarea datelor provenite din producție aduce beneficii cum ar fi luarea mai rapidă a deciziilor sau oferă suport pentru gestionarea cunoștințelor (Inezari și Gressel, 2017).

Tehnologiile informatice utilizate de Industry 4.0 ajută la planificarea resurselor și a producției, utilizarea eficientă a capacităților de producție și managementul întreținerii (Szalavetz, 2018). Aceste tehnologii sunt utilizate în prezent de majoritatea covârșitoare a companiilor, dar modul în care sunt utilizate nu este coroborat cu necesitățile impuse de noua revoluție industrială.

O sinteză a factorilor care impulsionează implementarea Industry 4.0 se găsește în (Kagermann et al., 2013) pentru firmele din Germania, respectiv în (Horváth și Szabó, 2019) care compară firmele din Ungaria cu multinaționalele care operează în această țară. În fiecare din studiile prezentate în cele două lucrări se propune un set de șapte factori, prezentați în Tabelul 2.3. Se observă că factorii propuși sunt destul de apropiați și nu există o grupare a acestora pe teme specifice.

Tabelul 2.3: Factorii care dinamizează implementarea Industry 4.0 – abordare sintetică

Kagermann	Horváth și Szabó
Satisfacerea nevoilor angajaților	-
-	Concurența în creștere
Crearea valorii prin noi servicii	Creștere nivelului de inovare și a productivității
Satisfacerea așteptărilor clienților	Așteptările clienților
Utilizarea eficientă a resurselor și productivitatea	Economisirea energiei și dezvoltare durabilă
Flexibilitate în modelul de afaceri	Inovarea privind modelul de afaceri
Productivitate și eficiență	Factorii legați de finanțare și performanță
Luarea deciziilor optime	Sprijin pentru activități de management

De asemenea, modul în care sunt definiți factorii prezentați în Tabelul 2.3 face ca conținutul lor să nu fie foarte transparent și în consecință nu permit constatarea imediată a interdependențelor dintre ei. În lipsa unei detalieri separate, transpunerea lor în chestionare care au ca scop analiza maturității unei firme din punct de vedere al implementării Industry 4.0 și stabilirea unui traseu optim de urmat pentru o implementare rapidă și utilizând resurse cât mai puține ar putea fi îngreunat.

Un studiu mai amplu (Szabó și alții, 2020) analizează factorii stimulativi ai implementării Industry 4.0 prin chestionarea a 302 manageri din câteva țări central și est europene (România, Serbia, Slovacia și Ungaria). În acest studiu sunt avute în vedere șase mari categorii de factori stimulativi privind implementarea Industry 4.0, și anume: (1) resursa umană; (2) resursele financiare și profitul; (3) evoluția pieței și competiției; (4) așteptările managementului, (5) productivitatea și eficiența; (6) satisfacerea consumatorilor.

Fiecare categorie include un număr de factori al căror esență poate fi dedusă direct din modul în care sunt definiți. Factorii definiți aici, denumiți de obicei *driving forces* în literatura de limbă engleză, pot fi ușor asimilați și cu așteptările respondenților. Această clasificare este mai cuprinzătoare și mai detaliată decât cele prezentate în Tabelul 2.4 și prezintă astfel avantajul că oferă o imagine mai detaliată asupra factorilor analizați. Prin urmare, utilizarea acestor factori în vederea stabilirii maturității unei firme din punct de vedere al implementării Industry 4.0 și definirea unui traseu optim de implementare este favorizat. Se observă atenția acordată factorilor operaționali, care contribuie desfășurarea activității în companie, dar și lipsa factorilor legați de mediu.

Datorită numărului mare de factori considerați, există interdependențe între aceștia în sensul că rezultatele pozitive ce pot fi provocate de un factor influențează în mod direct (de obicei pozitiv) rezultatele pentru un alt factor. Se poate exemplifica în acest sens influența pozitivă pe care o are factorul "Mai puține opriri în producție" din categoria *Productivitate și eficiență* asupra factorului "Reducerea costurilor/cheltuielilor" din categoria *Productivitate și eficiență*.

Tabelul 2.4: Factorii care dinamizează implementarea Industry 4.0 (Szabó și alții, 2020)

Categoria	Factorii / Așteptările
Resurse umane	Creșterea deficitului de forță de muncă
	Reducerea muncii umane
	Alocarea forței de muncă unor zone cu valoare adăugată mai mare
	Satisfacerea cerințelor angajaților, astfel încât compania să rămână un angajator atractiv
	Gestionarea provocărilor pe piața muncii
Resurse financiare și profitabilitate	Încercarea de a reduce costurile/cheltuielile
	Realizarea de beneficii financiare
	Creșterea rentabilității investiției
Piața și competitorii	Concurența pe piață
	Urmărirea tendințelor pieței
	Presiunea din partea concurenței
	Îmbunătățirea poziției pe piață
	Depășirea concurenței
Așteptările managementului	Necesitatea unui control mai mare din partea top-managementului
	Monitorizarea continuă a performanța companiei
	Măsurare performanței în timp real
	Conformare la așteptările managementului
	Asigurarea controlului deplin al proceselor din firmă
Productivitate și eficiență	Reducerea ratei de eroare
	Scăderea timpilor de execuție (conformare la nevoile pieței)
	Creșterea eficienței
	Asigurarea unei funcționări fiabile
	Mai puține opriri în producție
Satisfacția clienților	Cerut de clienți și parteneri
	Îmbunătățirea satisfacției clienților
	Nevoia de îmbunătățire a calității
	Respectarea nevoilor clienților
	Creșterea flexibilității ofertei și a posibilităților de livrare

Modul în care sunt definiți factorii în (Szabó și alții, 2020), sugerează mai mult ca la studiile descrise în (Kagermann et al., 2013) și (Horváth și Szabó, 2019), implicarea tuturor compartimentelor din firmă. Spre exemplu, factorul sau dezideratul "Mai puține opriri în producție" indică clar implicarea compartimentului care se ocupă cu mentenanța în firmă în sistemul Industry 4.0. Legătura dintre producție și mentenanță prin modul în care mașinile pot semnaliza din timp întreruperile și redirija autonom fluxul de producție este tema capitolului 4 al tezei.

O altă abordare interesantă este prezentă în (Müller și alții, 2018a), unde sunt definite trei categorii, care includ fiecare mai mulți factori sau oportunități. Aceste categorii sunt: (1) strategie, (2) operațiuni, (3) mediu și oameni. Factorii asociați fiecărei categorii sunt enumerați în Tabelul 2.5.

Tabelul 2.5: Oportunități oferite de Industry 4.0 care dinamizează implementarea sistemului (Müller și alții, 2018a)

Categoria	Factorii / Oportunitățile
Strategie	Noi modele de afaceri prin Industry 4.0
	Valoare adăugată prin noi oferte pentru creșterea competitivității
Operațiuni	Eficiență sporită
	Diminuarea costurilor
	Calitate superioară a produselor
	Viteză și flexibilitate sporite
	Echilibrarea încărcării și reducerea stocului
Mediu și oameni	Reducerea muncii monotone
	Locuri de muncă adecvate vârstei
	Reducerea impactului asupra mediului

În plus față de lucrările prezentate anterior, (Müller și alții, 2018a) subliniază potențialul bazat pe inovarea modelului de afaceri în logica de afaceri digitale centrate pe date. Sunt de exemplu citate lucrările (Laudien și alții, 2017) și (Arnold și alții, 2017), în care se identifică unele dintre principalele domenii care privesc modificările aduse modelului de afaceri, cum ar fi: crearea de valori bazate pe date și propuneri, tranziția de la produs la ofertele de sistem, personalizare îmbunătățită, intensificată relațiile cu clienții, cunoștințele IT și software ca resurse cheie și interconectarea crescândă ca precum și colaborarea cu partenerii cheie.

Din analiza literaturii de specialitate se observă că există o multitudine de abordări privind identificarea factorilor care pot conduce la accelerarea implementării Industry 4.0. Pentru fiecare factor au fost identificate cauzele care îl susțin și efectele așteptate din partea companiilor în cazul implementării acestuia. Deoarece doresc să identific oportunitatea de implementare a conceptului Industry 4.0 în FIRMĂ și din punctul de vedere al disponibilității partenerilor, dar și pentru a încadra firma în contextul actual în ceea ce privește sistemul Industry 4.0, propun în chestionarul aplicat companiilor o întrebare legată de factorii dinamizatori.

În acest sens, pe baza celor extrase din literatura de specialitate, propun în chestionarul pe care îl aplic companiilor partenerare FIRMEI, la întrebarea 16, zece factori al căror sens îl explicitez în continuare. Acești factori se doresc să fie sintetici, dar acoperitori. Cei zece factori pot fi încadrați pe patru domenii mari, așa cum e prezentat în figura 2.6. Se observă că un factor poate fi determinant pentru mai multe domenii.



Figura 2.6: Domeniile care cuprind practicile Industry 4.0 prioritare în firmă

Concurența în creștere – numărul mare de firme noi sau care provin din regiuni cu economii emergente reprezintă o amenințare pentru firmele românești, atât în ceea ce privește pierderea pieței interne cât și a celei externe. De asemenea, există și tendința unor firme românești puternice de a deveni actori importanți pe piețe externe, deci există și ambiția de expansiune. Aceste abordări se poate observa din răspunsurile date de reprezentanții companiilor cu privire la modul în care aceștia percep concurența ca fiind determinantă în nevoia de a accelera procesul de implementare a conceptului Industry 4.0.

Figura 2.7 reflectă răspunsurile date, iar pentru a evidenția importanța factorului analizat am marcat, în această figură și în următoarele, punctajul mediu acordat factorului respectiv cu linie continuă roșie. Din figură se observă că cel mai puțin amenințate se simt companiile prestatoare de servicii cu piață locală, iar firmele din domeniul producției cu desfacere internațională se simt cele mai amenințate. FIRMA consideră acest factor ca fiind mai important, acordând opt puncte din zece.

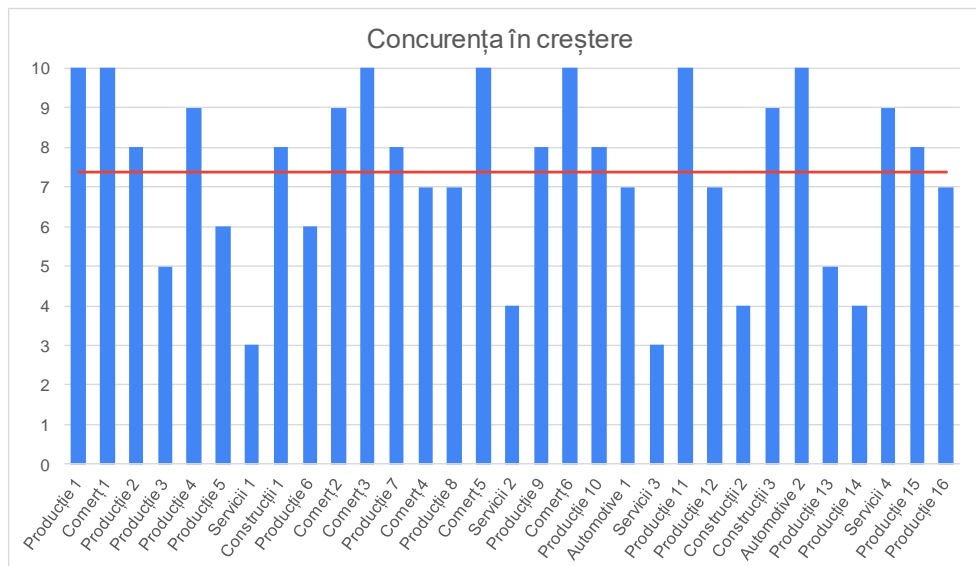


Figura 2.7: Modul în care factorul *Concurența în creștere* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Productivitate și calitate – sunt componente esențiale care determină implementarea noului sistem de producție, fiind bazate în principal pe noile tehnologii și echipamente de producție. Pe lângă faptul că cele două componente favorizează câștigarea pieței și asigură eficienței economice, calitatea conduce și la salvarea de resurse și dezvoltare durabilă.

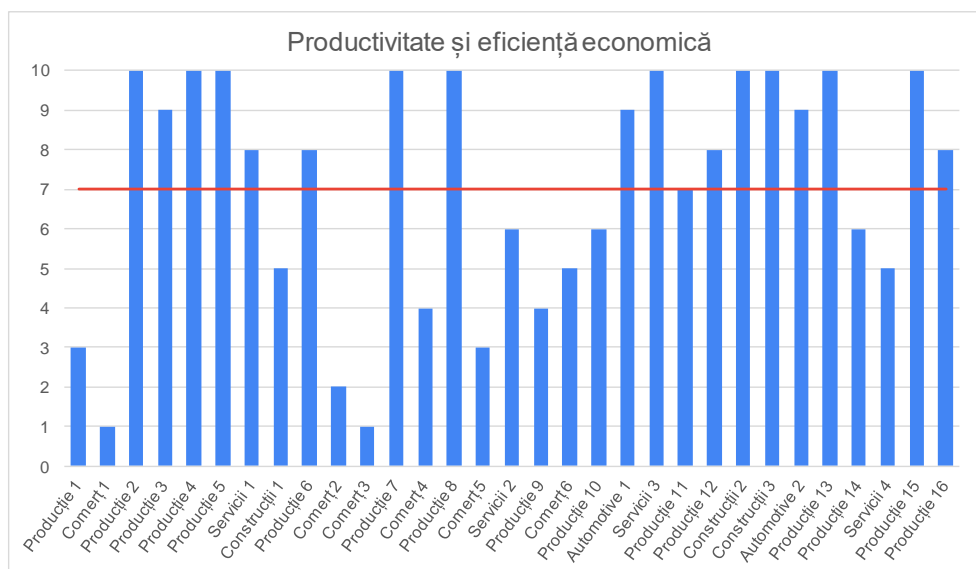


Figura 2.8: Modul în care factorul *Productivitatea și eficiența economică* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Majoritatea companiilor consideră acest factor ca fiind prioritar, în special cele axate pe producția de echipamente și componente de înaltă tehnicitate. Acestui factor îi este acordată o atenție mai mică de către companiile din domeniul comerțului și de cele de producție din industria primară. Trebuie subliniat faptul că aceasta nu înseamnă neapărat că aspectele privind productivitatea și calitatea sunt neglijate, ci se deduce faptul că aceste companii consideră alți factori ca prioritate. Pentru FIRMĂ, acest factor este considerat cel mai important, ceea ce se încadrează în imaginea tipică rezultată din analiză pentru companiile din domeniul producție care au produse cu același nivel de tehnicitate ca și FIRMA.

Utilizarea judicioasă a resurselor (materiale, energetice, umane, financiare) – determină creșterea eficienței economice și o dezvoltare durabilă. Este favorizată de noile tehnologii (inclusiv informatice) și de noile modele de afaceri.

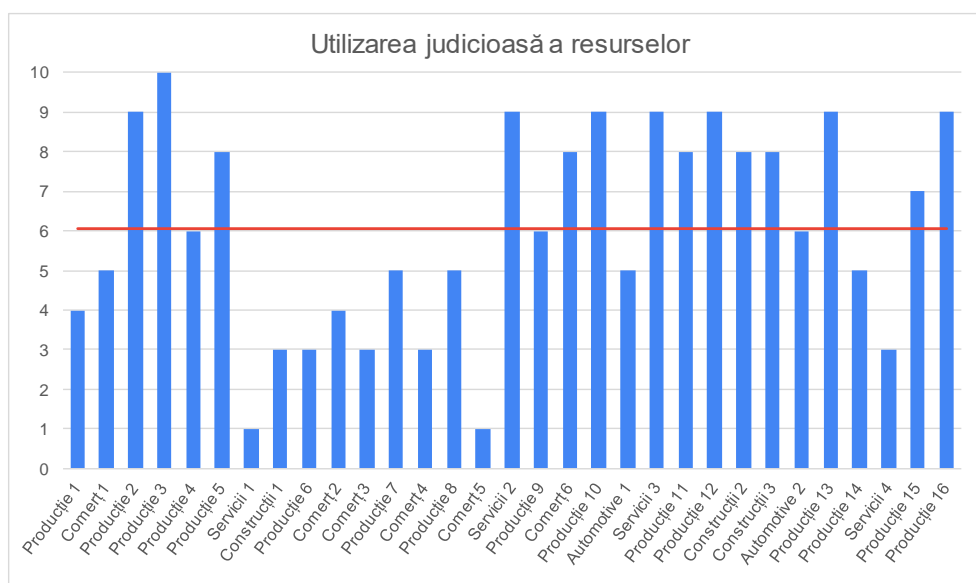


Figura 2.9: Modul în care factorul *Utilizarea judicioasă a resurselor* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Din figura 2.9 se observă că factorul este considerat important de companiile din domeniul producție, acestea fiind în principal interesate de acest aspect. Acest lucru este justificat de faptul că aceste companii sunt mari consumatoare de resurse materiale și/sau umane, deci economisirea de resurse cu efect asupra costului final al produselor este văzut ca un avantaj competitiv. FIRMA, prin acordarea a 9 puncte din 10 pentru acest factor, se înscrie în acest tipar.

Pe de altă parte, companiile din domeniul serviciilor resimt acest factor ca fiind mai puțin relevant, datorită ponderii mai mici în costul final. Oricum, factorul are o pondere mai mare decât media generală.

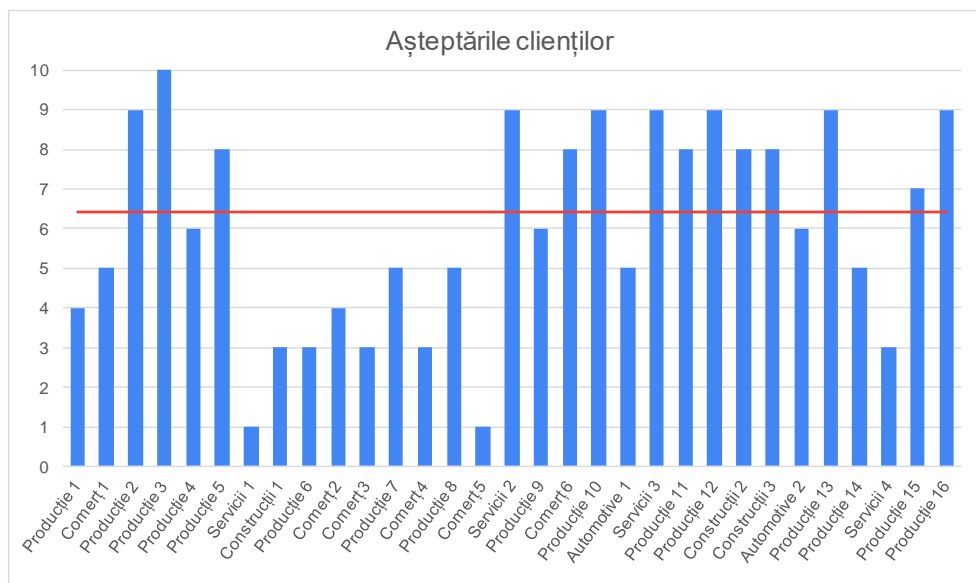


Figura 2.10: Modul în care factorul *Așteptările clienților* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Așteptările clienților – în ceea ce privește calitate, diversitatea produselor și timpul de livrare sunt factori care determină managementul firmei să implementeze noile tehnologii. Prin satisfacerea așteptării clienților se poate câștiga piață de desfacere. Favorizată de introducerea de noi servicii anexe ale produselor (mentenanță, consultanță etc.). Companiile producătoare de bunuri și servicii sunt cele mai interesate de acest aspect.

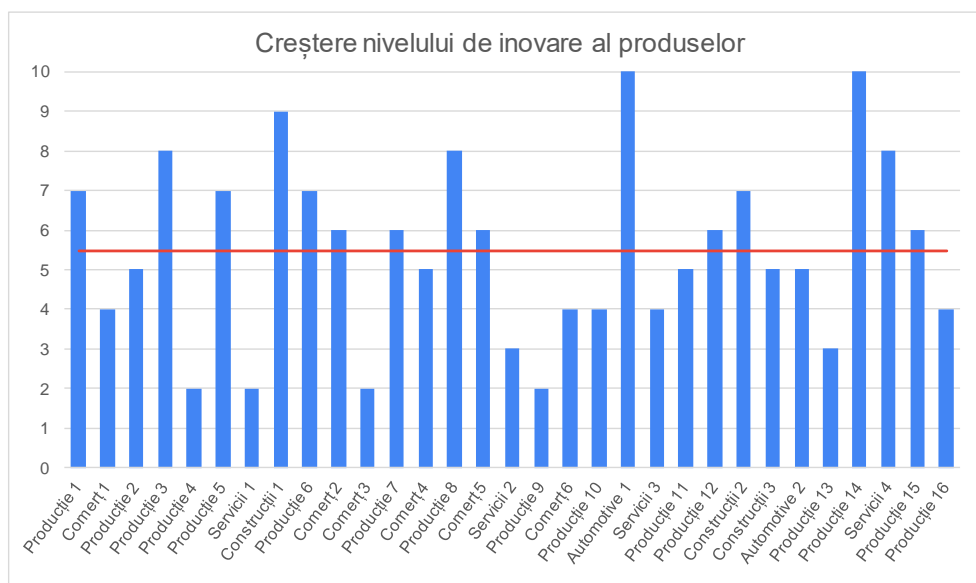


Figura 2.11: Modul în care factorul *Creșterea nivelului de inovare al produselor* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Creșterea nivelului de inovare al produselor – este favorizat de introducerea noilor tehnologii și răspunde factorului care este *așteptarea clienților*. De multe ori chiar excedă acest factor prin inducerea unor nevoi de care clienții nu sunt conștienți până la lansarea produsului. Ritmul în care noile produse inovative pot fi lansate pe piață crește prin utilizarea modelării și simulării la dezvoltarea acestora. De asemenea, realitatea virtuală și realitatea augmentată permit promovarea produselor inovative chiar înainte de realizarea lor fizică.

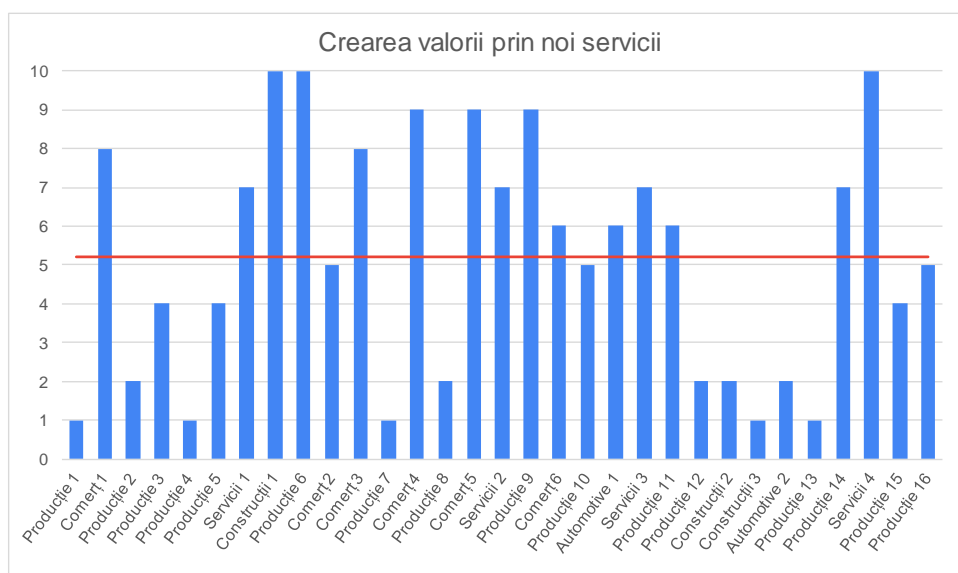


Figura 2.12: Modul în care factorul *Crearea valorii prin noi servicii* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Crearea valorii prin noi servicii – este rezultatul inovării tehnologice și a modelului de afaceri, care asigură satisfacerea unor nevoi actuale sunt anticipate de furnizorii de servicii. Crearea de valoare este scopul principal al oricărei companii, valoarea contribuind esențial la vânzarea de produse și servicii. Crearea de valoare este din ce în ce mai mult recunoscută ca un obiectiv de management mai relevant decât strict performanța financiară. Drept urmare, crearea de valoare se recomandă să fie prima prioritate pentru toți angajații și toți decidenții din companii. Cu toate acestea, se observă că majoritatea companiilor analizate care au producția ca activitatea principală nu abordează acest criteriu ca fiind o prioritate, ceea ce arată că managerii nu conștientizează încă suficient existența multitudinii de oportunități de valorificare pe care le oferă fiecare produs al companiei.

Srijin pentru activități de management – este susținut în special prin introducerea tehnologiilor informatice (digitizare, big data, data mining). Permite cunoașterea de către decidenți a situației firmei în timp real, atât din punct de vedere financiar, dar și a disponibilității resurselor proprii și ale partenerilor (furnizori sau beneficiari), permițând stabilirea unor trasee de fabricație flexibile și optimizate. Acest suport pentru activități de management interferă cu un alt factor, acela al noilor modele de afaceri. Srijinul pentru activitățile de management este factorul apreciat ca fiind cel mai relevant în implementarea strategiilor și a sistemului Industry 4.0

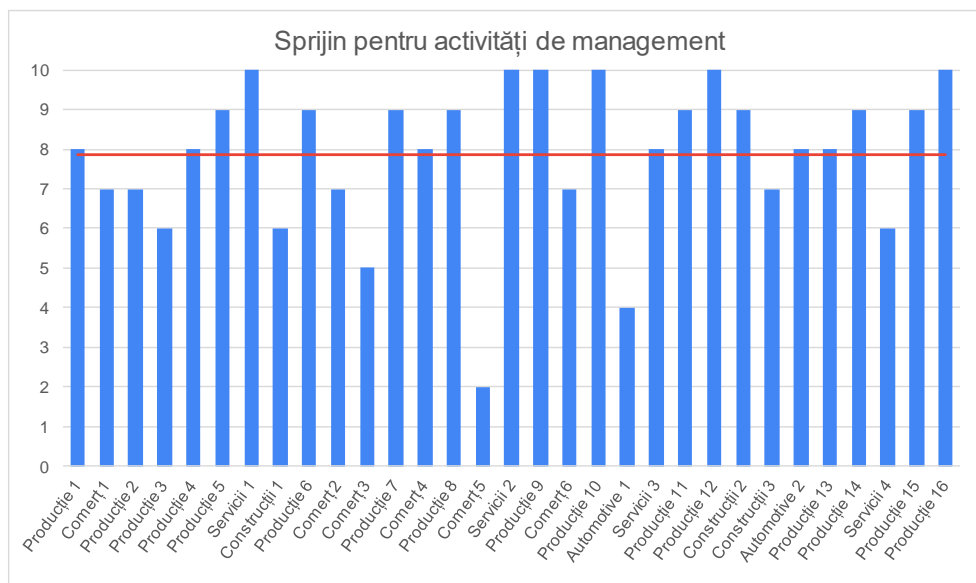


Figura 2.13: Modul în care factorul *Sprijin pentru activități de management* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

Inovarea privind modelul de afaceri – se referă la conceptualizarea și implementarea unor noi modele de afaceri. Aceasta se realizează prin: (i) dezvoltarea unui nou model de afaceri de la zero; (ii) transformarea modelului de afaceri; (iii) preluarea și integrarea unui model de afaceri. Prin acționarea la timp în sensul inovării privind modelul de afaceri crește capacitatea de răspuns al companiei la schimbare și acest factor devine un avantaj competitiv.

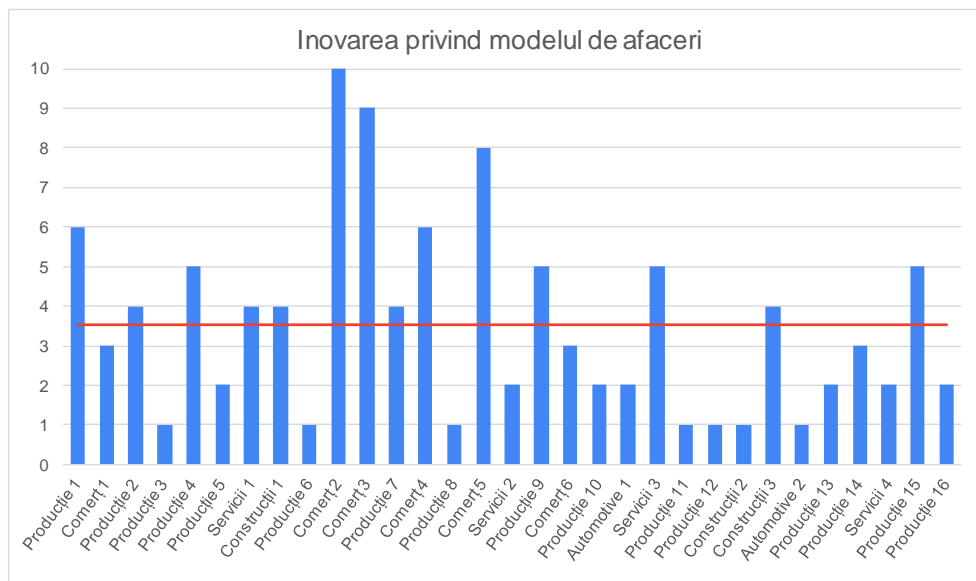


Figura 2.14: Modul în care factorul *Inovarea privind modelul de afaceri* este perceput ca un accelerador al implementării Industry 4.0

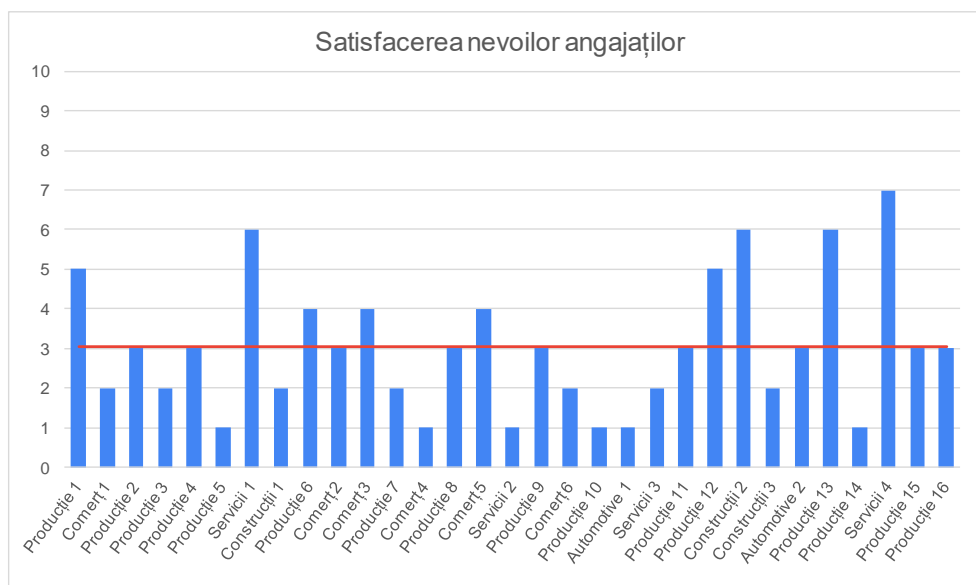


Figura 2.15: Modul în care factorul *Satisfacerea nevoilor angajaților* este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0

Satisfacerea nevoilor angajaților – este un element cheie pentru dezvoltarea durabilă a companiei. Aceasta trebuie să-și păstreze angajați valoroși pentru a sigura o creștere pe termen lung și a deține un avantaj față de concurență. Atitudinea angajaților este una dintre problemele majore cu care se confruntă organizațiile. O persoană care este tratată bine la locul de muncă, are perspective de promovare, este apreciată de superiorii săi, își primește salariul la timp este loială companiei și nu se gândește să își schimbe locul de muncă. Angajații valoroși și cu vechime contribuie mai eficient decât noii veniți la succesul companiei. Cu toate acestea, cei mai mulți respondenți asociază în mică măsură satisfacerea nevoilor angajaților cu un factor care stimulează implementarea Industry 4.0.

Dezvoltarea durabilă – se referă la acel model de dezvoltare care implică gestionarea în mod integrat a aspectelor economice, sociale și de mediu. Acest model conduce la dezvoltare fără a compromite în viitor capacitatea de satisfacere a nevoilor societății ([Report A/42/427, 1987](#)). În acest context, companiile trebuie să își asigure succesul prin valorificarea oportunităților care rezidă din satisfacerea nevoilor sociale și din alinierea la standardele de mediu.

O privire de ansamblu legată de percepția respondenților din companiile analizate privind cei zece factori analizați care contribuie la accelerarea implementării Industry 4.0 este dată în figura 2.17. Sistemul Industry 4.0 este perceput ca un instrument util în managementul companiilor, prin implementarea sistemului fiind urmărită creșterea nivelului și vitezei cu care managerii au acces la informații relevante din cadrul firmei. O pondere mare se acordă și aspectelor economice, legate de eficiența utilizării resurselor, creșterea productivității și reducerea cheltuielilor prin limitarea resurselor necesare pentru atingerea obiectivelor. În viziunea respondenților acești factori sunt esențiali în creșterea competitivității pe piața globală.

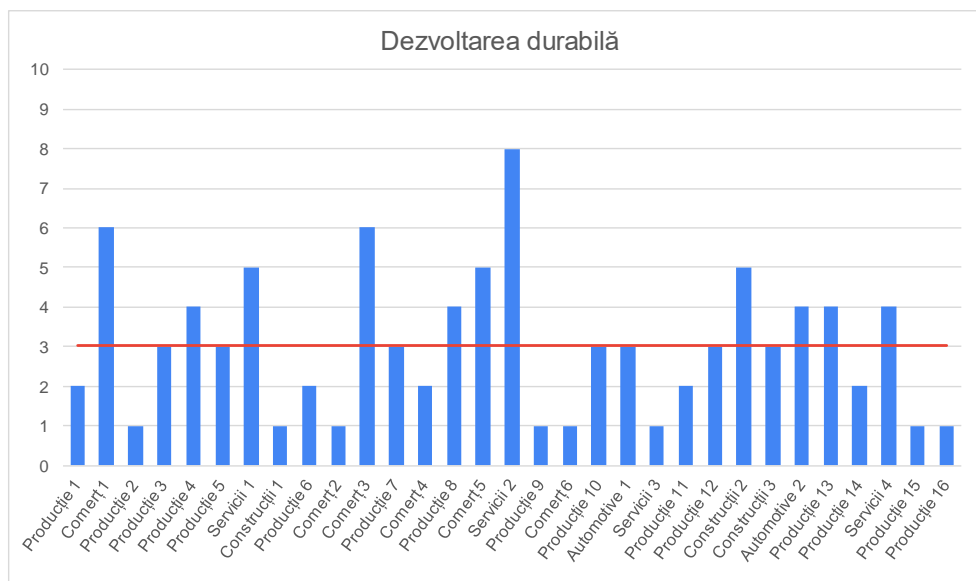


Figura 2.16: Modul în care factorul *Dezvoltarea durabilă* este perceput ca un accelerator al implementării Industry 4.0

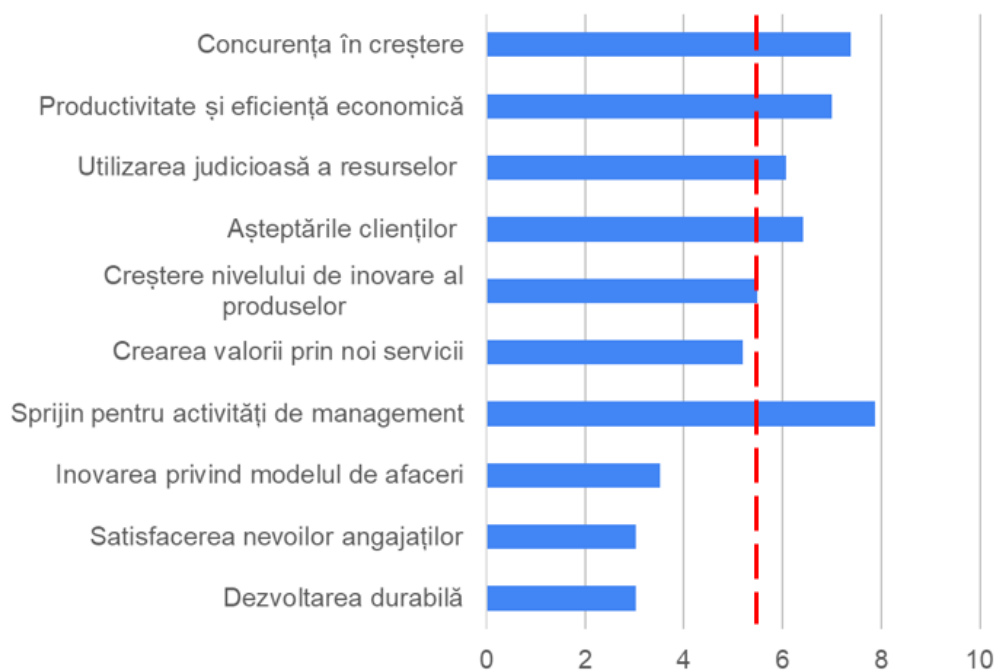


Figura 2.17: Percepția companiilor privind ponderea celor zece factori analizați care stimulează implementarea Industry 4.0

În ceea ce privește inovarea în domeniul sistemului de management și al produselor/serviciilor oferite, aceasta are alocată un rol mai redus. De asemenea, mai puțin în vizorul respondenților sunt dezvoltarea durabilă și satisfacerea nevoilor angajaților, elemente pe care aceștia probabil că nu le asociază cu factori care sunt în legătură directă cu compania. Din răspunsuri se observă că revoluția Industry 4.0 nu este percepută ca o schimbare radicală, ci mai degrabă ca o prelungire a celei de-a treia revoluții industriale. Aceasta se observă și din figura 2.5, unde se pune accentul pe tehnologie avansată în mai mare măsură decât pe sisteme inteligente și facilitățile inteligenței artificiale. Aceasta este explicabil prin aceea că la nivel național nu există încă un program coerent de implementare a sistemului Industry 4.0 și nici sistemul de învățământ nu promovează specializări și discipline legate de acest domeniu.

O imagine mai fidelă se obține prin agregarea factorilor pe cele patru domenii indicate în figura 2.6. Aceasta s-a realizat prin calcularea mediei ponderate a mediilor obținute pentru cei zece factori considerați. Datele sunt reprezentate grafic în figura 2.17 și prezentate alături de cele din studiul efectuat de [Horváth și Szabó \(2019\)](#) respectiv de [Szabó și alții, \(2020\)](#) în tabelul 2.6.

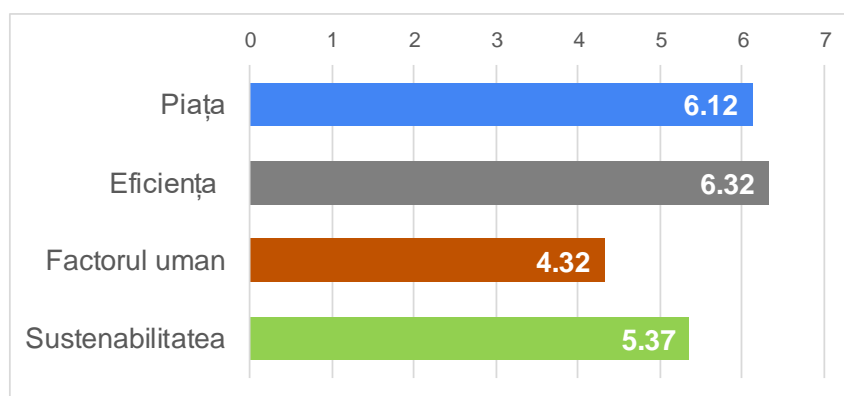


Figura 2.18: Importanța acordată domeniilor care caracterizează practicile Industry 4.0

Tabelul 2.6: Efectul factorilor agregați pe domenii asupra implementării Industry 4.0

Domeniul	Studiul actual	Szabó și alții	Horváth și Szabó		Domeniul
	poziție	poziție	IMM-uri	Multinat.	
Eficiența	1	2	mediu	mediu	Productivitatea
		3	scăzut	ridicat	Profitabilitatea
Piața	2	1	ridicat	ridicat	Satisfacția clienților
		6	scăzut	ridicat	Piața și competitorii
Sustenabilitatea	3	4	scăzut	ridicat	Managementul
Factorul uman	4	5	ridicat	scăzut	Resursa umană

Rezultatele studiului de față concordă cu cele din (Szabó și alții, 2020), prin aceea că se obține aceeași ordine dacă facem o asociere a factorilor și apoi media pe criteriile similare din această lucrare cu *Eficiența*, respectiv *Piața*. Se observă o relativ bună corelare a răspunsurilor obținute în studiul de față cu cele date de companiile multinaționale (Horváth și Szabó, 2019). Resursa umană este în toate studiile pe ultimul loc, cu excepția cazului firmele mici în studiul efectuat de Horváth și Szabó, (2019). Aici ea este apreciată ca fiind un factor de accelerare a implementării Industry 4.0 de către IMM-uri, mai dependente de acest element, aceste firme având și o libertate mai mare de acțiune.

2.5. Percepția privind factorii care pot frâna implementarea sistemului de producție Industry 4.0

Din literatura de specialitate (Gracel și Łebkowski, 2017; Horváth și Szabó, 2019) sunt extrași și principalii factorii care pot inhiba implementarea sistemului Industry 4.0 de către companii. În lucrările analizate se prezintă barierele implementării Industry 4.0 fără a face o grupare a factorilor. Din tabelul 2.7 se observă că în ambele lucrări sunt considerați 8 - 9 factori, oarecum similari. Tabelul nu reflectă ordinea importanței acestor factori.

Tabelul 2.7: Bariere în implementarea Industry 4.0

Gracel și Łebkowski	Horváth și Szabó
Lipsa curajului în a trece prin schimbări radicale	Rezistență organizațională – opoziție la schimbare
Lipsa abilităților necesare pentru a determina schimbarea	Resurse umane și mediul de muncă
-	Lipsa resurselor financiare
Îngrijorare legată de securitatea cibernetică	Îngrijorări legate de securitatea cibernetică și de proprietatea datelor
Îngrijorare legată de proprietatea datelor	
Provocări legate de integrarea datelor provenite din surse disparate	-
Incertitudini privind externalizarea proceselor și lipsa informațiilor privind potențialii furnizorii	Lipsa abilităților de planificare
	Integrare tehnologică
	Probleme de standardizare
Lipsa modelelor de business care să justifice investiții în tehnologia IT	Riscul de eșec
Dificultatea în coordonarea acțiunilor	Dificultate de coordonare între unitățile organizaționale

Există o serie de lucrări (Adolph și alții, 2014; Erol și alții, 2016; Kiel și alții, 2017), care stau la baza studiului efectuat de Horváth și Szabó (2019), care concluzionează că cea mai mare provocare și totodată îngrijorare privind

implementarea cu succes a sistemului Industry 4.0 o constituie lipsa, în suficientă măsură, a forței de muncă calificate în acest sens.

O analiză mai amplă privind deficiența de resursă umană este dată în (Stentoft și alții, 2019), care face distincție între management și angajați. Lipsa competențelor adecvate din partea managementului atrage după sine și lipsa curajului în a produce schimbări radicale. Aceste deficiențe se reflectă de obicei prin atenția acordată prioritar operațiunilor și nu dezvoltării companiei (Arlbjørn și Mikkelsen, 2014). În funcție de cultura organizațională și de componența echipei manageriale, dar și de mărimea firmei, se disting entități la care conducerea este centralizată sau chiar dependentă de o persoană (Khazode și alții, 2021).

Deficiențele semnalate la nivelul angajaților, care pot fi numeric insuficienți dar și insuficient pregătiți - în funcție de stadiul de dezvoltare al economiei din diverse țări, atrage după sine și opoziție la schimbare. Modificarea condițiilor de lucru poate atrage, pe lângă rezistența, și conflicte în organizație (Bauer și alții, 2015).

Rolul culturii organizaționale este esențial în transformare Industry 4.0. Acest lucru este legat de gestionarea rezistenței organizaționale și obținerea acceptării culturale a inovațiilor, fiind o sarcină prioritară în implementarea proiectelor Industry 4.0 (Vey și alții, 2017; von Leipzig și alții, 2017).

Lipsa resursei financiare este o barieră prezentă în marea majoritate a studiilor, indiferent de nivelul de dezvoltare al țării supuse analizei (Walendowski și alții, 2016; Mol-Gomez-Vazquez și alții, 2019; Khazode și alții, 2021; (Ahiawodzi și Adade, 2012). Totuși, această barieră este mai semnificativă la IMM-uri și mai puțin relevantă la companiile mari sau cele multinaționale (Riviezzo și alții, 2019; Choudhary și alții, 2019).

O discuție amplă despre securitatea și proprietatea datelor se poate găsi în mai multe lucrări actuale (Cimini și alții, 2017b; Kiel și alții, 2017) dar și în rapoarte de specialitate (McKinsey & Company, 2016). Pe de altă parte, Weber și Studer (2016) abordează și aspectele legale care influențează securitatea cibernetică. Răspândirea noilor tehnologii de comunicare conduce la intensificarea temerilor privind manipularea în siguranță a informațiilor și datelor private, chiar dacă soluții tehnice legate de protejarea datelor individuale și a păstrării confidențialității se dezvoltă continuu (Heurix și alții, 2015).

Necesitatea integrării tehnologice a fost identificat (Kiel și alții, 2017) ca fiind cel mai important factor inhibitor. Integrarea cu succes a componentelor, instrumentelor și metodelor necesită dezvoltarea unei interfețe flexibile, deoarece sincronizarea diferitelor limbaje, tehnologii și metode poate duce la provocări semnificative. Integrarea presupune și accesul la tehnologii și echipamente compatibile și performante, ceea ce este greu de realizat pentru firmele mici sau din economii nu foarte avansate (Khazode și alții, 2021).

Introducerea de noi tehnologii poate crește în mod semnificativ dificultatea coordonării între unitățile organizaționale (McKinsey & Company, 2016), deoarece multe companii nu au dezvoltat încă studii care să contureze clar arhitectura bazelor de date și a sistemelor de comunicare și producție necesare pentru implementarea fabricației în concept Industry 4.0. Acest lucru, care are ca motiv și de faptul că multe companii nu sunt pe deplin convinse de beneficiile utilizării noilor tehnologii (Basl, 2017) creează o barieră suplimentară în calea adoptării Industry 4.0.

Factorii care frânează implementarea Industry 4.0 sunt prezentați într-o manieră structurată în (Szabó și alții, 2020). În acest studiu sunt identificate 5 categorii, fiecare categorie având asocia unul sau mai mulți factori, vezi tabelul 2.8. În principiu sunt factori similari cu cei prezentați în tabelul 2.7, dar mai compleți și mai clar definiți.

Tabelul 2.8: Factorii care frânează implementarea Industry 4.0 (Szabó și alții, 2020)

Categoria	Bariere
Resurse umane	Lipsa competențelor în companie
	Lipsa resursei umane având cunoștințe legate de Industry 4.0
	Timpi îndelungat necesar pentru training
Resurse financiare și profitabilitate	Lipsa resurselor financiare
	Randamentul investițiilor și profitul
	Disponibilitate limitată a resurselor financiare
Managementul	Lipsa managerilor cu abilități, competențe și experiență adecvate
	Lipsa unei strategii de implementare a Industry 4.0
	Lipsa unei planificării coordonate privind resursele și obiectivele
Organizarea	Structura organizațională inadecvată
	Rezistența din partea angajaților
	Organizare inadecvată a proceselor
	Rezistență din partea managementului de mijloc
Integrarea tehnologică și a proceselor, cooperare	Lipsa dorinței de a colabora într-un lanț de producție
	Lipsa unei gândiri adecvate
	Lipsa unui protocol de comunicare integrat
	Lipsa standardelor privind tehnologia și procesele

În plus față de factorii din tabelul 2.7, Szabó și alții (2020) consideră lipsa unei standardizări adecvate ca barieră, deoarece standardizarea ar trebui să asigure o bună cooperare între organizații. Pe lângă standardele și normele din domeniul tehnic, lipsa legislației în domeniu este considerată și ea o barieră în implementarea Industry 4.0 (Huang și alții, 2013; Trappey și alții, 2017).

La fel ca la prezentarea factorilor stimulativi, Müller și alții (2018a) clasifică barierele în implementarea Industry 4.0 în trei categorii, așa cum este prezentat în tabelul 2.9. Se observă că în acest studiu au fost identificați mai puțini factori care inhibă implementarea sistemului Industry 4.0. Explicația poate consta în aceea că analiza s-a făcut pe 746 de firme din industria germană, din domeniile automotive, electric/electronic, prelucrări mecanice, chimie, metalurgie, firme care dețin tehnologii avansate și resurse financiare proprii sau atrase suficiente.

Tabelul 2.9: Bariere în implementarea Industry 4.0 (Müller și alții, 2018a)

Categoria	Bariere
Competitivitate și funcționare viitoare	Modelele de afaceri actuale nu mai sunt potrivite
	Pierderea flexibilității/independenței
	Standardizare
	Transparența
Organizare și mod de producție adecvate	Efort ridicat privind implementare în ceea ce privește, de exemplu, costurile și standardizarea
Calificarea și acceptanța angajaților	Temerile și îngrijorările angajaților
	Lipsa de experiență

Analizând literatura de specialitate se poate constata că și în ceea ce privește identificarea factorilor care pot frâna implementării Industry 4.0 există o multitudine de abordări. Pentru fiecare factor au fost identificate cauzele care îl susțin și efectele așteptate din partea companiilor în cazul implementării acestuia. Deoarece doresc să identific temerile partenerilor FIRMEI privind implementarea conceptului Industry 4.0 și implicit să determin disponibilitatea acestora de a lucra în acest sistem propun în chestionarul aplicat companiilor o întrebare legată de factorii care în opinia lor constituie o problemă în colaborarea în logica Industry 4.0.

Pe baza celor prezentate anterior, propun în chestionarul pe care îl aplic companiilor partenere FIRMEI, la întrebarea 17, zece factori al căror sens îl explicitez în continuare. Acești factori, care se doresc a fi sintetici dar acoperitori, îi încadrez în patru domenii mari, așa cum e prezentat în figura 2.19. Se observă că un factor poate fi determinant pentru mai multe domenii.

Management și organizare	<ul style="list-style-type: none"> • Lipsa unei platforme de colaborare între organizații • Opoziție la schimbare • Lipsa modelelor de business sau a exemplilor de bune practici • Lipsa voinței de a face parte din lanțuri de producție
Resursa financiară și infrastructura	<ul style="list-style-type: none"> • Lipsa resurselor financiare • Lipsa echipamentelor și tehnologiilor necesare implementării schimbării
Factorul uman	<ul style="list-style-type: none"> • Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea • Rezistență organizațională - opoziție la schimbare
Securitatea și utilizarea datelor	<ul style="list-style-type: none"> • Îngrijorare legată de securitatea cibernetică • Îngrijorare legată de proprietatea datelor • Analiza/integrarea datelor din surse disparate

Figura 2.19: Domeniile care cuprind factorii care pot inhiba implementarea Industry 4.0

Rezistență organizațională - opoziție la schimbare, ca prim factor analizat, ia în calcul atitudinea managementului și a angajaților față de schimbarea impusă de noua paradigmă. Modificările în structura organizațiilor și opoziția angajaților și a managementului mijlociu la schimbare par să nu fie principala barieră. Trebuie totuși ținut cont că modificările aduse de conceptul Industry 4.0 în modul de funcționare a companiilor nu sunt pe deplin cunoscute așa cum nu sunt cunoscute nici implicațiile asupra forței de muncă.

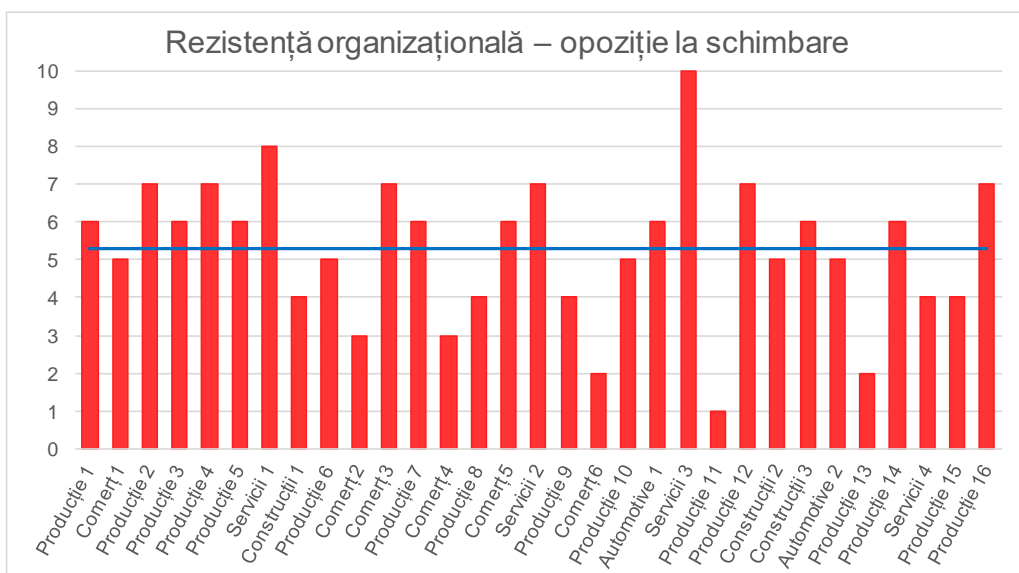


Figura 2.20: Modul în care factorul *Rezistență organizațională – opoziție la schimbare* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Din analiza figurii 2.20 se poate observa că firmele mari și care oferă servicii de tip monopol sunt mai degrabă îngrijorate de rezistența la schimbare. Din această categorie mai fac parte și firme de producție mari și/sau cele care au produse mai puțin inovative. Cea mai mică îngrijorare se manifestă la firmele care fac parte sau colaborează constant cu companii multinaționale. Aceste firme aplică deja parțial, intenționat sau nu, principiile Industry 4.0.

Dacă comparăm răspunsurile privind *Rezistență organizațională - opoziție la schimbare* cu cele care vizează *Satisfacerea nevoilor angajaților* sintetizate în figura 2.15, observăm că respondenții care consideră opoziția la schimbare ca fiind o barieră însemnată consideră și faptul că prin schimbare nu aduce satisfacție angajaților și aceasta nici nu este o prioritate importantă a firmei. Un exemplu relevant este firma Servicii 3, care consideră opoziția la schimbare ca fiind principala barieră.

Pe de altă parte, *Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea* este considerată ca fiind cea mai serioasă constrângere de către respondenți. Acesta poate fi pusă pe seama lipsei în rândul angajaților a cunoștințelor legate de modul de operare în contextul Industry 4.0, dar și de lipsa organizațiilor care oferă training și consultanță.

De asemenea, învățământul actual nu include în aria curriculară, sau nu prezintă în mod structurat și coerent, discipline legate de conceptul Industry 4.0. Acest concept lipsește din aproape toate programele de studii de la toate nivelurile de educație, ceea ce face ca absolvenții să nu dețină competențele și abilitățile necesare pentru a determina schimbarea.

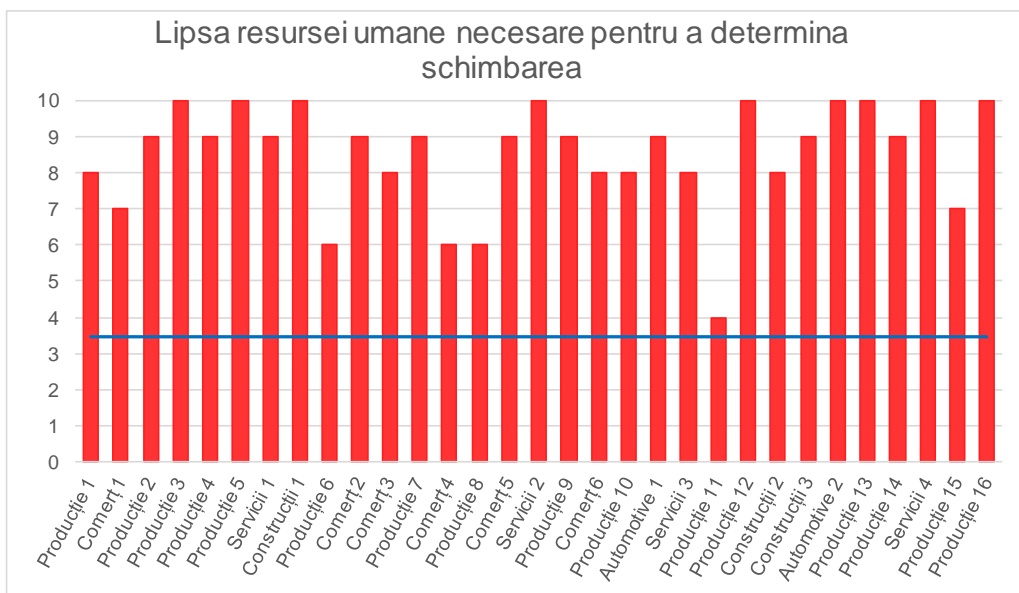


Figura 2.21: Modul în care factorul *Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Dacă comparăm răspunsurile sintetizate în figura 2.21 cu cele care vizează *Satisfacerea nevoilor angajaților*, prezentate în figura 2.15, observăm că respondenții nu consideră acest factor favorizant ca fiind important, chiar dacă menținerea angajaților valoroși și cu vechime ar trebui să fie o prioritate. Aceștia, prin faptul că cunosc firma și modul de lucru, pot contribui eficient la implementarea cu succes a Industry 4.0. Aspectul se referă însă și la atragerea de angajați tineri sau cu experiență, care să contribuie decisiv la schimbare.

Lipsa resurselor financiare are o pondere medie între posibilele bariere care pot frâna implementarea Industry 4.0. Din figura 2.22 se observă că firmele de producție sunt cele mai îngrijorate de lipsa resurselor financiare. Faptului că firmele de producție sunt mai preocupate de aspectele financiare ale tranziției la sistemul Industry 4.0 se justifică prin necesitatea de echipamente, mașini și utilaje moderne. Cel mai mari valori la acest criteriu sunt atribuite de către firmele care nu sunt încă integrate în lanțuri de producție sau care au un grad de inovare al produselor mai mic. Pe de altă parte, firmele care fac parte sau colaborează cu companii multinaționale resimt mai puțin presiunea financiară ca o barieră în implementarea Industry 4.0. De fapt, acesta conștientizează utilitatea investițiilor în resursa umană, echipamente și software pentru a asigura succesul firmei.

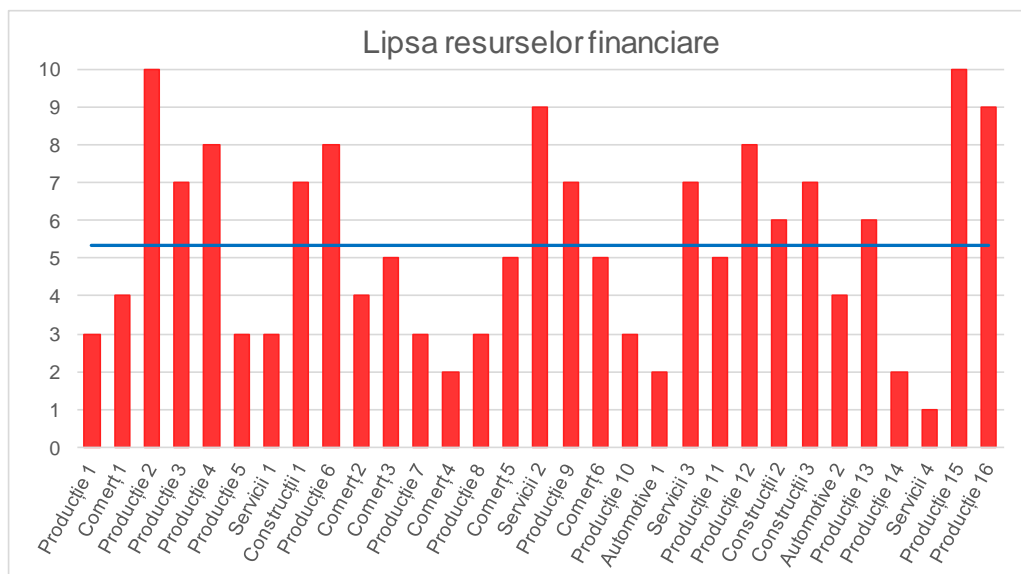


Figura 2.22: Modul în care factorul *Lipsa resurselor financiare* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Privit dintr-un alt punct de vedere, observăm că firmele care au o componentă de cercetare/dezvoltare/inovare și dezvoltă proiecte respectiv noi tehnologii sunt mai puțin îngrijorate de aspectele financiare ale transformării. Aceasta se poate deduce din figura 2.23, în care se compară criteriile *Lipsa resurselor financiare* și *Îngrijorare legată de proprietatea datelor*. Se observă că există o relație inversă între cele două bariere: cu cât firma este mai preocupată de proprietatea datelor, cu atât este mai puțin preocupată de aspectele financiare ale tranziției.

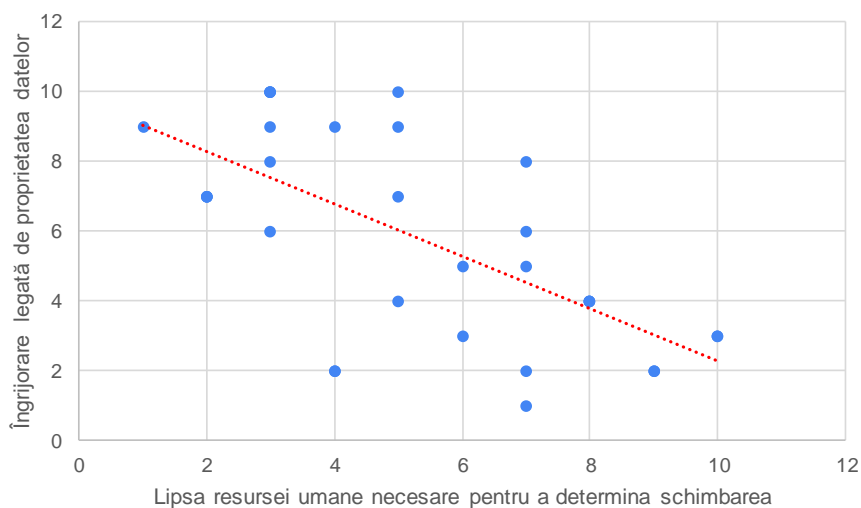


Figura 2.23: Dependența dintre criteriile *Lipsa resurselor financiare* și *Îngrijorare legată de proprietatea datelor*

Îngrijorare legată de securitatea cibernetică este în principal o temă pentru firmele din domeniul comerțului și serviciilor, așa cum se poate observa în figura 2.24. Există și organizații din domeniul producției, în special cele care desfășoară și activități de cercetare/dezvoltare/inovare și dețin elemente de proprietate intelectuală, pentru care securitatea cibernetică constituie o problemă. Această barieră, care a obținut un punctaj peste medie, este totuși cel mai ușor de înlăturat, deoarece există soluții privind securitatea cibernetică dar și specialiști în domeniu care pot fi cooptați ca angajați sau colaboratori.

Un aspect de care se ține seama când se are în vedere securitatea cibernetică este vulnerabilitatea sistemului informatic al organizației, dar și al angajaților, care pot permite din neglijență accesul la informații prin platformele personale.

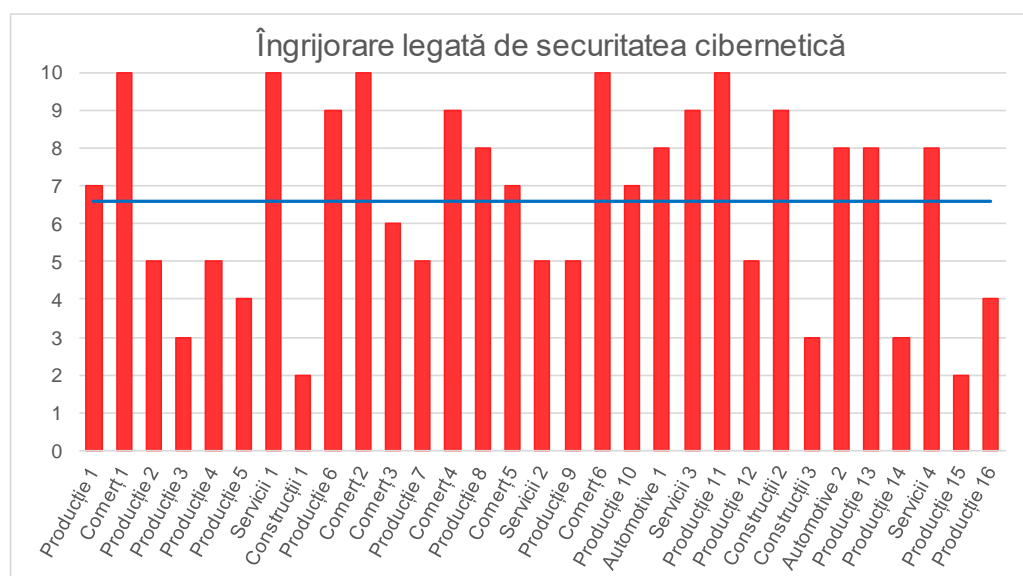


Figura 2.24: Modul în care factorul *Îngrijorare legată de securitatea cibernetică* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Proprietatea datelor este un subiect actual și care prezintă interes pentru respondenți, valoarea acordată acestui criteriu situându-se pe medie. Îngrijorarea legată de proprietatea datelor se referă atât pentru datele cu caracter personal, cât și la proprietatea industrială în diversele ei forme sau la datele financiar-contabile. Cele mai uzuale forme de proprietate intelectuală specifice sectorului industrial sunt: brevetul de invenție (patentul), desenul sau modelul industrial și modelul de utilitate. Brevetele protejează invențiile și descriu utilitatea, construcția și/sau modul de funcționare. Se pot breveta echipamente, tehnologii, metode etc. Brevetele nu se limitează la probleme tehnice, se poate breveta chiar și o nouă metodă de afaceri. Desenul sau modelul industrial este destinat protejării aspectului exterior al produsului și poate fi o reprezentare 2D sau 3D. Modelul de utilitate protejează invențiile tehnice susceptibile de aplicare industrială care depășesc nivelul unei simple îndemânări profesionale. Aceste date se pot proteja, dar procesul este de durată (de ordinul anilor) și de multe ori firmele neglijează protejarea legală. Pe lângă datele care constituie proprietate industrială, organizațiile dispun și de proiecte tehnice, tehnologii etc care nu pot fi protejate.

Date importante pentru firme sunt și numele furnizorilor și a beneficiarilor, actele administrative și financiar-contabile. Desigur, în această ultimă categorie există o serie de date care se raportează și sunt publice. Ținând cont de faptul că transparența este unul dintre principiile conceptului Industry 4.0, este necesar să se găsească un echilibru între datele care se fac publice și cele confidențiale, iar acestea din urmă trebuie protejate corespunzător.

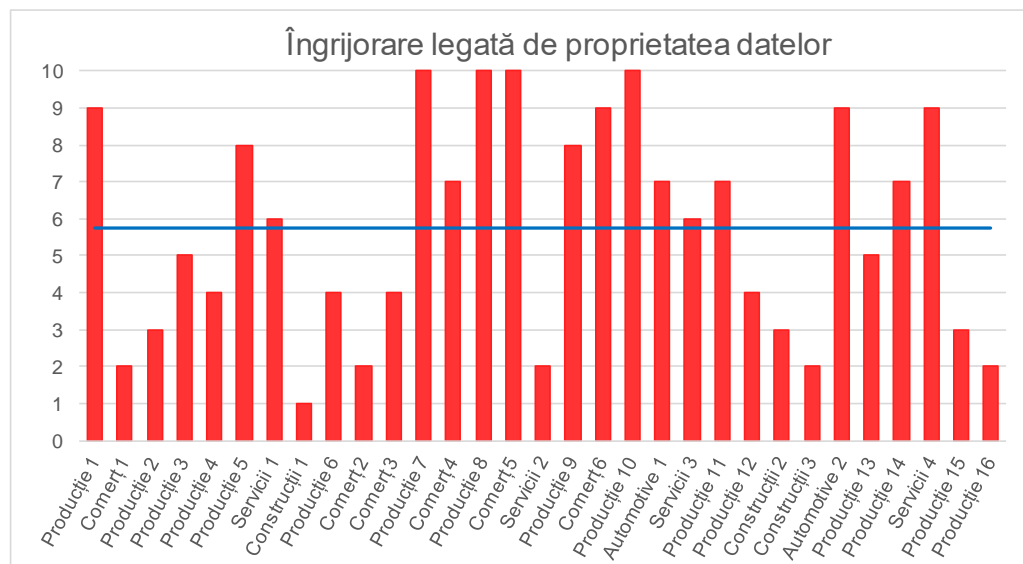


Figura 2.25: Modul în care factorul *Îngrijorare legată de proprietatea datelor* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Din figura 2.25 se observă că organizațiile care consideră proprietatea datelor ca fiind o barieră relevantă sunt cele din domeniul producției care au activități de cercetare/dezvoltare/inovare dar și unele din domeniul serviciilor.

Provocările legate de analiza/integrarea datelor din surse disparate este a doua cea mai importantă barieră considerată de respondenți. Aceasta se justifică prin faptul că la majoritatea firmelor numeroase tipuri de date sunt introduse manual în sistemul informatic. În plus, în general nu există compatibilitate între programele folosite de departamentele din cadrul aceleiași organizații, iar legătura dintre diversele platforme utilizate este quasiinexistentă. *Cloud computing* este de asemenea o facilitate rar utilizată în cadrul organizațiilor.

Colaborarea cu alte firme, furnizori și beneficiari, necesită de asemenea compatibilitate și transparență, motiv pentru care firmele pentru care integrarea și analiza datelor nu constituie o provocare majoră provin din domeniul comerțului și serviciilor și sunt de obicei firme mici.

Pe lângă compatibilizarea datelor, o provocare este și analiza datelor în cantitate mare, care de regulă presupune utilizarea metodelor statistice sau mai actual a inteligenței artificiale. Deoarece firmele românești nu sunt familiarizate cu utilizarea tehnicilor de inteligență artificială, această barieră constituie una din cele mai importante provocări.

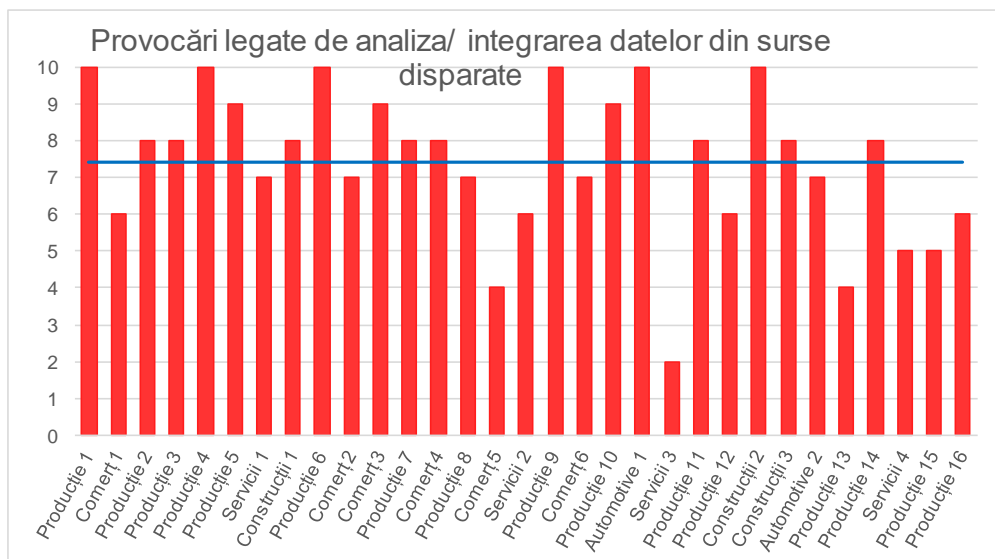


Figura 2.26: Modul în care factorul *Provocări legate de analiza/ integrarea datelor din surse disparate* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Lipsa forței de muncă calificate în domeniile precum big data, data mining, cloud computing etc. amplifică îngrijorarea legată de analiza/integrarea datelor din surse multiple. Aceasta se poate observa din figura 2.27 prin tendința de grupare a răspunsurilor în colțul din dreapta sus a diagramei.

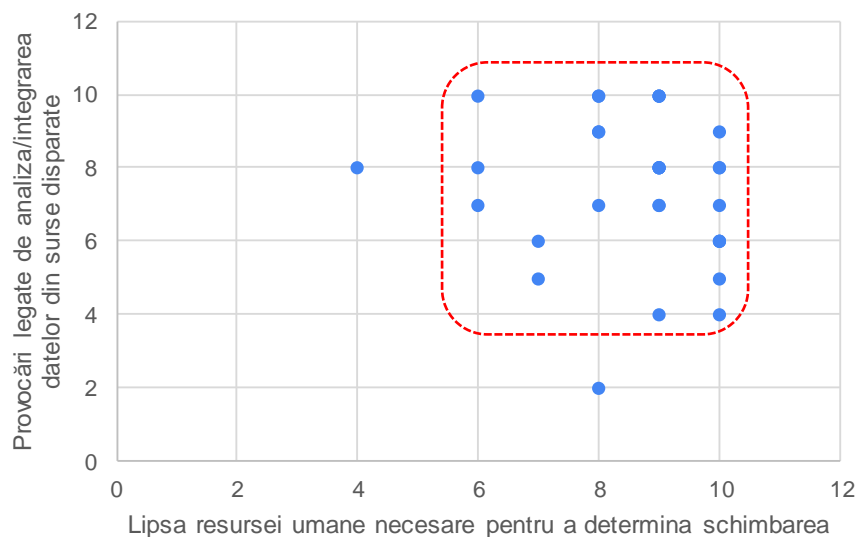


Figura 2.27: Analiza modului în care factorul *Lipsa resursei umane* este asociat cu *Provocările legate de analiza/integrarea datelor din surse disparate*

În ceea ce privește *voința firmelor de a face parte din lanțuri de producție*, răspunsurile sintetizate în figura 2.28 ne arată o mare disponibilitate a organizațiilor de a face parte din lanțuri de producție, acestui criteriu abordându-i-se cea mai mică medie. Cele care au dat un punctaj mare acestui criteriu sunt din domeniul comerțului sau a serviciilor și nu au ca structură a activității încadrarea într-un lanț de producție, sau sunt firme care de producție care fac deja parte dintr-un lanț de producție.

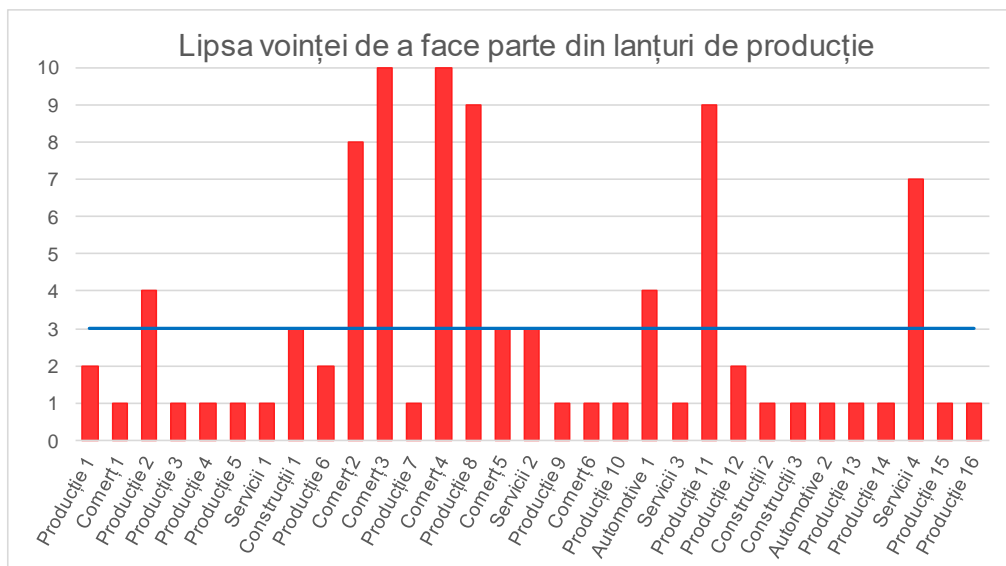


Figura 2.28: Modul în care factorul *Lipsa voinței de a face parte din lanțuri de producție* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

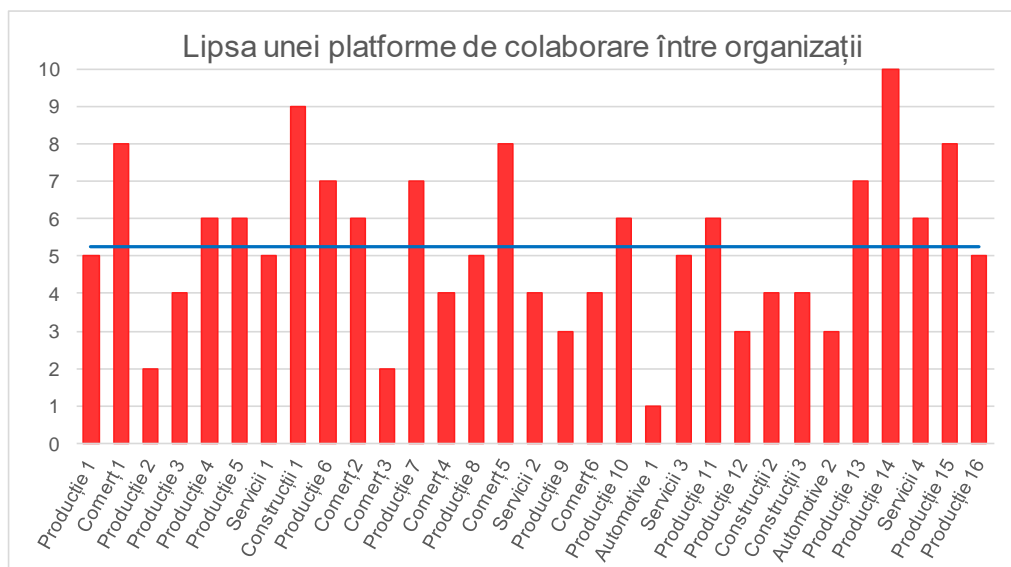


Figura 2.29: Modul în care factorul *Lipsa unei platforme de colaborare între organizații* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Lipsa unei platforme de colaborare între organizații, precum și lipsa clusterelor este resimțită ca o barieră mai serioasă în implementarea Industry 4.0. Așa cum se vede în figura 2.29, principalele organizații care văd necesitatea integrării lor pe platforme de colaborare sunt cele care în prezent nu sunt integrate în lanțuri de producție dar sunt disponibile să ofere capacități de producție sau servicii de proiectare și consultanță.

Lipsa echipamentelor și tehnologiilor necesare implementării schimbării este resimțită ca o barieră în special de firmele de producătoare independente, neintegrate în lanțuri de producție, așa cum se poate vedea din figura 2.30.

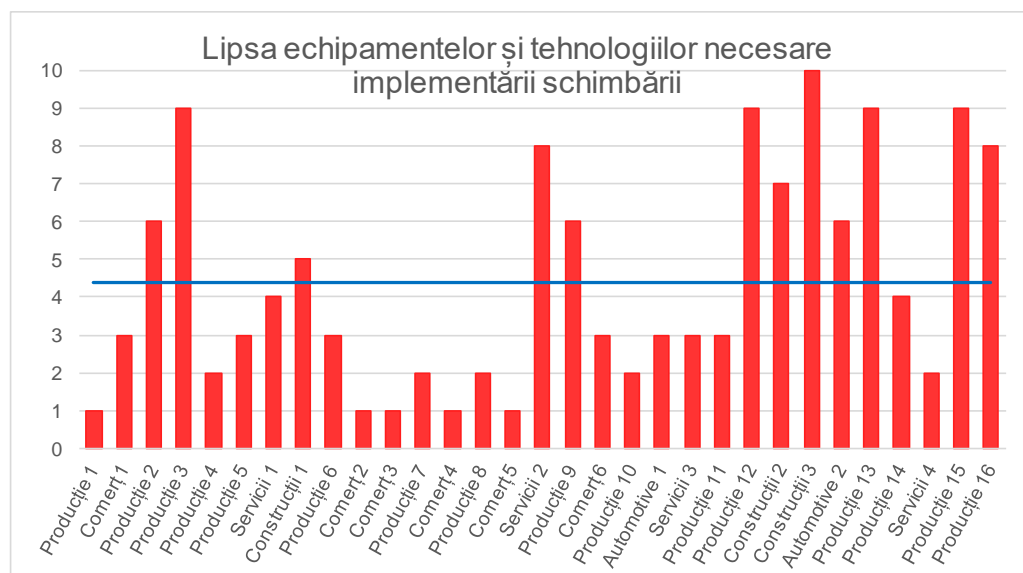


Figura 2.30: Modul în care factorul *Lipsa echipamentelor și tehnologiilor necesare implementării schimbării* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

Chiar dacă tranziția la a patra revoluție industrială nu impune înlocuirea aproape în totalitate a mașinilor și utilajelor, așa cum a presupus de exemplu a treia revoluție industrială, lipsa echipamentelor și tehnologiilor este percepută ca o barieră destul de serioasă. În fapt, dotarea cu senzori a echipamentelor actuale și interconectarea lor respectiv conectarea la terminale deservite de persoane este o investiție relativ mică comparat cu valoarea echipamentelor în ansamblu, dar care poate avea un efect semnificativ asupra disponibilității datelor și a autonomiei în funcționare/decizională a mașinilor și utilajelor. Acest fapt este de multe ori necunoscut de către decidenți, din acest motiv aducerea echipamentelor la un nivel corespunzător nu este o prioritate a managementului firmelor.

Dacă comparăm nivelul de îngrijorare legat de lipsa resurselor financiare și de cel al lipsei echipamentelor și tehnologiilor necesare schimbării, perechile de răspunsuri fiind inserate în figura 2.31, deducem că există o relație direct proporțională reflectată de linia de tendință. Aceasta înseamnă că firmele care consideră că nu dispun de resurse financiare suficiente nu dispun nici de echipamentele și tehnologiile adecvate.

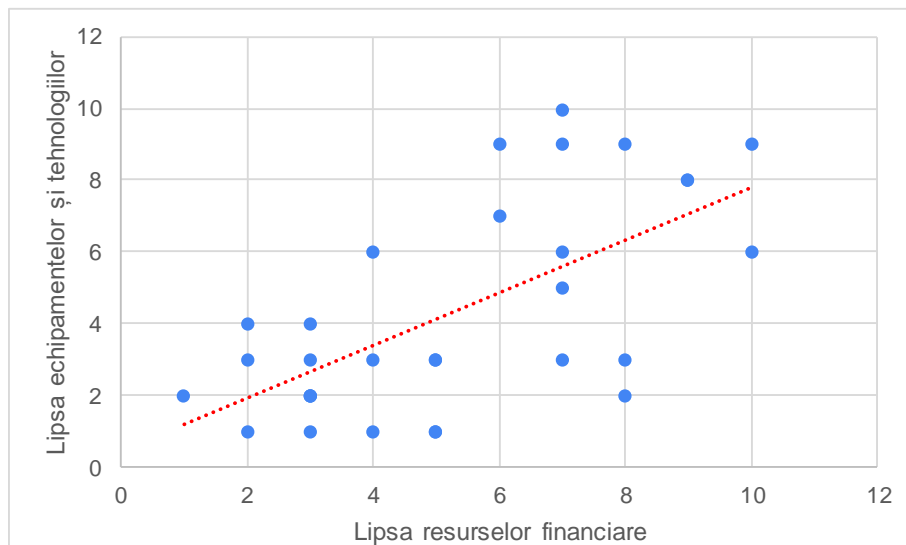


Figura 2.31: Analiza modului în care factorul *Lipsa resurselor financiare* și *Lipsa echipamentelor și tehnologiilor* necesare implementării schimbării se influențează reciproc

Lipsa modelelor de business sau a exemplelor de bune practici nu constituie o barieră relevantă în opinia respondenților, aceasta fiind penultima ca nivel de îngrijorare. Din figura 2.32 se observă că cele mai mari punctaje pentru acest criteriu au fost atribuite în general de firmele de comerț, servicii și din domeniul construcțiilor. Figura 2.33 ne arată că respondenții care apreciază Sprijinul pentru activități de management ca factor stimulator important pentru trecerea la Industry 4.0 consideră că există modele de business și bune practici suficiente și cunoscute.

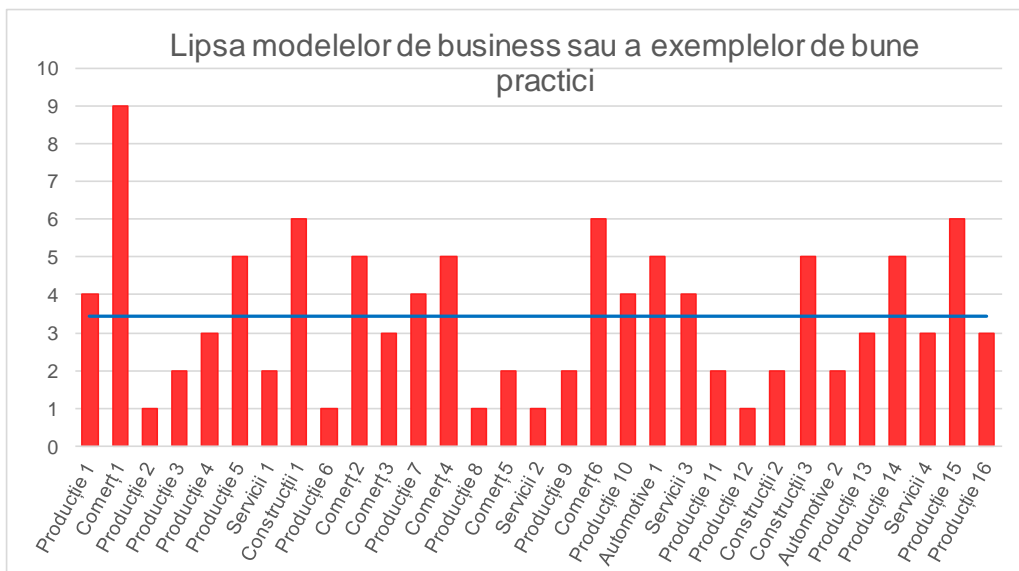


Figura 2.32: Modul în care factorul *Lipsa modelelor de business sau a exemplelor de bune practici* este perceput ca o barieră în implementarea Industry 4.0

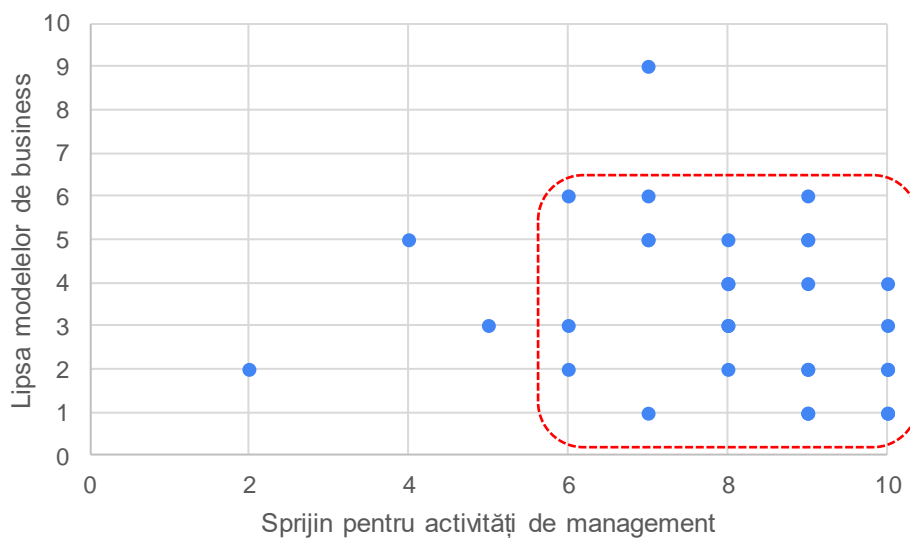


Figura 2.33: Analiza modului în care respondenții asociază criteriile *Sprijin pentru activități de management* și *Lipsa modelelor de business*

O imagine globală asupra percepției respondenților privind cei zece factori care pot frâna implementarea sistemului Industry 4.0 este dată în figura 2.34.



Figura 2.34: Percepția companiilor privind ponderea celor zece factori analizați care frânează implementarea Industry 4.0

O imagine mai fidelă se obține prin agregarea factorilor pe cele patru domenii indicate în figura 2.19. Aceasta s-a realizat prin calcularea mediei ponderate a mediilor obținute pentru cei zece factori considerați.

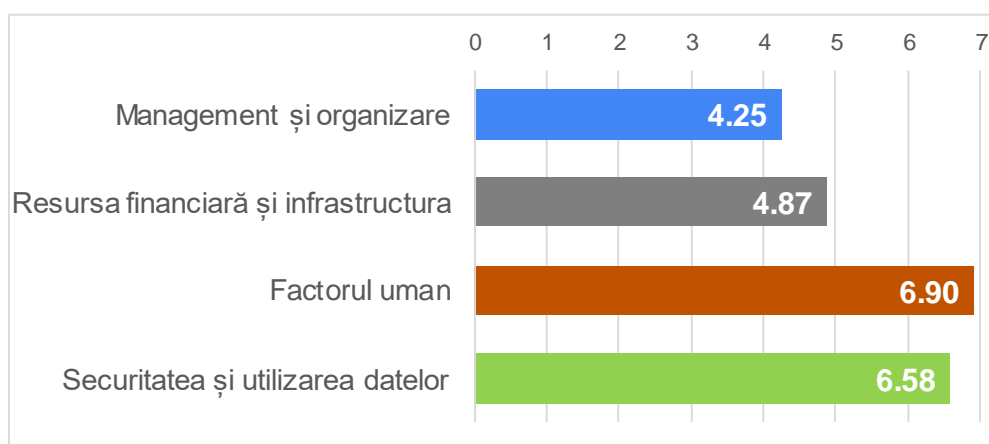


Figura 2.35: Relevanța domeniilor care pot frâna implementarea Industry 4.0

Din figură se observă că cea mai mare piedică în implementarea Industry 4.0 o constituie lipsa resursei umane calificate și dornice să realizeze schimbarea. Acest rezultat a fost obținut și într-un studiu recent (Szabó și alții, 2020) efectuat în patru țări central și est europene. Un alt studiu (Horváth și Szabó, 2019), derulat în Ungaria și în care se face distincție între răspunsurile acordate de IMM-uri și de companii mari inclusiv multinaționale, arată că cele din urmă sunt mai puțin îngrijorate de lipsa resursei umane. Rezultatele comparate sunt prezentate în tabelul 2.10.

Tabelul 2.10: Efectul factorilor agregați pe domenii asupra frânării implementării Industry 4.0

Domeniul	Studiul actual	Szabó și alții	Horváth și Szabó		Domeniul
	poziție	poziție	IMM-uri	Multinaționale	
Factorul uman	1	1	ridicat	mediu	Factorul uman
Securitatea și utilitatea datelor	2	-	-	-	-
Resursa financiară și infrastructura	3	2	ridicat	scăzut	Resursa financiară
		3	scăzut	ridicat	Tehnologia
Managementul și organizarea	4	4	ridicat	mediu	Managementul
		5	scăzut	ridicat	Organizarea

Pentru firmele românești analizate în acest studiu, *Securitatea și utilizarea datelor* este a doua cea mai importantă barieră. Trebuie remarcat faptul că cele două lucrări menționate anterior și care au rezultatele prezentate în tabelul de mai sus nu consideră explicit acest factor agregat.

O ordine similară cu cea găsită în acest studiu privind importanța barierelor în implementarea Industry 4.0 se identifică în (Szabó și alții, 2020), cu mențiunea că factorii agregați în acest studiu cu denumirile *Resursa financiară și infrastructura* respectiv *Managementul și organizarea* sunt divizați în câte două componente, așa cum sunt date în tabelul 2.10. În ceea ce privește firmele din Ungaria analizate în (Horváth și Szabó, 2019), răspunsurile acestora prezintă diferențe față de cele date de firmele din România și cele culese din studiul internațional. Aspectele legate de management constituie o barieră importantă, pe când organizarea nu ar trebui să constituie o problemă. În ceea ce privește firmele mari, îngrijorare se manifestă în ceea ce privește organizarea și aspectele tehnologice și de integrare a proceselor.

2.6. Concluzii și contribuții personale

Acest capitol prezintă o analiză a modului în care o serie de companii românești cunosc conceptul Industry 4.0 și percep tranziția datorată celei de-a patra revoluții industriale. În studiu a fost implicată FIRMA supusă analizei și alte 30 de companii partenere. Acestea desfășoară activități de producție sau operează în domeniul serviciilor, comerțului sau al construcțiilor. Firma are ca principală activitate producția de echipamente electrice. Analiza cantitativă s-a efectuat prin aplicarea unui chestionar care a cuprins trei secțiuni.

Scopul analizei îl constituie stabilirea oportunității implementării sistemului Industry 4.0 în FIRMĂ și identificarea factorilor care favorizează colaborarea și a posibilelor bariere. S-a urmărit de asemenea compararea firmele românești cu cele din străinătate, mai ales cu cele din vecinătate care au avut din punct de vedere istoric o dezvoltare economică similară, derulată în condiții asemănătoare, dar care în prezent acționează în țări care au o strategie legată de implementarea Industry 4.0 și planuri la nivel național în acest sens.

Un al doilea obiectiv a fost crearea unei prime imagini a viziunii FIRMEI legate de oportunitatea schimbărilor și de încadrarea ei în peisajul industrial românesc. Aceasta se va constitui ca punct de plecare în analiza maturității FIRMEI și stabilirea pașilor de urmat în contextul trecerii la o nouă logică de producție.

În urma analizei răspunsurilor legate de conceptul Industry 4.0 a rezultat că respondenții nu au, în general, o imagine clară asupra acestui concept și apreciază că în companiile lor nu există o strategie clară de implementare a acțiunilor necesare trecerii la sistemul Industry 4.0. De asemenea, s-a constatat că nu există preocupări privind formarea unor competențe pe această direcție, nici pentru management și nici pentru angajați. Totuși, firmele indiferent de domeniul de activitate acționează în sensul digitalizării și digitalizării activităților, iar tehnologiile avansate, inclusiv TIC sunt o preocupare cvasi-prezentă. De asemenea, firmele acordă importanță și acționează în direcția asigurării securității cibernetice. Aceste acțiuni sunt mai degrabă rezultate din necesități imediate sau fac parte din tendința de automatizare și creștere a productivității și a calității produselor pentru a corespunde cerințelor pieței.

Stabilirea a 10 factori specifici pentru firmele românești care pot motiva companiile să implementeze sistemul Industry 4.0 și ierarhizarea efectului acestora constituie o altă contribuție adusă în acest capitol. Factorii au fost selectați după o analiză exhaustivă a literaturii de specialitate și incluși în chestionar.

Răspunsurile privind factorii care motivează cel mai puternic managementul să implementeze conceptul Industry 4.0 sunt următorii cinci, aceștia fiind și cei care au obținut un punctaj peste medie:

1. Sprijin pentru activități de management
2. Concurența în creștere
3. Productivitate și eficiență economică
4. Așteptările clienților (calitate, diversitate, timp livrare)
5. Utilizarea judicioasă a resurselor (inclusiv energetice)

Chiar dacă răspunsurile concordă în mare cu cele date în literatura de specialitate, se pot observa anumite particularități. Faptul că suportul activităților de management este considerat ca fiind cel mai relevant factor motivațional de către respondenți, care fac parte din managementul firmelor, arată că există o disponibilitate a managementului referitor la implementarea Industry 4.0 dar și o necesitate în acest sens. Un set de factori puternic motivaționali îl constituie itemii legați de aspecte economice, ceea ce arată că firmele românești se consideră vulnerabile în contextul economiei globale.

Au fost de asemenea stabiliți 10 factori specifici pentru firmele românești care pot influența negativ managementul firmelor în implementarea sistemului Industry 4.0. Acești factori reflectă temerile managerilor și eventual a personalului firmelor privind efectele restructurării firmelor în sensul transformării digitale, temeri care constituie bariere în calea implementării Industry 4.0. În urma prelucrării datelor, au fost stabiliți cei mai importanți cinci factorii care pot inhiba implementarea Industry 4.0, aceștia fiind:

1. Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea
2. Provocări legate de analiza/integrarea datelor din surse disparate
3. Îngrijorare legată de securitatea cibernetică
4. Îngrijorare legată de proprietatea datelor
5. Lipsa resurselor financiare

Răspunsurile arată că principala barieră în implementarea Industry 4.0 este lipsa resursei umane care deține competențele și abilitățile necesare pentru a determina schimbarea. Aceasta nu este caracteristic doar pentru firmele românești, ci și pentru cele similare din țările vecine care au avut același context de dezvoltare socio-economică. Este de remarcat faptul că în pofida lipsei resursei umane, companiile nu consideră factorul satisfacerea nevoilor angajaților ca fiind un factor care să stimuleze transformarea. Perioada de criză care s-a manifestat prin izolarea persoanelor datorită COVID 19 au adus totuși modificări în abordarea muncii la distanță și flexibilizarea programului de lucru. De asemenea, numărul angajaților care utilizează frecvent tehnica digitală și comunicațiile prin intermediul diferitelor platforme de colaborare a crescut simțitor, iar după terminarea pandemiei metodele de lucru care au favorizat firmele și angajații au fost păstrate.

Un al doilea set de factori care frânează implementarea Industry 4.0 conțin o combinație de elemente de ordin legal și tehnic, reflectați prin îngrijorările legate de proprietatea și securitatea datelor. O importanță mare se acordă și colectării datelor în timp real și analizei acestora în vederea luării de decizii bazate pe date, eventual prin implicarea inteligenței artificiale. Prin răspunsul dat se poate concluziona că în prezent companiile nu dețin un sistem integrat de colectare și analiză a datelor.

Lipsa resursei financiare este o îngrijorare cu pondere mai redusă în rândul managerilor, aceasta datorită formelor de finanțare existente, posibilității atragerii capitalului străin dar și nevoilor mai reduse de investiții datorat diversificării rapide și disponibilității la prețuri mici a principalelor elemente de infrastructură necesare dezvoltării digitale.

Ierarhizarea principalilor factori care influențează în sens pozitiv sau negativ implementarea sistemului Industry 4.0 permite formarea unei imagini de ansamblu asupra modului în care FIRMA abordează dezvoltarea industrială actuală. Aceasta se constituie ca un punct de plecare în stabilirea nivelului de implementare a diferitelor elemente caracteristice Industry 4.0 în FIRMA în vederea fixării unui traseu realist de implementare, care să corespundă potențialului firmei și așteptărilor managementului acesteia.

3. Stabilirea unei metodologii de implementare a sistemului Industry 4.0

3.1. Modelul propus privind implementarea Industry 4.0

Implementarea sistemului Industry 4.0 devine, în contextul actual, o necesitate pentru toate firmele și cu atât mai mult pentru firmele mici și mijlocii care au un grad de vulnerabilitate mai mare. Un model privind pașii de urmat în implementarea conceptului este prezentat în (Hermann et al., 2016), care presupune parcurgerea a șase etape distincte. Deoarece analiza prezentată în capitolul anterior a arătat că, în general, managerii nu sunt foarte bine familiarizați cu conceptul Industry 4.0, în modelul propus în teză includ în etapa referitoare la analiza stadiului actual al nivelului de maturitate și aspectele legate de înțelegerea acestui concept. Un al doilea demers este identificarea scenariilor de urmat și stabilirea priorităților prin instrumente care permit cuantificarea efectului și a costurilor implementării. Acest demers trebuie să țină seama de așteptările managerilor, care sunt principalii responsabili de implementarea conceptului, și de potențialul firmei. În ultima etapă se pregătește un plan general de implementare care să cuprindă eșalonarea în timp și planurile detaliate de implementare a tuturor scenariilor. Etapele modelului propus în teză sunt redată sintetic în figura 3.1.

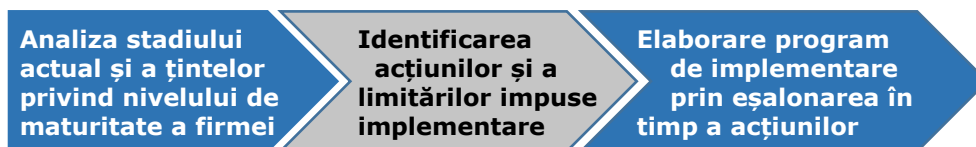


Figura 3.1: Modelul parcursului de implementare a Industry 4.0

În acest capitol se prezintă analiza nivelului de maturitate și modul de elaborare al traseului pentru FIRMĂ, o abordare care se constituie ca un model aplicabil oricărei firme mici sau mijlocii.

3.2. Nivelul de maturitate al firmei în conceptul Industry 4.0

Ținând cont de factorii care stimulează implementarea Industry 4.0 dar și de barierele identificate în capitolul anterior, propun șase domenii majore pentru analiza maturității firmei, și anume:

1. Produsele firmei
2. Infrastructura
3. Organizarea
4. Lanțul de aprovizionare și desfacere
5. Modelul de business
6. Securitatea și protecția datelor

Fiecare dintre aceste domenii are sub-domenii sau componente, care vor fi analizate și evaluate separat. Fiecare componentă va avea asociată patru nivele de maturitate, astfel:

- Nivelul I - Novice, în care componenta nu prezintă caracteristici cerute de Industry 4.0;
- Nivelul II – Intermediar, la care sunt vizibile caracteristici ale Industry 4.0 asociate componentei analizate;
- Nivelul III – Avansat, care atestă o maturitate crescută pe direcția componentei analizate;
- Nivelul IV – Expert, atribuit când toate caracteristicile asociate componentei satisfac pe deplin cerințele Industry 4.0.

La atingerea unui anumit nivel contribuie o serie de factori specifici, de regulă aparținând celor nouă piloni ai Industry 4.0. Acești factori vor fi luați în considerare atunci când se stabilește traseul de urmat în vederea implementării transformărilor particularizate la nivelul firmei.

În funcție de specificul firmelor și al produselor acestora poate fi necesară sau nu atingerea nivelului Expert. Totuși, atingerea acestui nivel asigură firmei produse cu valoare adăugată mare, posibilitatea de a satisface nevoile clienților mai ridicată și venituri mai mari. Acestea au ca rezultat stabilitatea și sustenabilitatea dorită de manageri exprimată în chestionarul privind adoptarea sistemului Industry 4.0.

De asemenea, trebuie remarcat faptul că firma nu necesită o trecere uniformă de la nivelele inferioare la cele superioare, ci aceasta trebuie făcută conform unei eșalonări care ține cont de potențialul firmei, de țintele stabilite, de interdependențele temporare între subdomenii și de raportul cost-beneficiu.

Principalul mijloc de investigare utilizat la determinarea nivelului de maturitate al FIRMEI este cercetarea de birou, deoarece este asigurat accesul neîngrădit la datele disponibile în firmă, dar analiza include și discuții informale cu managementul și angajații.

3.2.1. Produsele firmei

Produsele asigură veniturile necesare firmei pentru acoperirea cheltuielilor și crearea profitului. În mod tradițional produsele se clasifică în bunuri (care sunt deținute după cumpărare) și servicii (beneficii care nu pot fi deținute de cumpărător). În ultima perioadă de timp distincția dintre un bun și un serviciu clasic s-a estompat (Ohvri și Maasing, 2019). Datorită noilor tehnologii există oportunitate de a înlocui achiziționarea unui bun cu un serviciu. Clienții pot, în tot multe cazuri, să aleagă între produsul fizic și serviciul bazat pe abonament. Pe asemenea, pentru produse fizice clienții pot opta pentru personalizarea acestora. Aceasta oferă o funcționalitate extinsă/îmbunătățită pentru client și un avantaj competițional pentru furnizorul care poate livra astfel de produse fără o creștere semnificativă a prețului. Dezvoltarea produselor se face în accepțiunea Industry 4.0 ținând cont de modul în care clienții folosesc produsele actuale. Datele colectate în acest sens prin monitorizarea produselor existente după livrare și analiza lor prin diverse tehnici permit de asemenea oferirea unor servicii adiacente produsului.

Deoarece firma are la bază producția de bunuri fizice, analiza se va referi la acest tip de produse. Ținând cont de aspectele prezentate mai sus privind produsele în noua era tehnologică, am asociat domeniului "produsele firmei" cinci componente care vor fi discutate în continuare.

Cele cinci componente sunt:

- Individualizarea produsului, legat de activitatea de producție sau de modul în care se realizează produsul
- Utilizarea datelor despre utilizarea produsului, legat de concepție sau de modul în care se dezvoltă produsul
- Utilizarea mediului virtual în conceperea și testarea produsului, legat de mediul în care este proiectat și testat produsul
- Structura venitului realizat prin vânzarea produsului, legat evident de valorificarea produsului
- Servicii bazate pe analiza datelor, care are legătură cu modul în care se creează valoare după livrarea produsului.

Individualizarea produsului

Unul dintre elementele centrale ale viziunii Industry 4 este prezumția că o „dimensiune a lotului de 1” poate fi produsă la același cost unitar ca un produs în masă. Acest deziderat rezultă din nevoia de a oferi clienților produse cu niveluri de personalizare tot mai ridicate. Atingerea acestui obiectiv va necesita noi abordări ale diferențierii produselor prin utilizarea unor tehnologii adaptive, bazate pe sisteme de prelucrare cu comandă numerică flexibile și utilizarea programelor de prelucrare personalizate. O modalitate alternativă prin care acest obiectiv poate fi atins este, pentru anumite produse, de a menține produsul fizic la nivel standard și de a personaliza produsul prin caracteristici/atribute digitale. Astfel, chiar dacă produsul conține același hardware și software, accesul la aplicații sau setări se poate face diferențiat în funcție de opțiunile clientului. Produsul este în acest mod reconfigurabil pe toată perioada utilizării. De regulă, personalizarea produsului se face în etapele de final ale producției.

Utilizarea datelor despre utilizarea produsului

Analiza datelor despre utilizarea produsului este procesul de interpretare a datelor care permite înțelegerea modului în care interacționează utilizatorii cu produsul și cauzele pentru care acționează astfel. Diferă de alte metode precum sondajele tradiționale și interviuarea clienților prin faptul că datele sunt obiective și mult mai numeroase, dar metoda de analiză a datelor presupune monitorizarea produselor prin mijloace digitale.

Metoda permite identificarea acelor caracteristici ale produsului care sunt mai des utilizate de clienți, cele care prezintă deficiențe și împiedică utilizatorul în folosirea corespunzătoare a produsului cât și frecvența și cauzele defectării. În particular, se poate determina: performanța generală a produsului, cât de implicați sunt diversele categorii de utilizatori și cât de des folosesc produsul, care sunt caracteristicile cele mai utilizate ale produsului, care sunt punctele slabe ale produsului și problemele cu care se confruntă utilizatorii, cum folosesc utilizatorii produsul și când trebuie comunicat cu utilizatorii. Cunoscând aceste informații se poate observa tendința pieței și astfel se pot prioritiza eforturile de dezvoltare a noi produse sau se pot corectare deficiențelor semnalate în timp scurt și în cunoștință de cauză.

Un al doilea segment care profită de rezultatele obținute din analiza datelor despre utilizarea produsului este segmentul de mentenanță și servicii asociate produsului prin aceea că poate detecta momentul intervenției cu precizie.

Analiza utilizării produselor se realizează cel mai bine cu instrumente dedicate de analiză a produselor, datorită capacității acestora de a urmări și înregistra fiecare interacțiune semnificativă a utilizatorului cu produsul. Aceste instrumente conțin elemente specifice big data și inteligenței artificiale.

Utilizarea mediului virtual în conceperea și testarea produsului

Proiectarea produselor este un pas important și care permite obținerea, în cazul utilizării mediului virtual, de componente și ansambluri optimizate constructiv și funcțional. Există câteva direcții în care proiectarea poate utiliza tehnologiile informatice: obținerea modelelor 2d și 3D, testarea statică și cinematică, elaborarea tehnologiilor de fabricație, prezentarea produsului în mediul virtual sau augmentat.

Sursa valorii produsului

Produsele înglobează valoare prin caracteristicile pe care le oferă obiectul fizic, dar și prin caracteristici intangibile cum sunt proprietatea intelectuală înglobată în produs sau atributele digitale ale acestuia. Produsele clasice de forma bunurilor sunt cele fizice, tangibile și care se produc fără restricții. Există produse a căror dezvoltare implică un nivel de cercetare ridicat, în urma cărora rezultă programe, formule (pentru industria chimică, alimentară sau cosmetică), prototipuri, metode sau sisteme noi. Acestea se supun protejării prin brevete, mărci sau alte forme de proprietate intelectuală și pot contribui semnificativ la valoarea produsului final.

Importantă este și cota de participare a serviciilor conexe produsului la formarea venitului rezultat. Cu cât aceasta cotă este mai ridicată, cu atât mai avansat este produsul și nivelul de maturitate atins de firmă.

Servicii bazate pe analiza datelor

După vânzare, produsul fizic aparține cumpărătorului, iar furnizorul are opțiunea de a oferi sau nu servicii asociate acestuia. În mod tradițional, pentru anumite produse se oferă serviciul de mentenanță sau de livrare a consumabilelor. Mai recent au fost introduse servicii precum asistența clienților, servicii de stocare, financiare și altele.

Aceste servicii asociate produsului fizic pot crește semnificativ valoarea finală a sumelor încasate pentru un produs. Există două metode de acțiune pentru a stabili oportunitatea ofertei de servicii: luarea deciziilor (*decision making*) sau analiza datelor (*data-driven*). Este adevărat că fiecare hotărâre are la bază date, dar cele *data-driven* folosesc baze de date mari care sunt analizate sistematic și metodic, de multe ori utilizând inteligența artificială. Această practică contrastează cu luarea deciziilor pe baza unui set restrâns de date și care poate fi condusă de emoții, presiune externă sau instinct. Prin urmare, deciziile luate pe baza analizei datelor oferă o abordare obiectivă, dar presupune colectarea sistematică a datelor prin monitorizarea (de obicei online) a produselor livrate, cu sau fără implicarea clientului.

Tabelul 3.1 prezintă nivelele propuse pentru domeniul produsele firmei. Definierea nivelelor s-a făcut ținând seama de faptul că în prezent produsele FIRMEI sunt în mare majoritate bunuri, obiecte fizice tangibile. Din acest motiv aceste nivele diferă de alte abordări din literatura de specialitate ([Lichtblau și alții, 2015](#); [Lanza și alții, 2016](#)), care se referă în special la produse înalt tehnologizate și care includ o componentă software importantă.

Tabelul 3.1: Nivelele propuse pentru domeniul *produsele firmei*

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Individualizarea produsului	Producția nu permite individualizarea produsului, fiind o producție de masă standard	Majoritatea produselor sunt realizate în loturi mari cu diferențiere limitată	Produsele pot fi în mare măsură personalizate, dar pe o structură de bază standard	Diferențierea disponibilă la comandă pentru majoritatea produselor (dimensiunea lotului 1)
Analiza datelor despre utilizarea produsului	Nu se utilizează date colectate despre produs	Se colectează date prin apelarea clientului	Unele date se colectează de la produs prin mijloace digitale	Majoritatea datelor se colectează direct de la produs prin mijloace digitale
Utilizarea mediului virtual în conceperea produsului	Se utilizează exclusiv mijloace fizice în conceperea și testarea produsului	Se utilizează programe de desenare și testare a produsului pe stații de lucru individuale	Se utilizează programe de desenare, testare și dezvoltare a tehnologiei, cu acces de pe dispozitive multiple	Se utilizează programe informatice de dezvoltare de produse și clienții sunt implicați în proces
Structura venitului realizat prin vânzarea produsului	Produsele au doar valoare fizică	Produsele au valoare fizică dar au incorporate și echipamente digitale	Produsele au valoare fizică și componente digitale importante	Produsele au componente digitale importante și încorporează valoare din licențele de proprietate intelectuală
	Nu se oferă servicii conexe	Serviciile contribuie cu <5% la formarea venitului	Serviciile contribuie cu <10% la formarea venitului	Serviciile contribuie cu ≥10% la formarea venitului
Servicii bazate pe analiza datelor	Nu sunt oferite serviciile asociate produsului	Nu sunt oferite serviciile bazate pe date	Sunt oferite servicii bazate pe date fără implicarea clientului	Sunt oferite servicii bazate pe date cu implicarea totală a clientului

Nivelele sunt clar definite și permit evaluarea stadiului actual și al țintelor firmei univoc, fără a lăsa loc interpretărilor. În stabilirea traseului de urmat pentru implementarea conceptelor Industry 4.0 am ținut cont de factorii/elementele care contribuie la realizarea obiectivelor. Existența acestor elemente nu presupune utilizarea lor pentru atingerea unui nivel pentru un domeniu dat, deci nu au fost luați în calcul la stabilirea maturității aceluși domenii. Practic, la stabilirea maturității unui domeniu a fost luat în calcul doar modul în care sunt îndeplinite criteriile impuse de nivelele stabilite obiectiv și a priori.

Evaluarea nivelului de maturitate al domeniului *produsele firmei*

Nivelul de maturitate al domeniului *produsele firmei* acumulează cel mai mare punctaj, vezi graficul de la finalul subcapitolului, ceea ce nu este surprinzător dat fiind că aspectele tehnice și tehnologice sunt în general în centrul atenției firmelor românești. Punctajul a fost obținut ca medie a punctajelor sub-domeniilor. Mai jos se prezintă o evaluare a fiecărui sub-domeniu care aparține de domeniul *produsele firmei*, la care se asociază și o justificare sumară.

Datorită modului în care sunt actualmente concepute produsele și organizată producția, produsele se execută în loturi mari, iar capacitatea de individualizare a produselor este limitată. Aceasta încadrează componenta *individualizarea produselor* la nivelul II. Ținta firmei este de a atinge capacitatea de individualizare a produselor la comandă, pe loturi mici, nivelul de maturitate dorit fiind III.

În prezent, datele despre utilizarea produsului se colectează sporadic de la client, ceea ce corespunde nivelului de maturitate I. Ținta propusă este colectarea unor date direct de la produs prin mijloace digitale, adică atingerea nivelului de maturitate III. Atingerea acestui nivel este considerat necesar și posibil, deoarece multe din produsele FIRMEI vor conține componente electronice care să permită comunicarea digitală a datelor despre modul de utilizare.

Proiectarea se realizează utilizând programe informatice fără a se asigura accesul reciproc la modelele și tehnologiile dezvoltate. Nivelul estimat pentru aceasta componentă este II. Se dorește implicarea clientului în actul de proiectare, cel puțin în ceea ce privește luarea deciziilor pe parcurs și finale, adică atingerea nivelului de maturitate IV.

Referitor la valoarea produselor, s-a constatat că acestea nu au înglobat componente ce țin de proprietatea intelectuală, dar conțin în mică măsură echipamente digitale, fiind astfel justificată estimarea componentei ca având nivel de maturitate II. Datorită tendinței de introducere a echipamentelor smart, se consideră atingerea nivelului IV de maturitate ca fiind obligatorie.

Veniturile din servicii conexe, limitate exclusiv la mentenanță, sunt reduse comparativ cu valoarea obținută prin vânzarea obiectului fizic. Din acest motiv încadrez nivelul de maturitate la valoarea II. Deoarece produsele vor fi digitalizate este posibil să fie diversificată oferta de servicii și veniturile rezultate din acestea să crească, nivelul de maturitate țintă fiind III.

Oferta de servicii este limitată la mentenanță, iar aceasta se face periodic fără informații privind starea produsului. Nivelul de încadrare al maturității este II. Prin digitalizarea produselor se poate asigura un flux de date care să permită o ofertă particularizată pentru fiecare produs. Implicarea clientului fiind esențială, nivelul de maturitate țintă este IV.

Situația actuală și obiectivele finale pentru cele trei componente și două sub-componente sunt reprezentate sub formă grafică în figura 3.2.

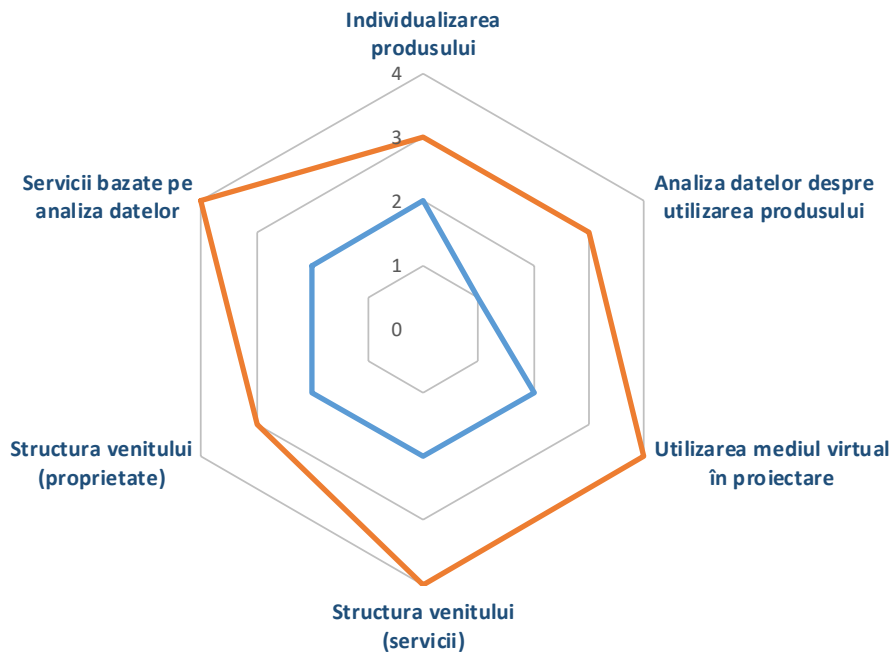


Figura 3.2: Nivelul actual de maturitate (linie albastră) și nivelul țintă (linie portocalie) pentru domeniul *produsele firmei*

3.2.2. Infrastructura de producție

Capacitățile de producție se află în centrul viziunii Industry 4.0, în care mediu cibernetic și cel fizic se contopesc, iar produsele personalizate sunt fabricate autonom pe linii de fabricație care se auto-organizează. Activitatea se gândește a fi desfășurată într-un mediu compatibil IoT, care permite colectarea de date utilizate apoi pentru planificarea și funcționarea optimă a mașinilor. Deoarece strategia Industry 4.0 este legată de integrarea fabricației cu mediul digital, acest domeniu are cel mai mare număr de componente, detaliate în tabelul 3.2 și descrise pe scurt în continuare.

Automatizarea

Automatizarea include o gamă largă de tehnologii care permit reducerea sau chiar lipsa intervenției umane în procesele de producție. Automatizarea este un proces caracteristic celei de-a treia revoluții industriale, motiv pentru care numeroase mașini lucrează în prezent în regim automat. Totuși, automatizarea a fost concepută pentru ca mașinile să lucreze individual, iar în noua paradigmă acestea trebuie să lucreze împreună, să colaboreze. În plus, multe dintre mașinile actuale au la bază bucle de control deschis, care nu țin seama de ieșirea din proces ci au setate regimuri de lucru predefinite. Fiind și o componentă absolut necesară în conceptul Industry 4.0, tocmai datorită faptului că mașinile trebuie să lucreze autonom, automatizarea utilizând bucla deschisă este insuficientă. Pentru a le asigura o funcționare independentă, mașinile trebuie să fie capabile să controleze rezultatele/ieșirile din sistem. Aceasta se face prin așa-numitul control în buclă închisă, în care procesul continuă până la atingerea rezultatului dorit. Din acest motiv este important să se distingă între gradul de

automatizare al mașinilor, iar în analiza maturității firmei să se ia în considerare doar mașinile care au control în buclă închisă.

Echipe dotate cu senzori și sisteme de comunicare

Evoluția tehnologică privind senzorii a permis dezvoltarea de sisteme de producție avansate, care includ sistemele cyber-fizice și IoT. În perioada revoluțiilor industriale anterioare, s-au utilizat senzori analogici, care sunt cel mai simplu tip de senzori, aceștia permițând vizualizarea *in situ* a datelor de către operator și înregistrarea lor în mod manual dacă este cazul.

Senzorii digitali sunt capabili să transforme semnalul analogic într-un semnal digital, care poate fi transmis pentru a fi stocat și/sau procesat de către un sistem de calcul centralizat. Cei mai avansați senzori, senzorii inteligenți, sunt dotați cu microprocesoare care îi fac capabili să proceseze datele achiziționate și să le transmită unui sistem centralizat sau distribuit. Senzorul inteligent este un element esențial pentru IoT. O utilizare tot mai frecventă a senzorilor inteligenți constă în înglobarea lor în rețele de senzori și actuatori wireless (WSAN). Dealtfel, comunicare se poate realiza utilizând sisteme cu fir (port serial, Ethernet, EtherCat) sau wireless (ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, respectiv Sigfox sau NB-IoT). Acestea trebuie să permită comunicarea în timp real și fără zgomot într-un mediu specific celui industrial.

Transmiterea și colectarea datelor

Informațiile despre funcționarea firmei se obțin prin colectarea datelor din surse diverse. Acestea sunt utilizate pentru analiză și raportare internă și externă. Există două opțiuni pentru colectarea și transmiterea datelor: colectare manuală și transmitere (de obicei ierarhic) pe suport de hârtie sau electronic, respectiv colectare și distribuție automată către toți factorii interesați.

Integrarea mașinilor și a sistemelor de planificare a producției (SPP)

Una dintre principalele obiective ale implementării Industry 4.0 este prin eficientizarea proceselor de producție. Colectarea automată a datelor direct de la mașini și utilizarea informațiilor în timp real pentru a oferi suport în procesul decizional este modalitatea principală prin care acest obiectiv poate fi îndeplinit. Integrarea mașinilor și a SPP ajută la formarea unei imagini clare a modului în care se derulează activitățile în secțiile de producție.

Se pot realiza diferite niveluri de integrare a mașinilor cu SPP, în funcție de particularitățile produsului. În principal, prin integrarea mașinilor cu SPP se pot asigura patru funcții:

- Identificarea stării mașinii – se poate stabili dacă mașina este în funcțiune sau staționează din lipsă de comenzi sau pentru întreținere. Raportarea continuă a acestor date ajută la formarea unei imagini mai bune a modului în care funcționează mașinile și permite luarea deciziilor potrivite.
- Monitorizarea parcursului pieselor – se poate face prin atribuirea unui cod fiecărei piese, astfel încât mașinile prin scanare să permită identificarea locației și stadiul fiecărei componente aflate în procesul de producție. În acest mod se știe dacă o piesă a parcurs pașii anteriori înainte de a începe o nouă fază de procesare.

- Extragerea datelor – prin această funcție se asigură cunoașterea în timp real a datelor despre produs, cum ar fi numărul de bucăți, dimensiuni, greutate etc., respectiv durata unei operații sau a unui ciclu de fabricație. Datele parametrice permit evaluarea calității produselor și a eficienței proceselor.
- Stabilirea operațiunilor – se poate face individualizat pentru fiecare piesă în urma identificării codului asociat piesei, care se asociază cu succesiunea și tipul operațiilor.

Pentru SPP sunt disponibile o serie de programe informatice care permit gestionarea producției.

Sisteme de producție auto-organizate

Informațiile despre mașini transmise SPP permit identificarea modului în care se desfășoară producția. Dacă procesul de producție se desfășoară normal, datele transmise de mașini se încadrează în parametrii definiți în SPP. În cazul în care unul dintre procese eșuează temporar, din cauza lipsei de resurse sau de personal, atunci devine necesară intervenția sistemului de organizare a producției (SOP) (Hartweg, 2014). Acesta încearcă să găsească în mod autonom, pe baza unor algoritmi predefiniți sau utilizând inteligența artificială, o rută alternativă de producție care să îndeplinească cerințele de cost și termen. Deoarece întreruperile pot apărea brusc, SOP trebuie să fie permanent informat cu privire la starea mașinilor și a componentelor de prelucrat.

Modelarea digitală a proceselor

Dezvoltarea produsului și stabilirea itinerariului tehnologic se poate face în mediul digital utilizând programe dedicate. Acestea cuprind domenii ca: (i) desenarea componentelor și a ansamblurilor; (ii) analiza statică, cinematică și dinamică a modului în care răspund diverselor sarcini; (iii) elaborarea tehnologiilor de fabricație; (iv) stabilirea și dimensionarea fluxurilor de producție. Simulările permit identificarea problemelor pe care le pot avea produsele în timpul fabricației sau în funcționare, respectiv conceperea unor trasee de prelucrare optimizate din punctul de vedere al costurilor sau al timpilor de producție.

Utilizarea soluțiilor cloud

Utilizarea clasică a mijloacelor de calcul presupune existența unei unități proprii, pe care utilizatorul stochează și procesează datele. O variantă mai flexibilă și care permite colaborare mai facilă este utilizarea soluțiilor *Cloud*. Aceasta presupune furnizarea a diferite de servicii prin Internet, precum aplicații pentru stocarea datelor (servere, baze de date) și software. Dezavantajul îl constituie necesitatea conexiunii la Internet. Recent s-a dezvoltat un nou sistem de servicii, *Fog computing*, care are la bază o structură de calcul distribuită în care datele sunt stocate într-o locație situată între sursa de date și cloud (Stojmenovic, 2014). Avantajele *Fog computing* sunt: securitate crescută, lățime de bandă mare, timp necesar transferului de date redus și lipsa pierderii conexiunii (deoarece Fog este aproape de utilizatorii finali).

Tabelul 3.2 prezintă nivelele propuse pentru domeniul *infrastructura de producție*. În stabilirea traseului de urmat pentru implementarea conceptelor Industry 4.0 se va ține cont de factorii/elementele care contribuie la realizarea obiectivelor.

Tabelul 3.2: Nivelele propuse pentru domeniul *infrastructură*

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Automatizarea	Puține mașini sunt conduse prin sisteme de automatizare	Unele mașini și sisteme ale infrastructurii pot fi controlate prin sisteme de automatizare	Majoritatea mașinilor și sisteme ale infrastructurii pot lucra automatizat	Toate mașinile și infrastructura pot fi controlate prin sisteme de automatizare
Echipamente dotate cu senzori și sisteme de comunicare	Puține mașini și echipamente sunt dotate cu senzori	Unele mașini și echipamente sunt dotate cu senzori dar puține dispun de sisteme de comunicare	Majoritatea mașinilor și echipamentelor sunt dotate cu senzori și au sisteme de comunicare	Toate mașinile și echipamentele sunt dotate cu senzori și sisteme de comunicare
Transmiterea și colectarea datelor	Datele sunt colectate manual atunci când este necesar	Datele sunt colectate digital în anumite domenii	Datele sunt colectate digital în majoritatea domeniilor	Toate datele sunt colectate automat în formă digitală pentru toate procesele
Integrarea mașinilor și a SPP	Nu există capacitate de comunicare la distanță atașat mașinilor	Unele mașini au pot transmite datele la distanță unui sistem centralizat	Unele mașini pot comunica între ele și cu SPP	Capacitate totală de comunicare între mașini și SPP
Sisteme de producție auto-organizate	Nu există sisteme auto-organizate	Traseul unor componente poate fi urmărit	Unele procese sunt auto-organizate	Toate procesele de producție cheie sunt auto-organizate
Modelarea digitală a proceselor	Nu există procese modelate digital	Unele procese sunt modelate digital	Majoritatea proceselor sunt modelate digital	Toate procesele de relevante sunt modelate digital
Utilizarea soluțiilor cloud	Nu se utilizează soluții cloud	Există un plan pentru utilizarea software-ului bazat pe cloud, de stocare și analiza a datelor	Programe pilot de utilizare a soluțiilor cloud implementate în unele domenii	Soluțiile cloud implementate în toate domeniile

Evaluarea nivelului de maturitate al domeniului *infrastructura de producție*

În urma analizei efectuate, rezultă că infrastructura FIRMEI este oarecum pregătită pentru trecerea la sistemul de producție caracteristic Industry 4.0, punctajul acumulat conferind acestui domeniu poziția a treia. De altfel, așa cum se prezintă în figura 1.1 nivelul de dotare și necesitatea înlocuirii sau modernizării mașinilor și echipamentelor pentru a corespunde celei de-a patra revoluții industriale, această trecere necesită cele mai mici investiții comparat cu revoluțiile anterioare (estimare 10% din totalul echipamentelor).

Din punct de vedere al gradului de *automatizare*, majoritatea mașinilor și echipamentelor sunt automatizate, această cerință fiind atinsă pe perioada celei de-a treia revoluții industriale. Unele lucrează în buclă deschisă, deci necesită dotarea cu senzori, preferabil inteligenți. Aceasta stare califică componenta *automatizare* pentru nivelul III. Ținta firmei este de a automatiza corespunzător toate mașinile și echipamentele infrastructurii, astfel încât nivelul de maturitate dorit este IV.

Mașinile și echipamentele existente actualmente în FIRMĂ sunt dotate cu senzori care anunță operatorul cu privire la starea mașinii, dar nu există capacitatea de a comunica date despre funcționarea mașinii către un sistem centralizat. Această incapacitate se manifestă și datorită faptului că mașinile și echipamentele nu sunt dotate cu sisteme de comunicare. Prin urmare, componenta *echipamente dotate cu senzori și sisteme de comunicare* se încadrează la nivelul de maturitate II. Ținta propusă este ca toate mașinile și echipamentele să poată comunica informații despre starea proprie și evoluția producției, adică atingerea nivelului de maturitate IV.

Colectarea datelor se face manual, dar pentru cea mai mare parte domeniilor de activitate datele sunt în format digital, motiv pentru care *transmiterea și colectarea datelor* se încadrează nivelul de maturitate II. Deoarece digitalizarea este un pilor esențial al Industry 4.0 și majoritatea domeniilor de activitate se bazează pe informații digitale, nivelul de maturitate țintă este IV.

Întru-cât nu există capacitatea de comunicare a datelor către un sistem centralizat, iar sistemul de planificare a producției se operează manual (nu are capacitate de preluare automată a datelor și prin urmare nici de luare a deciziilor), componentei *integrarea mașină-SPP* i se acordă nivel de maturitate I. Pe viitor se dorește ca deciziile legate de planificare pentru elementele esențiale să fie luate automat, se consideră suficientă atingerea nivelului III de maturitate.

Lipsa unei aplicații informatice pentru planificarea producției face imposibilă existența sistemelor de producție auto-organizate. Nivelul de încadrare al maturității componentei *sisteme de producție auto-organizate* este prin urmare I. Se dorește atingerea nivelului de maturitate IV, care presupune ca toate procesele de producție ale elementelor esențiale să fie auto-organizate.

Stabilirea traseelor de fabricație, inclusiv alocarea resurselor, se face fără o *modelare digitală a proceselor*, deci nivelul de maturitate a componentei este I. Pentru a stabili parametrii sistemul de planificare a producției, în limitele căruia trebuie să se desfășoare activitatea, este nevoie ca toate procesele relevante să fie modelate digital și găsite soluții optime. Aceasta încadrează nivelul de maturitate țintă la valoarea III.

Există o abordare timidă în *utilizarea soluțiilor cloud*, concretizată în utilizarea pachetelor Office 365 de la Microsoft cu spațiu cloud asigurat. Aceasta permite încadrarea maturității acestei componente la nivelul II, dar intenția la finalul planului de implementare Industry 4.0 este atingerea nivelului IV.

Situația actuală și obiectivele finale pentru cele șapte componente sunt reprezentate sub formă grafică în figura 3.3.

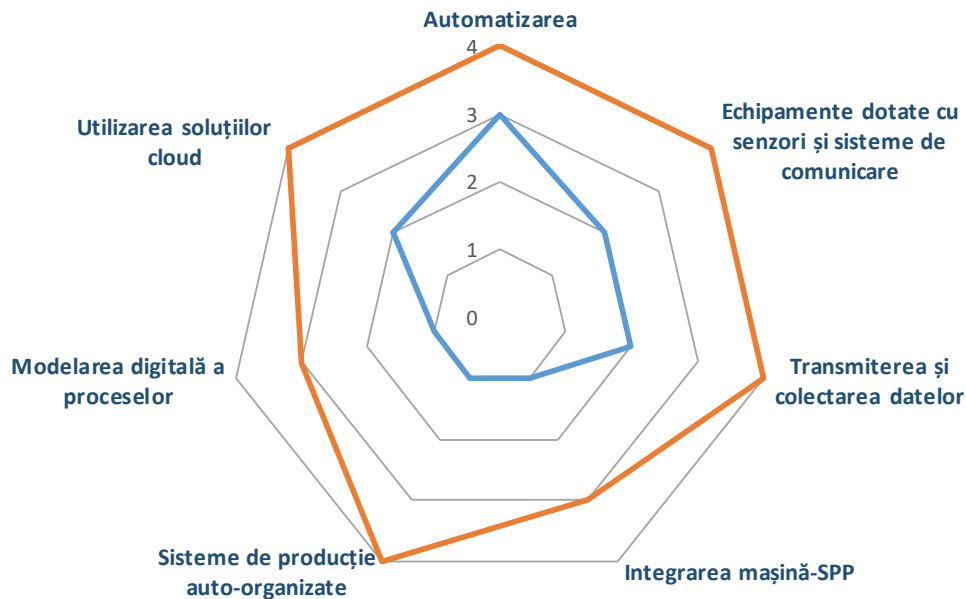


Figura 3.3: Nivelul actual de maturitate (linie albastră) și nivelul țintă (linie portocalie) pentru domeniul *infrastructură*

În urma analizei primelor două domenii, se observă că există dependențe temporale în atingerea unor niveluri de maturitate. Acestea sunt date de legăturile dintre anumite componente, legături care se manifestă în interiorul domeniului dar și trans-domenii. La stabilirea traseului de urmat pentru implementarea Industry 4.0 este imperios necesară identificarea tuturor dependențelor și construirea unui scenariu coerent în domeniul timp.

3.2.3. Strategia și organizarea

Domeniul privind strategia și organizarea acoperă cinci componente, care evaluează modul de conducere și de lucru, de analiză a rezultatelor, respectiv investițiile necesare pentru implementarea Industry 4.0. Deoarece transformările în curs creează un mediu industrial în care computerele și mașinile comunică între, transmițând date pe baza cărora se iau măsuri pentru a face producția mai eficientă, apare inevitabil și o schimbare culturală majoră, o modificare a naturii locurilor de muncă actuale și a modului în care se iau deciziile.

Managementul

Este esențial ca echipele de conducere să înțeleagă potențialele beneficii care pot fi obținute prin introducerea sistemului Industry 4.0 în firme și să elaboreze planuri de implementare. Este clar că modificările aduse de a patra revoluție industrială vor transforma fundamental modul în care se desfășoară afacerile, deci este nevoie de totală implicare a echipelor de conducere.

Implicarea conducerii firmei presupune, pe lângă acceptarea efectuării de investiții țintite spre atingerea obiectivelor Industry 4.0, o deschidere spre descentralizare (prin împuternicirea departamentelor de a lua decizii) și transparentă (prin acordarea accesului la anumite date ale firmei, după competențe și necesități, atât spre nivelele ierarhice inferioare cât și spre exterior). De fapt aceste două elemente sunt componente ale principiilor pe care se bazează Industry 4.0.

Implementarea Industry 4.0 în strategia firmei

Acceptarea transformării digitale de către conducerile firmelor trebuie să fie însoțită de o strategie de implementare sistemului propus de Industry 4.0, astfel încât acest sistem să devină o componentă înglobată în strategia firmei. Pentru aceasta firma trebuie evaluată referitor la gradul de maturitate și trebuie stabilite ținte de atins într-o perioadă definită de timp. Pentru atingerea țintelor se stabilesc și eșalonează măsurile care trebuie luate, iar acestea se aliniază la strategia generală. O verigă importantă în acest demers este informarea, pregătirea și atragerea managementului la nivel de departamente în procesul de implementare a strategiei, deoarece aceasta se face cu aportul tuturor factorilor responsabili din firmă. Pentru ca organizația să implementeze cu succes Industry 4.0 este nevoie ca alinierea strategică să fie realizată atât la nivel de firmă, cât și la nivel de departament. Mai mult, trebuie ținut cont de rapiditatea cu care mediul de afaceri și suportul tehnic se modifică în contextul generat de Industry 4.0. Implementarea strategiei legate de Industry 4.0 în strategia firmei trebuie să aibă la bază o cercetare serioasă privind nevoile și potențialul firmei, iar aceasta se face de obicei cu experți externi firmei.

Investițiile

Industry 4.0 oferă pe de parte oportunități de creștere a eficienței, dar prezintă și provocări sau riscuri semnificative care trebuie abordate cu atenție. Totuși, transformarea digitală nu poate fi ignorată și este absolut necesar ca firmele să facă investiții orientate spre tehnologie pentru a sprijini transformarea Industry 4.0 și a se alinia la dezvoltarea industrială digitală. Un raport recent ([Cotteleer și alții, 2020](#)), care analizează 361 de companii cu profil de producție din 11 țări, arată că și atunci când directorii implementează transformări digitale, acestea pot fi privite mai degrabă ca investiții defensive menite să protejeze, decât să crească afacerea. În raport se menționează de asemenea faptul că managerii se orientează spre investiții legate de producție și mai puțin spre partea de cercetare. Pentru a depăși o abordare defensivă, este nevoie ca managerii să treacă de nivelul unor simple re tehnologizări în domeniul tehnic și să abordeze și investițiile în domeniul netehnice, care în mod tradițional nu sunt legate de digitalizare. De asemenea este important să se investească pe lângă necesitățile operaționale și în cercetare-dezvoltare-inovare respectiv în creșterea gradului de calificare a resursei umane.

Resursa umană

Transformarea digitală, caracteristică perioadei actuale de transformare a societății și implicit a industriei, induce necesitatea ca întregul personal, indiferent de domeniul și nivelul la care lucrează, să dețină competențe digitale solide.

Competențele digitale sunt necesare deoarece toate procesele implică comunicare, procesare de date în vederea obținerii de informații valoroase și analiza acestora utilizând sisteme informatice. În actualele condiții, toate activități menționate sunt derulate de întregul personal. O listă a competențelor digitale necesare personalului este propusă în (Vuorikari și alții, 2016). În principal, sunt definite cinci domenii mari: colectare, filtrare și procesare de date; comunicare și colaborare; crearea de conținut digital; siguranță și securitate; rezolvarea problemelor. Aceasta listă se constituie ca un suport util în evaluarea resursei umane și a nivelului de pregătire pentru realizarea transformării digitale.

Colaborarea internă și externă

Implementarea Industry 4.0 cu succes implică și deschiderea departamentele pentru colaborare cu alte departamente și direct cu alte companii. Scopul comportamentului independent este o caracteristică a acestei transformări industriale și se impune pentru a fi asigurate reacții descentralizate, rapide și eficace care să conducă la eficientizarea activității. Transferul deciziei la nivele ierarhice inferioare, asociată cu asumarea răspunderii de către acestea, aduce o modificare substanțială în cultura organizațională și trebuie acceptată de către managementul companiei. Noul mod de colaborare include, pe lângă luarea deciziilor, și uniformizarea tuturor normelor și standardelor (nu doar a celor tehnice) la nivelul firmei și al colaboratorilor.

Măsurarea indicatorilor cheie de performanță

Indicatorii cheie de performanță sunt indicatorii critici care reflectă progres efectuat pentru atingerea unui rezultat dorit. Aceștia oferă un suport pentru îmbunătățirea strategiei și planificării operaționale, creând o bază solidă pentru luarea deciziilor și ajută la concentrarea atenției asupra a ceea ce este important. Motivul pentru care trebuie definiți indicatorii cheie de performanță ai organizației este că aceștia oferă apoi o imagine clară și de ansamblu asupra modului în care funcționează diferitele unități din cadrul companiei și dacă acestea sunt aliniate cu obiectivul general al companiei. Standardul (ISO 22400-1:2014) introduce indicatorii cheie de performanță ca terminologie și concept, iar standardul (ISO 22400-1:2014) prezintă cei mai relevanți introduce indicatorii cheie de performanță utilizați în practica curentă pe grupuri de utilizatori.

În abordarea acestui subiect trebuie avut în vedere faptul că indicatorii cheie de performanță nu sunt simple metrice care măsoară toți indicatorii sau rezultatele, ci trebuie să reflecte ceea ce este important pentru firmă. În contextul Industry 4.0, pe lângă ilustrarea activității generale, acești indicatori trebuie să reflecte și progresul privind digitalizarea și alte aspecte legate de implementarea sistemului.

Tabelul 3.3 prezintă componentele propuse pentru domeniul *strategie și organizare*, fiind definite și condițiile de încadrare în diferitele nivelele de maturitate. Aici, pentru fiecare domeniu definit sunt identificați factorilor care contribuie la implementarea transformării digitale pe domenii, pentru a facilita încadrarea domeniilor pe niveluri de maturitate.

Tabelul 3.3: Nivelele propuse pentru domeniul *strategia și organizarea*

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Managementul – conducerea firmei	Echipa de conducere nu recunoaște valoarea investițiilor din Industry 4.0	Echipa de conducere investighează potențialele beneficii ale Industry 4.0	Echipa de conducere recunoaște beneficiile Industry 4.0 și elaborează planuri de implementare	Suportul larg oferit de echipa de conducere pentru Industry 4.0, a cărui implementare este acceptată de toți angajații
Implementarea Industry 4.0 în strategia firmei	Conceptul Industry 4.0 este puțin cunoscut în departamente și nu este integrat în strategia firmei	Elementele conceptului Industry 4.0 sunt incluse în strategia firmei	Strategia firmei privind Industry 4.0 e comunicată și înțeleasă pe scară largă	Strategia Industry 4.0 este implementată în firmă în toate sectoarele
Investițiile	Investiții nestructurate privind nevoile Industry 4.0	Investiții în Industry 4.0 în domeniile de activitate mai avansate	Investiții în Industry 4.0 în majoritatea domeniilor de activitate	Investiții în Industry 4.0 în toate activitățile firmei
Resursa umană	Angajații au puțină sau nu au experiență cu tehnologiile digitale	Domeniile axate pe tehnologie au angajați cu unele abilități digitale	Abilități digitale și de analiză a datelor dezvoltate în majoritatea domeniilor	Întregul personal deține abilități digitale și de analiză a datelor avansate
Colaborarea internă și externă	Afacerea funcționează în structuri/ departamente funcționale	Există o interacțiune limitată între departamente	Departamentele acceptă colaborarea interfuncțională	Departamentele sunt deschise pentru colaborarea externă
Măsurarea indicatorilor de performanță	Indicatorii de performanță nu sunt concentrați pe Industry 4.0	Există un set structurat de indicatori de performanță, iar unii sunt concentrați pe specificul Industry 4.0	Metricile Industry 4.0 sunt înțelese pe scară largă și utilizate în raportările lunare	Indicatorii de performanță sunt concentrați în jurul obiectivelor Industry 4.0

Evaluarea nivelului de maturitate al domeniului *strategia și organizarea*

Din chestionarul aplicat managerilor firmelor analizate în capitolul anterior (*Anexa 2*) la care a răspuns și un reprezentat al FIRMEI, dar și din discuțiile cu alte persoane cu poziții de conducere ale acesteia, se poate concluziona că toți cei chestionați nu au o înțelegere profundă a fenomenului Industry 4.0 și investighează oportunitatea efectuării de investiții în implementarea sistemului. Totuși, investigarea beneficiilor este mai degrabă o abordare individuală, nefiind susținută la nivel instituțional, deci nu este derulată sistematic și planificat. Din acest motiv, pentru domeniul *managementul – conducerea firmei* se acordă nivelul de maturitate II. Pentru ca implementarea să aibă loc și să fie de succes, atingerea nivelului de maturitate IV pentru această componentă trebuie realizată încă din fazele timpurii ale implementării.

La nivelul departamentelor nivelul de cunoaștere al sistemului Industry 4.0 este cvasi-necunoscut. Aceasta, corelat cu nivelul scăzut de maturitate a criteriului anterior, face ca strategia privind implementarea Industry 4.0 să nu se regăsească în strategia generală a firmei. Prin urmare, componenta *implementarea Industry 4.0 strategia firmei* se clasează la nivelul de maturitate I. Ca și cazul managementului, este nevoie ca nivelul de maturitate IV să fie atins cât mai rapid pentru a se asigura o implementare a Industry 4.0 judicioasă și eficientă.

Până în prezent, FIRMA a efectuat investiții în automatizarea proceselor de producție și digitalizare. Investițiile nu au avut însă un caracter sistematic și orientat spre implementarea Industry 4.0, ci sunt mai degrabă în concordanță cu a treia revoluție industrială. Aceasta, deoarece automatizarea a avut în vedere posturi de lucru individuale și nu permite colectarea și transmiterea automată a datelor către utilizatori multipli. Pe de altă parte digitalizarea a cuprins mai mult domeniul dezvoltării de proiecte tehnice/produse și parțial cel administrativ/contabilitate, dar fără a exista un sistem informatic integrat. Din acest motiv, componentei *investiții* îi acord nivelul de maturitate I, iar nivelul țintă este IV.

Referitor la competențele digitale deținute de resursa umană, se poate afirma că acestea sunt mai relevante la personalul din domeniul proiectării-dezvoltării de produse și mai reduse la personalul din nivelurile ierarhice superioare din domeniul administrativ. Operatorii, gestionarii și alte categorii similare de personal nu dețin competențele digitale relevante pentru postul ocupat în contextul unei activități desfășurate conform principiilor și cerințelor Industry 4.0. Prin urmare, componentei *resursa umană* i se poate atribui nivel de maturitate II. Datorită cerințelor Industry 4.0 privind introducerea echipamentelor colaborative cu o puternică componentă digitală, consider atingerea nivelului IV de maturitate ca fiind obligatorie.

În structura actuală a FIRMEI diferitele departamente funcționale acționează ca entități individuale, legătura dintre ele fiind asigurată de personal desemnat și limitat ca număr. Acest personal are libertate limitată în luarea deciziilor, majoritatea necesitând aprobarea din partea conducătorilor departamentelor. Legătura cu exteriorul firmei este asigurată prin canale și mai înguste, indiferent de problemele care trebuie rezolvate. Din acest motiv nivelul de maturitate al componentei *colaborarea internă și externă* îl încadrez la valoarea II. Deoarece principiile Industry 4.0 sunt transparența și descentralizarea deciziilor, o evoluție rapidă pentru această componentă până la nivelul de maturitate IV este absolut necesară.

Există o serie de indicatori tehnico-economici care sunt periodic calculați și analizați de factorii responsabili din firmă. Totuși, aceștia sunt limitați ca număr și sunt indicatori standard care nu iau în considerare evoluția transformării digitale.

Deoarece datele nu sunt colectate în timp real nici nu există posibilitatea de a se crea o imagine a firmei în orice moment ci doar periodic: lunar, trimestrial sau semestrial. Acest fapt justifică încadrarea nivelului de maturitate a componentei măsurarea indicatorilor cheie de performanță la valoarea I. Prin digitalizare și comunicarea datelor online și prin introducerea unor noi indicatori care să reflecte progresul implementării Industry 4.0 se dorește atingerea nivelului de maturitate IV.

Situația actuală și țintele propuse spre a fi atinse după implementarea transformării digitale pentru cele șase componente ale domeniului *strategia și organizarea* sunt reprezentate sub formă grafică în figura 3.4.

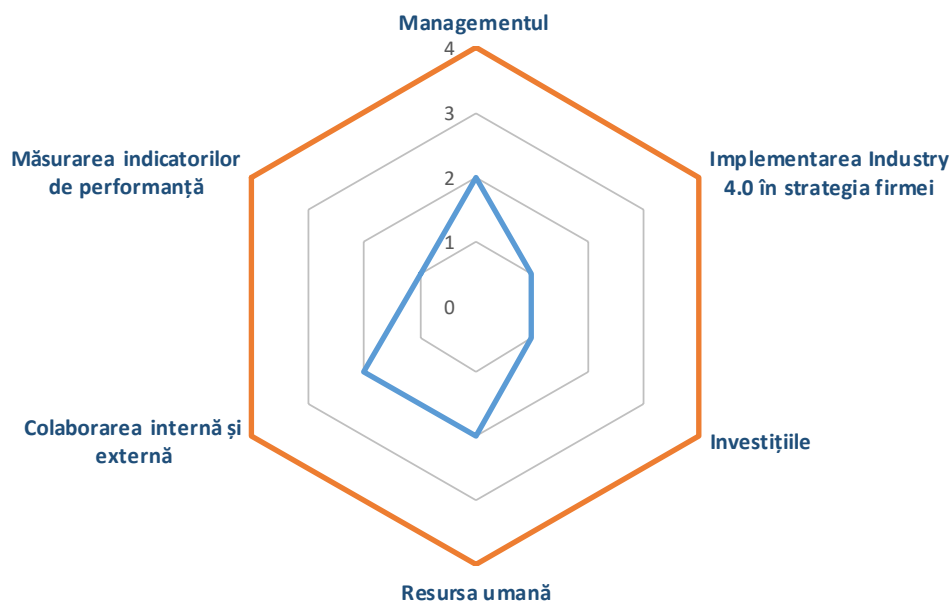


Figura 3.4: Nivelul actual de maturitate (linie albastră) și nivelul țintă (linie portocalie) pentru domeniul *strategia și organizarea*

3.2.4. Lanțul de aprovizionare și distribuție

Pentru ca Industry 4.0 să fie implementată este nevoia ca majoritatea proceselor și sistemelor de afaceri trebuie să devină complet digitalizate. Cercetările arată că una dintre cele mai mari provocări în implementarea Industry 4.0 nu constă în modul în care compania aplică tehnologii informatice punctual în dezvoltarea și derularea afacerii, ci în cât de eficientă este în dezvoltarea unei abordări integrate a lanțului de aprovizionare și distribuție care se conectează cu furnizorii și clienții (Arlbjørn și Mikkelsen, 2014). Obținerea unei colaborări digitale complete și apoi utilizarea eficientă a acesteia de-a lungul lanțului de aprovizionare și distribuție necesită ca toți partenerii implicați să dezvolte procese, capabilități și sisteme care să susțină acest proces. Din punct de vedere al culturii companiei, trebuie să se dezvolte responsabilitatea și încrederea de a împărtăși în mod deschis informații corecte în timp util cu mulți colaboratori din afara structurii proprii. Pentru majoritatea companiilor această abordare necesită un nivel de maturitate mult peste cel actual, prezentat în momentul de față în relațiile lor tradiționale cu furnizorii și clienții.

Evidența inventarului în timp real

Cunoașterea în timp real a situației stocurilor de materiale, de produse neterminate și de produse finite este esențială pentru a putea reacționa la schimbările unei piețe dinamice. Accesul continuu la aceste informații este posibil doar prin utilizarea de mașini și echipamente inteligente care comunică permanent evoluția producției și a stocurilor utilizând facilitățile transformării digitale. Acest mod de a ține evidența inventarului contrastează cu situația întâlnită acum în cele mai multe firme, care actualizează situația inventarului periodic și de cele mai multe ori prin introducerea informațiilor manual în baze de date. Accesul la aceste baze de date este asigurat unui număr limitat al utilizatori.

Integrarea lanțului de aprovizionare și distribuție

Comunicarea cu furnizorii și clienții este esențială în derularea eficientă a producției. Comunicarea discontinuă, de circumstanță, realizată e regulă pe parcursul efectuării comenzilor și la livrarea produselor nu permite o reacție în cazul apariției unor factori perturbatori care pot compromite termenele de livrare și care pot produce ulterior întârzieri în livrare pe întregul lanț. Chiar dacă există comunicare sporadică în vederea prezentării stadiului produselor, acesta se poate manifesta eficient eventual pentru primul nivel de furnizori. Oricum, o soluție alternativă de aprovizionare este greu de găsit în condițiile în care nu există date de la alți potențiali furnizori. Prin urmare, asigurarea comunicării pe întregul lanț de producție, atât între actorii direct implicați cât și cu potențiali furnizori sau beneficiari este esențială pentru continuitatea și eficiența producției.

Transparența lanțului de aprovizionare și distribuție

Cunoașterea stadiului în care se află produsele pe fluxul de producție de către toți participanții la proces este esențială, dar nu este suficientă. Pentru a putea reacționa rapid la întreruperi accidentale de producție datorită lipsei materialelor, sau a disponibilității mașinilor respectiv a personalului, partenerii trebuie să aibă acces la aceste date în timp real. În acest fel se pot găsi rute alternative de producție, dar aceasta presupune colectarea informațiilor și de la parteneri care nu sunt implicați în procesul de producție în derulare. Transparența, ca principiu de bază al Industry 4.0 trebuie acceptat de managementul firmelor, care trebuie de asemenea să agreeze noi modele de business care permit reconfigurarea adaptivă a fluxului de producție.

Flexibilitatea lanțului de aprovizionare și distribuție

Răspunsul la schimbările pieței este o altă provocare la care trebuie să facă față lanțul de aprovizionare și desfacere. Cerințe legate de modificări minore sau mai mare ale produselor standard și chiar individualizarea produselor este posibilă utilizând infrastructura de producție adecvată, dar este nevoie și de rapiditate și flexibilitate în contractare. Implementarea Industry 4.0 poate aduce o schimbare revoluționară, întru-cât vizibilitatea cererii viitoare și existența informațiilor în timp real despre capacitatea de producție, inventarul și operațiunile de-a lungul fluxului de producție face posibil un răspuns mai bun la nevoile clienților.

Tabelul 3.4: Nivelele propuse pentru domeniul *lanțul de aprovizionare și distribuție*

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Evidența inventarului în timp real	Inventarul se efectuează periodic	Se folosește o bază de date computerizată care este actualizată manual	Baza de date este actualizată automat la predarea loturilor de produse	Baza de date este actualizată în timp real cu ajutorul dispozitivelor inteligente
Integrarea lanțului de aprovizionare și distribuție	Comunicare reactivă de circumstanță cu furnizorii și clienții	Comunicare de bază și partajarea datelor necesare cu furnizorii și clienții	Transfer de date între furnizori/clienți strategici	Sistem complet integrat cu furnizorii/clienții pentru procese potențiale sau în derulare
Transparența lanțului de aprovizionare și distribuție	Fără integrare cu furnizorii sau clienții	Stadiul producției, capacitatea de fabricare și inventarul sunt vizibile între furnizorii și clienții de primul nivel	Stadiul producției, capacitatea de fabricare și inventarul sunt vizibile de-a lungul lanțului de aprovizionare	Toate elementele legate de fabricație sunt vizibile în timp real de-a lungul lanțului de aprovizionare și sunt utilizate pentru monitorizare și optimizare
Flexibilitatea lanțului de aprovizionare și desfacere	Răspuns lent la schimbările pieței	Răspuns moderat la schimbările pieței și la cele generale solicitate de clienți	Răspuns moderat la schimbările pieței și la cerințele individuale ale clienților	Răspuns imediat la schimbările pieței și cerințele individuale ale clienților
Timpii de livrare	Timp lung de livrare al materialelor, rezultând niveluri ridicate ale stocurilor	Au fost identificate îmbunătățiri pentru a reduce timpii de livrare pentru unele produse	Au fost implementate îmbunătățiri pentru a reduce timpii de livrare pentru produsele cheie	Se aplică termene de livrare diferențiate pentru a răspunde eficient la comenzi individualizate

Timpii de livrare

Livrarea la termen este o cerință firească a clienților, iar un avantaj competitiv îl asigură capacitatea firmei de a scurta timpii necesari pentru livrare. Încadrarea în aceste cerințe depinde de modul de organizare a producției, de modul de colaborarea între compartimente/companii și de modul în care se poate răspunde la întreruperi neplanificate ale producției din varii motive. Între această componentă și cele descrise anterior aparținând aceluiași domeniu există o strânsă legătură, realizarea unor timpi de livrare impuși fiind susținuți de transparența proceselor de producție în ansamblul lor, bazată pe integrarea sistemelor care monitorizează aceste procese.

Tabelul 3.4 prezintă nivelele propuse pentru domeniul produsele firmei și criteriile care stau la baza încadrării în aceste nivele. Acestea sunt utilizate în secțiunea următoare pentru a evalua maturitatea lanțului de aprovizionare și desfacere.

Evaluarea nivelului de maturitate al domeniului lanțul de aprovizionare și distribuție

FIRMA are o politică clară privind inventarul, iar acesta se ține într-un sistem centralizat și se actualizează odată cu efectuarea achizițiilor și la predarea loturilor de produse. Sistemul nu dispune de suportul echipamentelor inteligente și operațiunile se desfășoară discontinuu, motiv pentru care componenta *evidența inventarului* se încadrează la nivelul III. Ținta este cunoașterea situației stocurilor în timp real, nivelul de maturitate dorit fiind prin urmare IV.

Comunicarea cu furnizorii și cu clienții excedă comunicarea reactivă, iar unele date sunt partajate cu partenerii la cerere. Această practică corespunde nivelului de maturitate II. Ținta propusă este *integrarea completă cu furnizorii și beneficiarii* (activi dar și cu unii potențiali), adică atingerea nivelului de maturitate IV. Atingerea acestui nivel depinde mult de partenerii FIRMEI, dar din studiul prezentat în capitolul doi efectuat pe 30 de parteneri rezultă totala disponibilitate a acestora de colaborare în sensul solicitat de Industry 4.0.

Ca și pentru criteriul analizat anterior, asigurarea *transparenței lanțului de aprovizionare și distribuție* depinde și de partenerii FIRMEI. În prezent nu există integrare între sistemele de planificare a producției, fiind astfel justificată încadrarea la nivelul de maturitate I. Datorită importanței acestei componente, se consideră că atingerea nivelului IV de maturitate este obligatorie.

În prezent, datorită modului de analiză a pieței și de relaționare cu clienții, nu există capacitatea de a răspunde prompt la schimbările cerințelor pieței. Aceasta, în pofida capacității de proiectare și dezvoltare tehnologică necesară. Datorită faptului că reacția la schimbările pieței este lentă, încadrez nivelul de maturitate al componentei *flexibilitatea lanțului de aprovizionare și distribuție* la valoarea I. Datorită importanței acestei componente, nivelul de maturitate țintă este IV.

Datorită inexistenței unui sistem integrat privind contractarea, dezvoltarea produselor și ofertarea care să comunice cu un sistem inteligent de planificare a producției, nu există posibilitatea optimizării timpilor de livrare a produselor. Acești timpi nu se individualizează pentru clienți, producția fiind în loturi de dimensiuni stabilite. Situația actuală face ca nivelul de încadrare al maturității pentru componenta *timpii de livrare* să fie I. Prin integrarea datelor și aplicarea unor tehnici de optimizare se intenționează să se atingă nivelul IV.

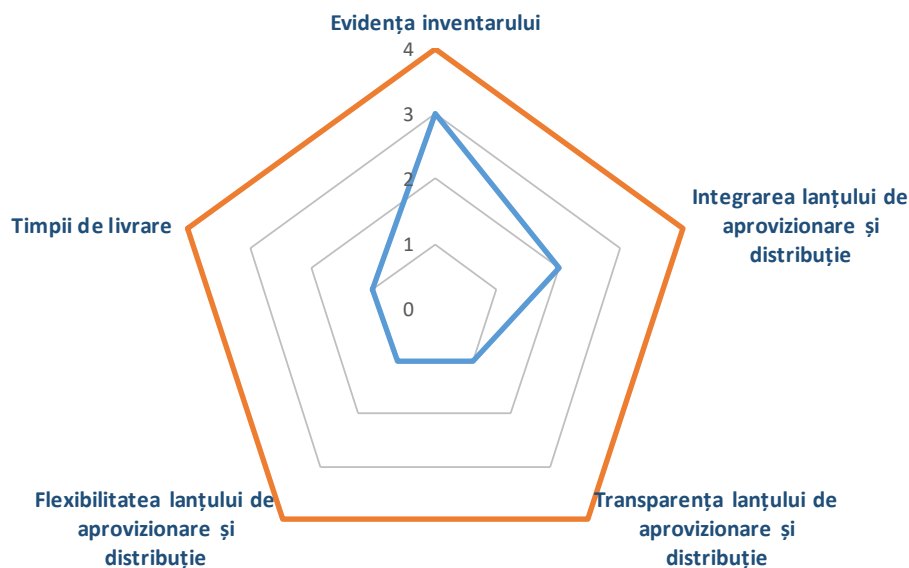


Figura 3.5: Nivelul actual de maturitate (linie albastră) și nivelul țintă (linie portocalie) pentru domeniul lanțul de aprovizionare și distribuție

Situația actuală și obiectivele finale pentru cele cinci componente sunt reprezentate sub formă grafică în figura 3.5. Se observă o maturitate scăzută pentru majoritatea subdomeniilor, excepție făcând modul de evidență al inventarului.

3.2.5. Modelul de business

Deși originile le are în sfera tehnică, Industry 4.0 creează o oportunitate majoră în redefinirea modelului de afaceri. Spre exemplu, există posibilitatea de a muta colaborarea în online, după modelul deja aplicat de ceva vreme în comerțul cu amănuntul care are la bază cataloagele de produse. Acest model a permis extinderea pieței și ocuparea unui segment de piață mai mare pentru cei care utilizează comerțul online. Există și modele mai revoluționare, prin apariția platformelor care oferă vizibilitate și permit armonizarea cererii cu oferta. Astfel de „mediatori de piață” sunt de exemplu ebay pentru comerț, Airbnb pentru găzduire și Whim sau Uber pentru mobilitate. Digitalizarea permite nu doar extinderea ariei geografice ci și a intervalului de timp în care se poate opera, datorită pe de o parte mobilității dispozitivelor de comunicare și pe de altă parte datorită implicării inteligenței artificiale în luarea deciziilor bazate pe volum mare de date.

Modele de business orientate spre servicii

Oferirea produsului sub forma unui bun material ca serviciu este un model de business care permite clienților să achiziționeze rezultatul dorit și nu echipamentul care oferă acel rezultat. De exemplu, energia necesară pentru acționarea unui autobuz electric poate fi achiziționată ca serviciu, în locul bateriilor fiind achiziționat un serviciu care include schimbarea bateriilor descărcate cu unele încărcate. În modelul

tradițional de achiziție, clientul ar cumpăra baterii, dat în modelul produsul ca serviciu, compania ar achiziționa un anumit număr de operațiuni de înlocuire a bateriilor. Acest model oferă beneficii atât clientului, cât și furnizorului.

Decizii bazate pe date (data driven)

Analiza datelor voluminoase necesită tehnici de analiză avansată, de regulă fiind utilizați algoritmi de învățare automată (*machine learning*). Aceștia oferă o interpretare mai aprofundată a datelor, punând la dispoziția utilizatorilor (clienți și producători deopotrivă) informații despre utilizarea, performanța și condițiile de funcționare ale unui produs. Acest lucru duce la modificări de proiectare, implementare și mentenanță care pot crește eficiența și pot reduce costurile, oferind valoare suplimentară atât clienților, cât și furnizorilor. Deciziile luate în acest mod, bazate pe date complete și complexe, fac ca acțiunile să se desfășoare în conformitate cu hotărâri luate în mod obiectiv și fundamentate pe date.

Integrarea canalelor de marketing

Specialiștii în marketing modern au în prezent multe canale disponibile pentru a comunica cu cumpărătorii, iar prin utilizarea lor este de dorit să maximizeze impactul campaniilor de marketing. Dar utilizarea mai multor canale aduce și o provocare, cea de a asigura consecvența și complementaritatea mesajelor. Marketingul integrat este strategia de transmitere a unui mesaj unificat și holistic pe toate canalele de marketing folosite de o firmă. Marketingul integrat oferă mesaje consecvente pe toate canalele de comunicare, fie ele clasice sau dispozitive electronice. În special în ceea ce privește experiența și mesajul vizualizate pe calculator sau pe mobil, este important ca acestea să fie aceleași. De asemenea, răspunsurile la întrebări despre produse trebuie să fie aceleași, fie că sunt oferite de un live de un operator, fie printr-un serviciu automat de pe site. Având în vedere complexitatea canalelor moderne de marketing, marketingul integrat cere planificare și efort concentrat.

Trasabilitatea

Urmărirea și trasabilitatea în timp real se referă la capacitatea de a urmări prin mijloace electronice eficiente de la subcomponente până la produse pe tot parcursul existenței. Sistemul se implementează pentru a asigura clienții că primesc produsele potrivite la locul și momentul potrivit, cu trasabilitate deplină. Înregistrările privind urmărirea traseului subcomponentelor și a produselor sunt obținute prin adăugarea unui ID unic la fiecare articol de interes folosind tehnologia automată de captură a datelor (cod de bare, matrice de date etc.). Produsele sunt urmărite fie prin scanarea articolelor în sine la toate transferurile inter- și transcompanii, fie prin imbricarea lor în unitățile de expediere și scanarea acestor unități. Fiecare articol poate fi astfel identificat și urmărit în mod unic și automat pe baza ID-ului. Pe lângă cunoașterea poziției se poate identifica și starea elementului monitorizat pe tot ciclul de viață.

Programarea întreținerii

Programarea întreținerii mașinilor și diferitelor componente ale acestora poate fi o provocare logistică pentru o firmă. Programele tradiționale de întreținere sunt realizate folosind ghiduri de întreținere preventivă bazate pe timpul de funcționare.

Întreținerea preventivă are dezavantajul că nu prevede situațiile în care o mașină ar putea avea nevoie de reparație înainte de termenul programat din cauza defecțiunilor premature a anumitor componente. Există și situații în care întreținerea preventivă planifică reparații inutile, când componentele au încă durată de viață utilă. Întreținerea bazată pe monitorizarea stării mașinii (*condition monitoring*) este o abordare proactivă de întreținere, care ia în considerare și starea reală a componentelor și consumabilelor. Evaluarea stării mașinii se face cu implicarea unor senzori dedicați, care oferă informații utilizate apoi pentru a prezice defecțiunile funcționale viitoare. Metoda se poate aplica nu doar mașinilor proprii, ci și produselor livrate dacă există contracte de service și/sau mentenanță asociate acestora.

Dacă în prezent unele firme mai utilizează sisteme manuale, pe hârtie, pentru a programa activitatea, întreținerea bazată pe monitorizarea stării mașinii presupune un grad ridicat de automatizare a programării. Beneficiile obținute în urma programării automate sunt incontestabile, deoarece permiterea algoritmilor de programare să gestioneze automat resursele în cel mai eficient mod nu numai că îmbunătățește productivitatea, dar permite degrevarea personalului de activități de rutină. Trecerea de la programarea manuală la programarea automată poate fi un salt mare, motiv pentru care se recomandă o abordare în trepte ca modalitate de a gestiona schimbarea modelului de business.

Modul de contractare

Managementul contractelor este procesul de gestionare a creării, execuției și analizei contractelor pentru a maximiza performanța operațională și financiară a unei organizații. Acesta include negocierea termenilor și condițiilor din contracte și asigurarea respectării termenilor și condițiilor, precum și documentarea și convenirea asupra oricăror modificări care pot apărea în timpul implementării sau executării acestora. De regulă se utilizează contracte standard, dar flexibilitatea impusă de sistemul Industry 4.0 impune și o flexibilitate în stabilirea clauzelor contractuale. Managementul contractelor se dovedește a fi un element al afacerii care consumă foarte mult timp, ceea ce facilitează necesitatea unui sistem de management al contractelor eficient și automatizat. Automatizarea contractării utilizând software dedicat permite monitorizarea contractelor complexe, de către persoane aflate în locații diferite, nefiind deci bazat doar pe documente tipărite.

Aportul TIC la derularea afacerilor

Fiecare afacere are nevoie de servicii și sisteme TIC eficiente pentru a crește productivitatea. Aceste servicii pot fi oferite de experți interni sau se pot externaliza, dar doar serviciile TIC performante și de încredere le permit companiilor să rămână competitive. Prin urmare, este esențial pentru companii să rămână la curent cu cele mai recente tendințe tehnologice și să se concentreze pe actualizarea continuă a sistemelor lor informatice existente.

Un prim aspect legat de importanța TIC este gestionarea datelor. Firmele dețin date importante referitoare la activitățile derulate. Monitorizarea cuprinzătoare prin intermediul unui sistem informatic competent este, de asemenea, o necesitate pentru companii. Este important ca performanța și progresul operațiunilor interne ale unei afaceri să fie cunoscute în timp real. Un alt domeniu în care este implicat TIC este găsirea de soluții optime la problemele complexe pe care le ridică menținerea sau dezvoltarea unei afaceri.

Pe baza celor prezentate anterior, în tabelul 3.5 se propun nivelele pentru domeniul *modelul de business*. Se observă că există interdependențe între componentele modelului de business și cel al sistemului de producție, spre exemplu prin necesitatea de a îngloba senzori în mașinile și utilajele de producție.

Tabelul 3.5: Nivelele propuse pentru domeniul *modelul de business*

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Modele de business orientate spre servicii	Nu există această abordare	Concept este acceptat și există planuri incipiente de implementare	Nivelul ridicat de acceptare și planurile sunt în curs de implementare	Produse fizice sunt oferite clienților ca servicii
Decizii bazate pe date	Datele nu sunt analizate pe scară largă	Unele date sunt analizate sistematic și sunt incluse în rapoarte cheie pentru corectarea proceselor	Marea majoritate a datelor sunt analizate și rezultatele sunt baza luării deciziilor	Toate datele relevante sunt analizate în sistem automatizat și deciziile se iau în consecință
Integrarea canalelor de marketing	Prezența online este separată de canalele offline	Integrare în interiorul canalelor online și offline, dar ele rămân separate	Toate canalele sunt corelate unele cu altele	Toate canalele sunt corelate și există o abordare individuală a clienților
Trasabilitatea	Capacitate de urmărire limitată a evoluției produsului	Produsul poate fi urmărit pe măsură ce avansează pe fluxul de producție	Produsul poate fi urmărit în procesul de producție și până când ajunge la client	Produsul poate fi urmărit de-a lungul întregului ciclu de viață
Programarea întreținerii	Echipamentul este întreținut conform unei programări efectuate manual în conformitate cu timpii de funcționare	Unele mașini anunță operatorii cu privire la o problemă de funcționare, iar operația de întreținere se programează manual	Unele mașini se pot diagnostica singure și informează automat sistemul de programare a întreținerii	Majoritatea mașinilor se pot diagnostica, iar programul de întreținere se adaptează pe baza datelor transmise în timp real de mașină

Tabelul 3.5: Nivelele propuse pentru domeniul *modelul de business* (continuare)

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Modul de contractare	Procesele de contractare sunt standardizate (liniare și neschimbate)	Unele procese de contractare suferă mici modificări pentru a reflecta schimbările operaționale	Unele proiecte cheie utilizează noi modele de contractare, dar aceasta nu este o practică standard	Toate contractele țin cont de context și stimulează toate părțile să obțină cel mai bun rezultat
Aportul TIC la derularea afacerilor	Unele departamente au suport TIC dar nu există o integrare a sistemelor	Există o integrare a departamentelor beneficiare de TIC	Toate departamentele au suport TIC și sistemele sunt complet integrate	Utilizatorii controlează procesele și iau decizii de la distanță utilizând dispozitive multiple

Evaluarea nivelului de maturitate al domeniului *modelul de business*

Modelele de business practicate în FIRMĂ sunt cele tradiționale, atât cele care guvernează activitatea internă în cadrul societății, cât și cele care procedurează colaborarea externă. În prezent nu există produse de natura bunurilor materiale care să fie oferite ca servicii și acest concept nici nu este cunoscut în firmă. Prin urmare, această componentă se încadrează la nivelul I. Datorită faptului că programul de implementare Industry 4.0 are o durată relativ scurtă, pentru nivelul IV a fost stabilit ca firma să înceapă să livreze produse de natura bunuri ca și servicii fără a fi precizată și proporția. Obiectivul firmei pentru componenta *modele de business orientate spre servicii*, adică existența serviciilor care înlocuiesc bunuri, este atingerea nivelului IV.

Firma colectează un volum relativ mare de date privind operațiunile și rezultatele financiare, dar nu are stabiliți indicatori cheie, mai ales în ceea ce privește implementarea Industry 4.0. Acestea sunt analizate sistematic și sunt incluse în rapoarte cheie, dar aceste rapoarte nu sunt întotdeauna interpretate obiectiv pentru corectarea proceselor. Din acest motiv criteriul decizii bazate pe date se încadrează la nivelul de maturitate II. Ținta propusă este ca toate datele colectate să fie disponibile în format digital și deciziile să se bazeze pe interpretarea a acestora. Cu toate că în momentul de față nu există disponibilitate din partea conducerii de a accepta în totalitate deciziile luate de sisteme automate, deci va fi inclus și un grad de subiectivism, nivelul de maturitate dorit este IV.

Referitor la marketingul firmei, se poate spune că acesta se gestionează într-un singur departament dar există abordări diferite în ceea ce privește abordarea în offline și în online. Prin urmare componenta *integrarea canalelor de marketing* a atins nivelul de maturitate II. Ținta este atingerea nivelului de maturitate IV, adică o integrare completă a tuturor canalelor.

Traseul pe care se află produsul în timpul fabricației, incluzând cunoașterea loturilor din care provin componentele, este urmărit până la finalizare. Referitor la produse, se cunoaște de asemenea apartenența la loturi și destinația acestora, fără a exista un feedback în ceea ce privește utilizarea și scoaterea din uz. Este astfel justificată încadrarea la nivelul de maturitate II a componentei *trasabilitatea*. Deoarece obiectivul este cunoașterea comportamentului și după livrare, inclusiv momentul în care apare nevoia de înlocuire, nivelul de maturitate țintă este IV.

Strategia privind *programarea întreținerii* este bazată pe respectarea unor grafice întocmite în funcție de timpii de funcționare și de recomandările producătorilor. Unele mașini au traductori, de regulă analogici, care sunt monitorizați de operatori, iar aceștia anunță întreținerea când parametrii sunt în afara limitelor prescrise. Modelul corespunde nivelului de maturitate II. Se dorește ca mașinile să fie dotate cu senzori care pot prezice momentul în care este necesară intervenția în vederea efectuării mentenanței și comunică aceasta unui sistem de gestionare a reparațiilor. Sistemul de programare necesită și intervenție umană, deci nivelul de maturitate dorit este nivelul III.

Contractarea se face după reguli stricte, lăsând un spațiu foarte mic pentru adaptarea la context. Acest mod de lucru corespunde nivelului de maturitate I. Se dorește ca procesul de contractare să fie flexibil și să permită adaptarea contractelor în funcție de context pentru majoritatea contractelor, dar în mod obligatoriu pentru contractele-cheie. Aceasta ar corespunde nivelului de maturitate III.

În prezent, compartimentul responsabil cu TIC oferta suport majorității departamentelor, în special pe parte tehnică, dar fără ca sistemele să fie integrate. Prin urmare această componentă are atribuit nivelul de maturitate I. Prin digitalizare intensivă se dorește ca utilizatorii să poată accesa un sistem integrat care să permită luarea deciziilor de la distanță, ceea ce ar corespunde unui nivel de maturitate IV.

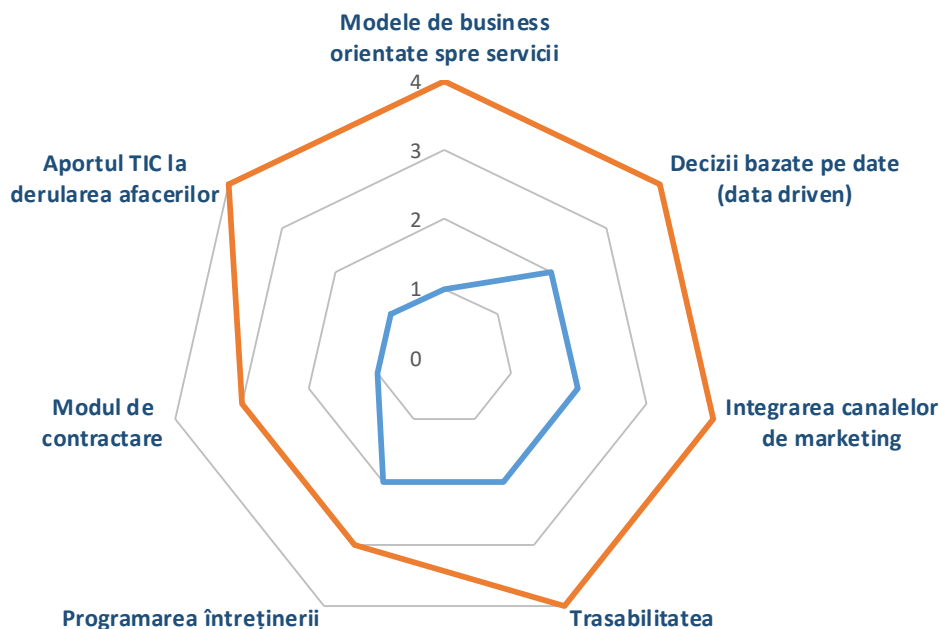


Figura 3.6: Nivelul actual de maturitate (linie albastră) și nivelul țintă (linie portocalie) pentru domeniul *modelul de business*

Situația actuală și obiectivele finale pentru cele șapte componente ale modelului de business sunt reprezentate sub formă grafică în figura 3.6. Din nou se observă dependența unor componente de componente ale domeniilor anterioare, în special cele legate de implementarea senzorilor și de TIC.

3.2.6. Securitatea și protecția datelor

Industry 4.0 își atinge scopul prin schimbări evolutive dar și revoluționare ale modului de producție, ale lanțurilor de aprovizionare și ale modelelor de afaceri. Chiar dacă nu este nu întotdeauna aplicat, este unanim recunoscut că implicarea timpurie a producției și a lanțului de aprovizionare în procesul de dezvoltare a noilor produse este esențială succesul comercializării acestora. Pentru ca o companie să își valorifice întregul potențial oferit de Industry 4.0, ea va trebui să ia în considerare din faza timpurie a dezvoltării produselor și de aspectele legate de securitatea și protecția datelor. Acestea se clasifică în două domenii mari: domeniul juridic și domeniul TIC. În continuare sunt descrise succint componentele acestui domeniu, iar nivelele propuse pentru componentele domeniului *securitatea și protecția datelor* sunt prezentate în tabelul 3.6.

Politicile de securizare a informației și protecție a datelor

Securitatea informațiilor se referă la practica de a proteja informațiile prin implicarea, prevenirea sau reducerea probabilității accesului neautorizat la date, respectiv a utilizării ilegale, dezvăluirii, ștergerii, modificării sau înregistrării informațiilor. Informațiile protejate pot fi în format electronic sau fizic, pot fi tangibile precum documentele sau intangibile, de exemplu cunoștințele. Obiectivul principal al securității informațiilor este protecția confidențialității, a integrității și a disponibilității datelor, care trebuie asigurat fără a împiedica productivitatea firmei.

Pe lângă politicile proprii legate de gestionarea și circuitul documentelor, firma trebuie să aplice și legislația europeană și națională legată de protecția datelor cu caracter personal.

Proprietatea intelectuală

Proprietatea intelectuală este o categorie de active necorporale (netangibile) deținute de către firmă și protejate din punct de vedere legal împotriva utilizării externe sau implementării fără consimțământ. Firmele românești nu sunt suficient de interesate de identificarea și protejarea proprietății intelectuale, chiar dacă aceasta reprezintă o valoare însemnată în economia actuală, din ce în ce mai mult bazată pe cunoaștere. Cele mai uzuale elemente de proprietate intelectuală care pot fi regăsite în firme sunt brevetele, mărcile, desenele și modelele industriale, secretele comerciale și drepturile de autor asupra programelor informatice. În ceea ce privește răspândirea geografică și perioada de timp pentru care este asigurată protecția există nivele de protejare diferite pentru diversele elemente. De asemenea, există elemente precum secretele comerciale care nu sunt protejate legal în toate țările.

Franciza este o modalitate prin care se asigură transferul de proprietate intelectuală de la un francizor unui francizat, acesta din urmă dobândind acces la cunoștințele, procesele și mărcile comerciale deținute de francizor. Este un model de afaceri care permite francizatului să vândă un produs sau serviciu sub numele comercial al francizorului.

Tabelul 3.6: Nivelele propuse pentru domeniul *securitatea și protecția datelor*

Nivelul de maturitate	Nivelul 1 Novice	Nivelul 2 Intermediar	Nivelul 3 Avansat	Nivelul 4 Expert
Politici de protecție a datelor	Nu există politici sau proceduri de protecție a datelor, cu excepția GDPR	Există proceduri interne, actualizate cu GDPR, dar nu sunt corelate cu cele ale furnizorilor/ clienților	Politici și proceduri bine elaborate incluzând GDPR	Politici și proceduri actualizate cu cerințele GDPR, inclusiv în sensul Industry 4.0
Proprietatea intelectuală	Nu există interes pentru protejarea proprietății intelectuale	Proprietatea intelectuală aferentă noilor produse și servicii nu este identificată sau protejată	Proprietatea intelectuală este identificată și se fac evaluări privind oportunitatea solicitării protecției legale	Proprietatea intelectuală aferentă produselor și serviciilor este protejată legal pentru majoritatea situațiilor identificate
Securitatea informației	Sunt planificate soluții de securitate IT	Soluțiile de securitate IT au fost parțial implementate	Au fost implementate soluții cuprinzătoare de securitate IT cu planuri de dezvoltare pentru a elimina orice risc	Soluțiile de securitate IT au fost implementate pentru toate domeniile relevante și sunt revizuite frecvent
Analiza riscurilor	Riscurile nu sunt sistematic identificate și/sau evaluate	Noile riscuri sunt identificate și/sau evaluate, dar nu sunt luate măsuri	Noile riscuri sunt identificate și/sau evaluate și sunt luate unele măsuri	Noile riscuri sunt identificate și evaluate și există proceduri clare de planificare și implementare a măsurilor

Securitatea TIC

În urma digitalizării proceselor din firme, majoritatea datelor se regăsesc în format electronic. Securitatea TIC se referă la securizarea datelor digitale, prin securitatea rețelei de calculatoare și asigurarea unui backup corespunzător. Este important ca și datele provenite de la diverse terminale precum sistemele cyber-fizice să fie transmise corect și în timp real în vederea obținerii, în urma prelucrării lor, a unor rezultate concludente și conforme cu realitatea. Securitatea TIC trebuie asigurată pentru cloud, internet, rețelele interne și dispozitivele individuale. Pe lângă securizarea datelor și a canalelor de comunicații trebuie securizarea hardware-ului și software-ului împotriva distrugerii sau a furtului.

Analiza riscurilor

Prin analiza riscurilor, firma identifică și analizează problemele potențiale care ar putea avea un impact negativ asupra inițiativelor sau proiectelor cheie ale afacerii. Procesul este realizat pentru a ajuta firma să evite sau să atenueze aceste riscuri. Efectuarea unei analize de risc include luarea în considerare a tuturor evenimentelor adverse posibile în vederea stabilirii amplitudinii impactului asupra afacerii. Efectele negative trebuie estimate în raport cu o metrică care măsoară probabilitatea producerii evenimentului. Scopul final al evaluării riscurilor este de a concepe și implementa măsuri pentru eliminarea sau reducerea riscurilor, începând prioritar cu riscul cu cel mai mare efect. Procesul este continuu.

Evaluarea nivelului de maturitate al domeniului *securitatea și protecția datelor*

Majoritatea managerii implicați în studiul prezentat în subcapitolul 3.1 consideră *securitatea și protecția datelor* ca fiind o barieră în implementarea Industry 4.0. Acest domeniu stârnește îngrijorare și trebuie tratat cu maximă atenție pentru a nu inhiba conducerea firmei în acțiunile de introducere a noului sistem de producție.

Încadrându-se în acest context, am constatat că FIRMA nu are politici de securizare a informației și de protecție a datelor cu excepția celor referitoare la GDPR. Aceasta încadrează componenta la nivelul de maturitate I. Ținta firmei este de a avea implementate politici și proceduri clare și coordonate cu partenerii de afaceri, care să țină cont și de provocările Industry 4.0 Astfel, pentru această componentă nivelul de maturitate propus este IV.

La momentul actual, în FIRMĂ nu există un interes major pentru *protejarea proprietății intelectuale* în special în ceea ce privește inovația tehnică. De asemenea, aceasta activitate nu este susținută de un responsabil sau de un compartiment specializat. Din acest motiv componenta se încadrează la nivelul de maturitate I. În urma procesului de transformare se dorește ca marea majoritate a elementelor care se pot supune legal protecției intelectuale să fie identificate, protejate și înregistrate ca și imobilizări necorporale. Nivelul propus a fi atins la sfârșitul perioadei de implementare Industry 4.0 este nivelul IV.

Securitatea IT este esențială pentru activitatea FIRMEI, iar aceasta a depus eforturi în acest sens. În prezent este asigurat accesul la informații pe nivele de competență, securitatea comunicațiilor persoană-persoană, se face backup sistematic. Comunicarea om-mașină și mașină-mașină nu a fost luată în calcul ca și risc potențial.

Nefiind implementate soluții de securitate pentru toate domeniile de activitate, componenta *securitatea informațiilor* se încadrează la nivelul III. Țintă este atingerea nivelului IV.

Referitor la componenta analiza riscurilor, FIRMA efectuează astfel de analize periodic. Sunt identificate riscuri, fără a fi însă neapărat implementate măsuri de diminuare sau evitare a urmărilor, cu atât mai puțin este urmărită în mod sistematic implementarea acestora. Nivelul de maturitate propus este II. În vederea evitării influențelor negative asupra funcționării eficiente a FIRMEI, sau cel puțin pentru reducerea efectelor nefavorabile, se consideră că atingerea nivelului IV de maturitate este obligatorie.

Situația actuală de încadrare pe nivele de maturitate și obiectivele stabilite pentru finalul perioadei de implementare a Industry 4.0 pentru cele patru componente ale domeniului *securitatea și protecția datelor* sunt reprezentate sub formă grafică în figura 3.7.

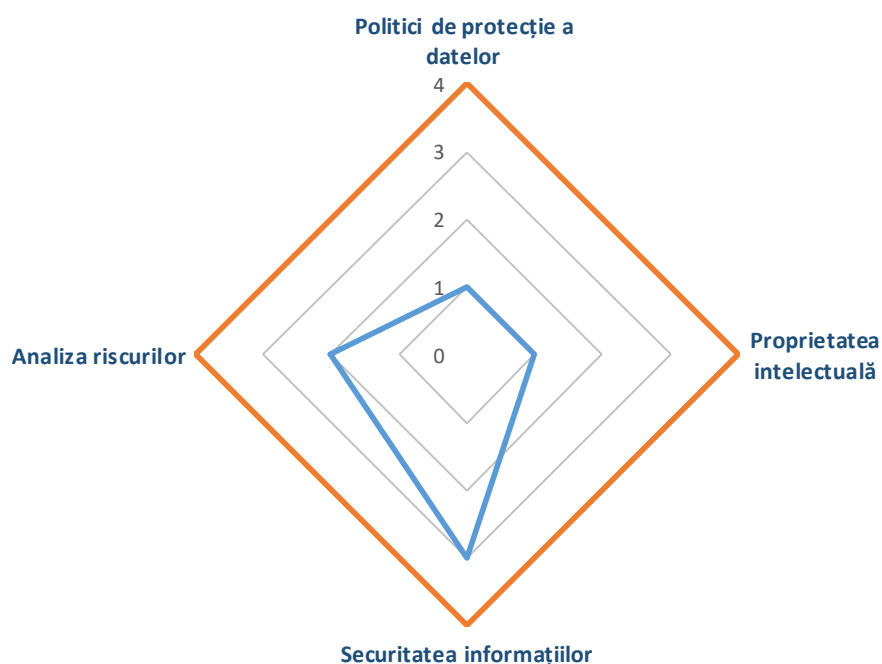


Figura 3.7: Nivelul actual de maturitate (linie albastră) și nivelul țintă (linie portocalie) pentru domeniul *securitatea și protecția datelor*

Comparația efectuată pe domenii în ceea ce privește nivelele medii atinse în momentul de față este ilustrată grafic în figura 3.8. Se observă că aspectele tehnice (produs, infrastructură, securitate cibernetică) sunt mai bine reprezentate comparativ cu elementele care țin de management, organizare, logistică și marketing. În ceea ce privește țintele propuse pentru a fi atinse la finalul perioadei de implementare a Industry 4.0, din centralizarea datelor se observă nivelele cele mai ridicate sunt necesare pentru componentele legate de activitatea managerială și comercială, pe lângă cea de protecție și securizare a datelor.

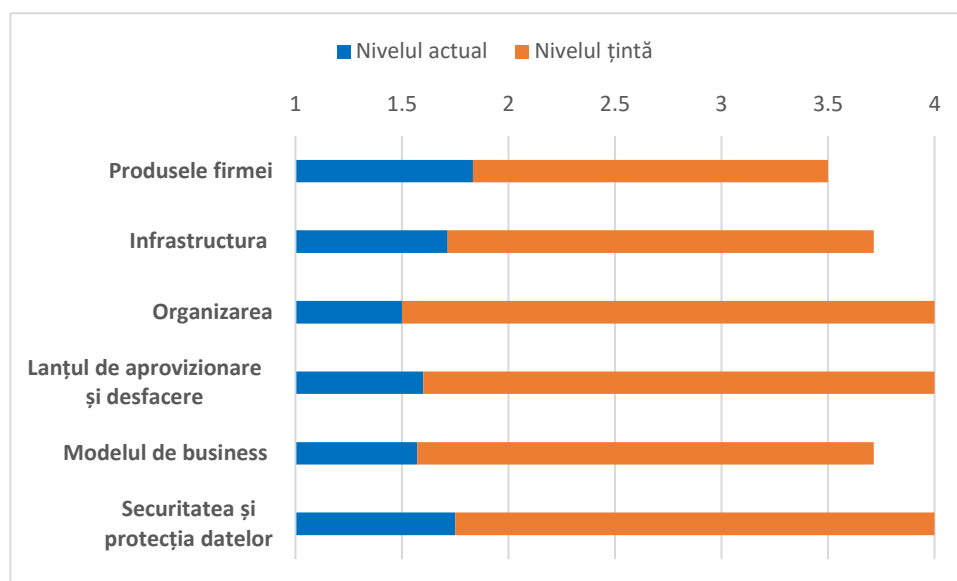


Figura 3.8: Nivelul actual de maturitate și nivelul țintă pe domenii

La stabilirea nivelului dorit la care să ajungă diferitele componente analizate a stat la bază timpul estimat pentru implementare (5 ani), complexitatea acțiunilor de întreprins pentru atingerea nivelului țintă, precum și costurile și beneficiile estimate. În subcapitolele următoare se stabilesc concret elementele asupra cărora trebuie acționate pentru atingerea nivelelor și interdependențele dintre aceste acțiuni și se stabilește un traseu rațional care ține cont de toate aspectele amintite anterior.

3.3. Stabilirea elementelor asupra cărora trebuie acționat pentru a atinge gradul de maturitate dorit

Pentru stabilirea parcursului firmei, au fost mai întâi identificate domeniile și componentele (subdomeniile). Apoi a fost determinate nivelele actuale de maturitate pe componente și țintele de atins la finalizarea implementării. În acest subcapitol se identifică elementele care conduc la atingerea nivelelor țintă, acțiunile de întreprins și dependența temporală dintre aceste acțiuni. De asemenea, se stabilește un cost al derulării acțiunilor și potențialul beneficiu adus la atingerea obiectivului. Costurile și beneficiile se cuantifică pe nivele, fiind important pe lângă aspectul material/pecuniar și cel imaterial.

Pentru fiecare obiectiv se determină condițiile majore de care depinde atingerea acestuia și se stabilesc măsurile și acțiunile de întreprins, dacă este cazul. Deoarece anumite componente au un nivel de maturitate mai ridicat, este posibil ca anumite obiective să fie îndeplinite și prin urmare să nu mai fie necesară întreprinderea de acțiuni. Aceste acțiuni vor fi codificate cu E și nu vor fi tratate în detaliu după identificare. Acțiunile necesare vor fi codificate cu numărul domeniului, litera componentei și numărul de ordine al acțiunii în cadrul componentei. Deoarece anumite acțiuni pot deservi două sau mai multe obiective, acestea vor avea alocat codul primit la prima apariție în nomenclator.

1. Domeniul produsele firmei

1.a. Componenta *individualizarea produsului* - Nivel țintă III

"Produsele pot fi în mare măsură personalizate, dar pe o structură de bază standard"

- utilizarea mașinilor cu comandă numerică (CNC)
 - E. Nu se impun, mașini existente
- utilizarea echipamentelor de prototipare rapidă (additive manufacturing)
 - E. Nu se impun, mașini existente
- proiectarea constructivă și tehnologică exclusiv utilizând programe informatice
 - E. Nu se impun, mașini existente
- concepția și construcție modulară a produselor, cu posibilitatea intervenției în concepție direct a clientului (configurator de produse)
 - 1.a.1.** Achiziție/dezvoltare program informatic care permite configurarea produselor de către client. În cazul în care se oferă și posibilitatea estimării prețului în funcție de configurație și componentele utilizate se asigură protecția prin acces permis doar clienților tradiționali.
- utilizarea marcatorelor și scannerelor QR și Coduri de bare pentru recunoașterea componentelor, a semifabricatelor și a produselor
 - 1.a.2.** Achiziția marcatorelor și a scannerelor QR și Coduri

1.b. Componenta *analiza datelor despre utilizarea produsului* – Nivelul III

"Unele date se colectează de la produs prin mijloace digitale"

- colaborare cu clienții în vederea utilizării datelor despre utilizarea produsului
 - 1.b.1.** Model nou de contract -adăugarea clauzelor referitoare la transparența informațiilor legate de produs și transmiterea acestora producătorului (colectate automat sau furnizate de resursa umana a beneficiarului)
- modificarea conceptului de proiectare prin adăugarea de componente digitale fără utilitate directă la funcționarea produsului
 - 1.b.2.** Proiectarea și livrarea produselor cheie dotate cu dispozitive digitale, inclusiv cu cele de comunicare sau stocare a datelor
- colectarea și centralizarea datelor
 - 1.b.3.** Achiziție/realizare bază de date cu produse livrate și modul în care beneficiarii utilizează produsele

1.c. Componenta *utilizarea mediului virtual în conceperea produsului* – Nivelul IV

- proiectarea constructivă și tehnologică exclusiv utilizând programe informatice care permit acces multiplu și de la distanță

- 1.c.1.** Achiziție programelor de proiectare cu posibilitate de partajare a proiectelor.
- concepția și construcție modulară a produselor, cu posibilitatea intervenției în concepție direct a clientului (configurator de produse)
 - 1.a.1.** Achiziție/dezvoltare program informatic care permite configurarea produselor de către client. În cazul în care se oferă și posibilitatea estimării prețului în funcție de configurație și componentele utilizate se asigură protecția prin acces permis doar clienților tradiționali.

1.d. Componenta *structura venitului realizat prin vânzarea produsului* – Nivelul III+IV

"Produsele au valoare fizică și componente digitale importante"

- creșterea nivelului de inovare și includerea componentelor digital în produs
 - 1.b.2.** Proiectarea și livrarea produselor cheie dotate cu dispozitive digitale, inclusiv cu cele de comunicare sau stocare a datelor

1.d.1. Training cu managementul în vederea conștientizării nevoii de cercetare/achiziție de rezultate de cercetare

1.d.2. Training asigurat proiectanților în vederea cunoașterii stadiului actual privind produsele pe plan mondial și a elementelor de analiza valorii

1.d.3. Training asigurat personalului din compartimentul comercial și marketing privind noile caracteristicile tehnice, pentru a asigura o promovare eficientă a produsului și a serviciilor conexe

“Serviciile contribuie cu $\geq 10\%$ la formarea venitului”

- ofertare de servicii conexe produsului

1.d.4. Model nou de contract – includerea de servicii oferite clienților pentru produsele livrate și/sau ofertarea produsului ca serviciu

1.e. Componenta *servicii bazate pe analiza datelor* – Nivelul IV

“Sunt oferite servicii bazate pe date cu implicarea totală a clientului”

- colaborare cu clienții în vederea colectării datelor despre utilizarea produsului în vederea furnizării de servicii

1.b.1. Model nou de contract -adăugarea clauzelor referitoare la transparența informațiilor legate de produs și transmiterea acestora producătorului (colectate automat sau furnizate de resursa umană a beneficiarului)

- utilizarea unui program de analiză a datelor, incluzând inteligența artificială, pentru identificarea nevoii de intervenție asupra produsului

1.e.1. Achiziție program de analiză a datelor conținute în baze mari de date

2. Domeniul *infrastructura*

2.a. Componenta *automatizarea* - Nivel țintă IV

“Toate mașinile și infrastructura pot fi controlate prin sisteme de automatizare”

- utilizarea mașinilor cu funcționare automată în buclă închisă

2.a.1. Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului

2.a.2. Achiziția programelor de analiză a datelor transmise de senzori

2.b. Componenta *echipamente dotate cu senzori și sisteme de comunicare* - Nivelul IV

“Toate mașinile și echipamentele sunt dotate cu senzori și sisteme de comunicare”

- utilizarea mașinilor capabile să identifice stadiul producției și starea mașinii

2.a.1. Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului

- utilizarea mașinilor capabile să transmită date unui sistem centralizat de stocare, procesare și analiză a datelor

2.b.1. Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor

2.c. Componenta *transmiterea și colectarea datelor* - Nivelul IV

“Toate datele sunt colectate automat în formă digitală pentru toate procesele”

- realizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei

2.c.1. Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

2.d. Componenta *integrarea mașinilor și a SPP* – Nivelul III

“Unele mașini pot comunica între ele și cu SPP”

- utilizarea mașinilor capabile să identifice stadiul producției și starea mașinii
 - 2.a.1.** Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului
- utilizarea mașinilor capabile să transmită date unui sistem centralizat de stocare, procesare și analiză a datelor
 - 2.b.1.** Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor
- realizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei
 - 2.c.1.** Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

2.e. Componenta *sisteme de producție auto-organizate* - Nivelul IV

“Toate procesele de producție sunt modelate digital”

- utilizarea mașinilor capabile să identifice stadiul producției și starea mașinii
 - 2.a.1.** Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului
- utilizarea mașinilor capabile să transmită date unui sistem centralizat de stocare, procesare și analiză a datelor
 - 2.b.1.** Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor
- utilizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei
 - 2.c.1.** Achiziție serviciu de concepere și/sau integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia
- utilizarea unui program de analiză a datelor, incluzând inteligența artificială, pentru identificarea nevoii de reconfigurare a fluxului de producție
 - 1.e.1.** Achiziție program de analiză a datelor conținute în baze mari de date

2.f. Componenta *modelarea digitală a proceselor* – Nivelul III

“Majoritatea proceselor sunt modelate digital”

- utilizarea unui program informatic de modelare a proceselor din FIRMĂ
 - 2.f.1.** Achiziție program informatic de modelare și simulare a proceselor și conectarea sistemului informatic integrat

2.g. Componenta *utilizarea soluțiilor cloud* - Nivelul IV

“Soluțiile cloud implementate în toate domeniile”

- Utilizarea pe scară largă a soluțiilor cloud
 - 2.g.1.** Achiziție programe care permit acces multiplu, de pe dispozitive diverse și care facilitează colaborare în timp real

3. Domeniul *strategia și organizarea*

3.a. Componenta *managementul – conducerea firmei* - Nivelul IV

“Suportul larg oferit de echipa de conducere pentru Industry 4.0, a cărui implementare este acceptată de toți angajații”

- informarea/instruirea întregului personal, specific pe nivele de competență, cu privire la conceptul Industry 4.0

3.a.1. Sesiuni de training cu managementul și personalul firmei cu privire la conceptul Industry 4.0 și colaborarea între entități în acest sistem

3.b. Componenta *implementarea Industry 4.0 în strategia firmei* - Nivelul IV

"Strategia Industry 4.0 este implementată în firmă în toate sectoarele"

- adaptarea strategiei firmei la cerințele Industry 4.0

3.b.1. Elaborarea (intern sau prin consultanță) de proiecte care să conducă la implementarea Industry 4.0

3.c. Componenta *investitiile* - Nivelul IV

"Investiții în Industry 4.0 în toate activitățile firmei"

- se asigură prin implementarea acțiunilor de la toate domeniile și componentele

E. Nu se impun acțiuni specifice

3.d. Componenta *resursa umană* - Nivelul IV

"Întregul personal deține abilități digitale și de analiză a datelor avansate"

- instruirea personalului cu privire la utilizarea programelor informatice generale și specifice

3.d.1. Sesiuni de training cu personalul firmei privind utilizarea programelor informatice generale și specifice

3.e. Componenta *colaborarea internă și externă* - Nivelul IV

"Departamentele sunt deschise pentru colaborarea externă"

- personalul din departamente informat/instruit cu privire la colaborarea în sistemul Industry 4.0

3.e.1. Sesiuni de training cu personalul firmei privind colaborarea externă în sistemul Industry 4.0

3.f. Componenta *măsurarea indicatorilor de performanță* - Nivelul IV

"Indicatorii de performanță sunt concentrați în jurul obiectivelor Industry 4.0"

- utilizarea unor metrici clare, concentrate în jurul obiectivelor Industry 4.0, calculabile în timp real

3.f.1. Identificarea indicatorilor de performanță cheie

3.f.2. Elaborarea unei proceduri privind măsurarea indicatorilor

- utilizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei

2.c.1. Achiziție serviciu de concepere și/sau integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

4. Domeniul lanțului de aprovizionare și distribuție

4.a. Componenta *evidența inventarului în timp real* - Nivelul IV

"Baza de date este actualizată în timp real cu ajutorul dispozitivelor inteligente"

- utilizarea marcatorelor și scanerelor QR și Coduri de bare pentru recunoașterea componentelor, a semifabricatelor și a produselor

1.a.2. Achiziția marcatorelor și a scanerelor QR și Coduri

- utilizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei

2.c.1. Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

4.b. Componenta integrarea lanțului de aprovizionare și distribuție - Nivelul IV

"Sistem complet integrat cu furnizorii/clientii pentru procese potențiale sau în derulare"

- utilizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei

2.c.1. Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

- sistem informatic care permite accesul limitat din exteriorul firmei la baze de date, pe categorii de utilizatori

4.b.1. Asigurarea limitată, pe bază de cont, a partenerilor la sistemul informatic al firmei

- acord cu partenerii privind accesul reciproc la baze de date, cu limitările firești

4.b.2. Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații

4.c. Componenta transparenta lanțului de aprovizionare și distribuție - Nivelul IV

"Toate elementele legate de fabricație sunt vizibile în timp real de-a lungul lanțului de aprovizionare și sunt utilizate pentru monitorizare și optimizare"

- utilizarea mașinilor capabile să identifice stadiul producției și starea mașinii

2.a.1. Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului

- utilizarea mașinilor capabile să transmită date unui sistem centralizat de stocare, procesare și analiză a datelor

2.b.1. Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor

- acord cu partenerii privind accesul reciproc la baze de date, cu limitările firești

4.b.2. Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații

- sistem informatic care permite accesul limitat din exteriorul firmei la baze de date, pe categorii de utilizatori

4.b.1. Asigurarea limitată, pe bază de cont, a partenerilor la sistemul informatic al firmei

4.d. Componenta flexibilitatea lanțului de aprovizionare și desfacere - Nivelul IV

"Răspuns imediat la schimbările pieței și cerințele individuale ale clienților"

- acord cu partenerii privind accesul reciproc la baze de date, cu limitările firești

4.b.2. Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații

- sistem informatic care permite accesul limitat din exteriorul firmei la baze de date, pe categorii de utilizatori

4.b.1. Asigurarea limitată, pe bază de cont, a partenerilor la sistemul informatic al firmei

- utilizarea unui program de analiză a datelor, incluzând inteligența artificială, pentru identificarea nevoii de reconfigurare a fluxului de producție

1.e.1. Achiziție program de analiză a datelor conținute în baze mari de date

4.e. Componenta timpii de livrare - Nivelul IV

"Se aplică termene de livrare diferențiate pentru a răspunde eficient la comenzi individualizate"

- acord cu partenerii privind accesul reciproc la baze de date, cu limitările firești

4.b.2. Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații

- utilizarea unui sistem centralizat conectat la sistemele informatice ale partenerilor în vederea colaborării online prin accesul reciproc la baze de date

2.c.1. Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

- utilizarea unui sistem centralizat care să realizeze interconexiuni pentru toate activitățile firmei

2.c.1. Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia

- utilizarea unui program de analiză a datelor, incluzând inteligența artificială, pentru identificarea nevoii de reconfigurare a fluxului de producție

1.e.1. Achiziție program de analiză a informațiilor conținute în baze mari de date

5. Domeniul *modelul de business*

5.a. Componenta *modele de business orientate spre servicii* - Nivelul IV

“Produse fizice sunt oferite clienților ca servicii”

- agrement cu clienții privind livrarea de produse ca servicii

1.d.4. Model nou de contract – includerea de servicii oferite clienților pentru produsele livrate și/sau ofertarea produsului ca serviciu

5.b. Componenta *decizii bazate pe date* - Nivelul IV

“Toate datele relevante sunt analizate în sistem automatizat și deciziile se iau în consecință”

- utilizarea unui program de analiză a datelor, incluzând inteligența artificială, pentru identificarea nevoii de reconfigurare a fluxului de producție

2.f.1. Achiziție program informatic de modelare și simulare a proceselor și conectarea sistemului informatic integrat

1.e.1. Achiziție program de analiză a informațiilor conținute în baze mari de date

5.c. Componenta *integrarea canalelor de marketing* - Nivelul IV

“Toate canalele sunt corelate și există o abordare individuală a clienților”

- imagine unitară pentru produsele firmei, transmisă individualizat clienților

3.e.1. Sesiuni de training cu personalul firmei privind colaborarea externă în sistemul Industry 4.0

1.d.3. Training asigurat personalului din compartimentul comercial și marketing privind noile caracteristicile tehnice, pentru a asigura o promovare eficientă a produsului și a serviciilor conexe

5.c.1. Imagine unică pentru fiecare produs al firmei, independent de canalul de promovare utilizat

5.d. Componenta *trasabilitatea* - Nivelul IV

“Produsul poate fi urmărit de-a lungul întregului ciclu de viață”

- utilizarea markerelor pentru înregistrarea evoluției produsului pe linia de fabricație și până la livrare

1.a.2. Achiziția marcatorelor și a scannerelor QR și Coduri

- utilizarea unui sistem de urmărire a producției

2.a.1. Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului

2.b.1. Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor

2.a.2. Achiziția programelor de analiză a datelor transmise de senzori

- colaborare cu clienții în vederea utilizării datelor despre utilizarea produsului

1.b.1. Model nou de contract - adăugarea clauzelor referitoare la transparența informațiilor legate de produs și transmiterea acestora producătorului (colectate automat sau furnizate de resursa umana a beneficiarului)

1.b.2. Proiectarea și livrarea produselor cheie dotate cu dispozitive digitale, inclusiv cu cele de comunicare sau stocare a datelor

1.b.3. Achiziție/realizare bază de date cu produse livrate și modul în care beneficiarii utilizează produsele

5.e. Componenta programarea întreținerii - Nivelul III

"Unele mașini se pot diagnostica singure și informează automat sistemul de programare a întreținerii"

- utilizarea mașinilor capabile să transmită date unui sistem centralizat de stocare, procesare și analiză a datelor

2.a.1. Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului

2.b.1. Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor

- utilizarea unui program de analiză a datelor, incluzând inteligența artificială, pentru identificarea stării mașinii și a sculelor

2.a.2. Achiziția programelor de analiză a datelor transmise de senzori

5.f. Componenta modul de contractare - Nivelul III

"Unele proiecte cheie utilizează noi modele de contractare, dar aceasta nu este o practică standard"

- acord cu partenerii privind accesul reciproc la baze de date, cu limitările firești

4.b.2. Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații

5.g. Componenta aportul TIC la derularea afacerilor - Nivelul IV

"Utilizatorii controlează procesele și iau decizii de la distanță utilizând dispozitive multiple"

- utilizarea pe scară largă a soluțiilor cloud

2.g.1. Achiziție programe care permit acces multiplu, de pe dispozitive diverse și care facilitează colaborare în timp real

6. Domeniul securitatea și protecția datelor

6.a. Componenta politici de protecție a datelor - Nivelul IV

"Politici și proceduri actualizate cu cerințele GDPR, inclusiv în sensul Industry 4.0"

- utilizarea procedurilor actualizate cu cerințele GDPR

6.a.1. Elaborare proceduri GDPR actualizate cu cerințele Industry 4.0

6.b. Componenta proprietatea intelectuală - Nivelul IV

"Proprietatea intelectuală aferentă produselor și serviciilor este protejată legal pentru majoritatea situațiilor identificate"

- instruirea personalului cu privire la aspectele specifice legate de proprietatea intelectuală

6.b.1. Training cu personalul tehnic cu privire la proprietatea intelectuală și protejarea legală a acesteia

6.c. Componenta *securitatea informației* - Nivelul IV

"Soluțiile de securitate IT au fost implementate pentru toate domeniile relevante și sunt revizuite frecvent"

- utilizarea procedurilor actualizate legate de securitatea informației și a documentelor

6.c.1. Elaborare proceduri privind securitatea informației și a documentelor

- utilizarea sistemelor de securitate cibernetică pentru conturile cu acces din interiorul și din exteriorul firmei

6.c.2. Asigurarea limitată, pe nivele de competență, a accesului la informații pentru personalului propriu

4.b.1. Asigurarea limitată, pe bază de cont, a partenerilor la sistemul informatic al firmei

- utilizarea sistemelor de comunicații securizate

6.c.3. Achiziția unui sistem de securizare a comunicațiilor în interiorul firmei și a canalelor de comunicații cu exteriorul

6.d. Componenta *analiza riscurilor* - Nivelul IV

"Noile riscuri sunt identificate și evaluate și există proceduri clare de planificare și implementare a măsurilor"

- utilizarea procedurilor de evaluare a riscurilor

6.d.1. Elaborare și implementarea proceduri de evaluare a riscurilor

Acțiunile identificate în acest subcapitol sunt necesare în vederea implementării sistemului Industry 4.0. Lista este proprie FIRMEI analizate și este realizată pe baza stadiului actual de maturitate, a intențiilor managementului privind dezvoltarea firmei și a specificului acesteia. Pentru companii din alte sectoare de activitate sau aflate în faze diferite de evoluție lista poate fi ușor diferită, dar majoritatea acțiunilor vor coincide.

3.4. Stabilirea dependențelor cronologice între activități și structurarea unor programe de implementare

În continuare se grupează acțiunilor necesare implementării sistemului Industry 4.0, grupare care ține cont de tipul acțiunii și nu de domeniul pentru care se dorește creșterea nivelului de maturitate. Această grupare are ca principal scop să elimine redundanța și să se evidențieze acțiunile comune, care ajută la creșterea maturității pentru mai multe subdomenii.

În tabelele următoare sunt prezentate acțiunile desfășurate pentru creșterea maturității firmei și atingerea nivelelor scontate grupate pe tipul activității, astfel:

- Acțiuni de informare-instruire (tabelul 3.7);
- Acțiuni prin care se achiziționează bunuri și servicii (tabelul 3.8);
- Acțiuni care constituie măsuri organizatorice (tabelul 3.9).

Acest mod de grupare și reprezentare a acțiunilor a fost preferat și pentru că dependența cronologică dintre acțiuni devine mai vizibilă și mai ușor de cuantificat.

Cuantificarea dependenței cronologice dintre acțiuni se face prin atribuirea unui scor în funcție de succesiunea acțiunilor, practic fiind atribuită o cifră sau un scor de la 0 la 7. Acțiunile marcate cu cifra 0 se pot desfășura independent, iar dacă o acțiune implică desfășurarea în prealabil a altor acțiuni derulate succesiv, cifra asociată acesteia crește, fiind egală cu numărul acțiunilor necesar a fi derulate anterior. Spre exemplu, o acțiune care impune finalizarea unei alte acțiuni care trebuie derulată anterior obține scorul 1, așa cum este ilustrat în figura 3.9. Această succesiune merge până la implementarea ultimei acțiuni, care în studiul de față a obținut scorul 7.

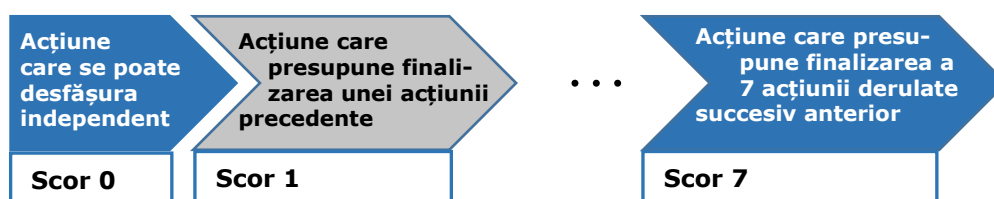


Figura 3.9: Notarea acțiunilor în funcție de necesitatea derulării în prealabil a altor acțiuni

Pentru fiecare din activitățile trecute în tabelele de mai jos s-a acordat un scor după ce acestea au fost trecute în diagrame în ordinea în care sunt necesar a fi implementate pentru atingerea unor obiective, fără a se considera durata implementării. Diagramele reflectă cele patru domenii importante de activitate, după cum urmează: (i) colaborarea internă și externă; (ii) sistemul informatic, decizional și securitatea; (iii) dezvoltare și promovare produselor, (iv) fabricația.

Deoarece durata necesară implementării unei acțiuni nu este luată în considerare, diagramele reflectă doar ordinea impusă pentru implementare.

În urma completării tabelor și a realizării diagramelor s-a constatat că există acțiuni care, chiar dacă au fost propuse separat deoarece duc la atingerea unor obiective diferite, pot fi grupate într-o singură activitate, ca de exemplu *Achiziția marcatoarelor și a scannerelor QR și a codurilor de bare* cu *Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului*.

Totodată, au fost identificate acțiuni considerate inițial unitare, dar care solicită separarea în vederea unei mai bune cursivității a programării acțiunilor. Un exemplu este activitatea 3.a.1, care se defalcă în *Sesiuni de training cu managementul și personalul firmei cu privire la sistemul Industry 4.0* și *Sesiuni de training cu managementul și personalul firmei cu privire la colaborarea între entități în sistemul Industry 4.0*.

Unele acțiuni nu mai necesită intervenții după finalizarea implementării, acestea fiind de regulă cele legate de achiziții de echipamente și senzori. Alte acțiuni, cum ar fi cele legate de formare și instruire, pot fi reluate pentru a aduce noi cunoștințe și informații și eventual pentru îmbunătățirea celor deja transmise. O altă serie de acțiuni presupune ca, după finalizarea lor, să existe o activitate continuă legată de implementare. Un astfel de exemplu ar fi *Elaborare proceduri GDPR actualizate cu cerințele Industry 4.0*.

Pentru unele acțiuni durata de implementare este nedeterminată, acestea impunând o activitate permanentă de corectare și/sau completare. *Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia* este un astfel de exemplu.

Tabelul 3.7: Acțiuni propuse care implică activități de formare-instruire

TRAINING			
Cod	Acțiunea curentă	Timp	Acțiuni anterioare
1.d.1.	Training cu managementul în vederea conștientizării nevoii de cercetare/achiziție de rezultate de cercetare	1	3.a.1.-1
1.d.2.	Training asigurat proiectanților în vederea cunoașterii stadiului actual privind produsele pe plan mondial și a elementelor de analiza valorii	2	3.a.1-1 1.d.1
1.d.3.	Training asigurat personalului din compartimentul comercial și marketing privind noile caracteristicile tehnice, pentru a asigura o promovare eficientă a produsului și a serviciilor conexe	6	3.a.1-1 1.d.1 1.d.2 6.b.1 4.b.2 1.b.2.
3.d.1.-1	Sesiuni de training cu personalul firmei cu privire la utilizarea programelor informatice generale și specifice	0	
3.d.1.-2	Sesiuni de training cu personalul firmei cu privire la utilizarea programelor informatice generale și specifice	1	3.d.1.-1
3.a.1.-1	Sesiuni de training cu managementul și personalul firmei cu privire la conceptul Industry 4.0 și colaborarea între entități în acest sistem	0	
3.a.1.-2	Sesiuni de training cu managementul și personalul firmei cu privire la colaborarea între entități în sistemul Industry 4.0	1	3.a.1.-1
3.e.1.	Sesiuni de training cu personalul firmei privind colaborarea externă în sistemul Industry 4.0	2	3.a.1.-1 3.a.1.-2
6.b.1.	Training cu personalul tehnic cu privire la proprietatea intelectuală și protejarea legală a acesteia	3	3.a.1.-1 1.d.1 1.d.2

Tabelul 3.8: Acțiuni propuse care necesită achiziții

INVESTIȚII			
Cod	Acțiunea curentă	Timp	Acțiuni anterioare
1.a.1.	Achiziție/dezvoltare program informatic care permite configurarea produselor de către client	6	6.c.3. 6.c.1. 2.g.1. - 4.b.2. 4.b.1.
1.a.2.	Achiziția marcatoarelor și a scannerelor QR și a codurilor de bare	0	
1.c.1.	Achiziție programelor de proiectare cu posibilitate de partajare a proiectelor	4	6.c.3. 6.c.1. 2.g.1. 6.c.2.
2.a.1.	Achiziția și implementarea senzorilor pentru identificarea stării mașinii și a semifabricatului	0	
2.a.2.	Achiziția programelor de analiză a datelor transmise de senzori	2	2.a.1. 2.b.1.
2.b.1.	Achiziția și implementarea pe mașini și posturi de lucru a sistemelor de transmitere a datelor	1	2.a.1.
1.b.3.	Achiziție/realizare bază de date cu produse livrate și modul în care beneficiarii utilizează produsele	5	3.a.1-1. 3.a.1-2. 3.e.1. 6.a.1. 1.b.1.
2.c.1.	Achiziție serviciu de integrare a sistemelor informatice insularizate din firmă și implementarea acestuia	0-7	
1.e.1.	Achiziție program de analiză a datelor conținute în baze mari de date	5	2.a.1.-1.a.2 2.b.1. 2.a.2. 2.f.1. 4.b.2.

Tabelul 3.8: Acțiuni propuse care necesită achiziții (continuare)

INVESTIȚII			
Cod	Acțiunea curentă	Timp	Acțiuni anterioare
2.f.1.	Achiziție program informatic de modelare și simulare a proceselor și conectarea sistemul informatic integrat	3	2.a.1.-1.a.2. 2.b.1. 2.a.2.
2.g.1.	Achiziție programe care permit acces multiplu, de pe dispozitive diverse și care facilitează colaborare în timp real	2	6.c.3. 6.c.1.
6.c.3.	Achiziția unui sistem de securizare a comunicațiilor în interiorul firmei și a canalelor de comunicații cu exteriorul	0	

Tabelul 3.9: Acțiuni propuse care constituie măsuri organizatorice

Măsuri organizatorice			
Cod	Acțiunea curentă	Timp	Acțiuni anterioare
1.b.2.	Proiectarea și livrarea produselor cheie dotate cu dispozitive digitale, inclusiv cu cele de comunicare sau stocare a datelor	5	3.d.1.-1 3.d.1.-2 1.d.2. 6.b.1. 4.b.2.
1.b.1.	Model nou de contract - adăugarea clauzelor referitoare la transparența informațiilor legate de produs și transmiterea acestora producătorului (colectate automat sau furnizate de resursa umana a beneficiarului)	4	3.a.1.-1 3.a.1.-2 3.e.1. 6.a.1.
4.b.2.	Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații	4	3.a.1.-1 3.a.1.-2 3.e.1. 6.a.1.
1.d.4.	Model nou de contract – includerea de servicii oferite clienților pentru produsele livrate și/sau ofertarea produsului ca serviciu	7	3.a.1.-1 1.d.1. 1.d.2. 6.b.1. 4.b.2. 1.b.2. 1.d.3

Tabelul 3.9: Acțiuni propuse care constituie măsuri organizatorice (continuare)

Măsuri organizatorice			
Cod	Acțiunea curentă	Timp	Acțiuni anterioare
5.c.1.	Imagine unică pentru fiecare produs al firmei, independent de canalul de promovare utilizat	7	3.a.1.-1 1.d.1. 1.d.2. 6.b.1. 4.b.2. 1.b.2. 1.d.3.
6.c.2.	Asigurarea limitată, pe nivele de competență, a accesului la informații pentru personalului propriu	3	6.c.3. 6.c.1. 2.g.1.
4.b.1.	Asigurarea limitată, pe bază de cont, a partenerilor la sistemul informatic al firmei	5	6.c.3. 6.c.1. 2.g.1. - 4.b.2.
3.f.1.	Identificarea indicatorilor de performanță cheie	1	3.a.1.-1
3.f.2.	Elaborarea unei proceduri privind măsurarea indicatorilor de performanță cheie	2	3.a.1.-1 3.f.1.
6.a.1.	Elaborare proceduri GDPR actualizate cu cerințele Industry 4.0	3	3.a.1.-1 3.a.1.-2 3.e.1.
6.c.1.	Elaborare proceduri privind securitatea informației și a documentelor	1	6.c.3.
6.d.1.	Elaborare și implementarea proceduri de evaluare a riscurilor	3	3.a.1.-1 3.f.1. 3.f.2.
3.b.1.	Elaborarea (intern sau prin consultanță) de proiecte care să conducă la implementarea Industry 4.0	1	3.a.1.

În figura 3.10-3.13 sunt prezentate diagramele care au stat la baza ordonării acțiunilor. Figura 3.10 reprezintă acțiunile care țin de *Colaborarea internă și externă* astfel: cu culoarea mov sunt reprezentate acțiunile care țin exclusiv de colaborarea internă și externă, iar cu culoare verde sunt reprezentate acțiuni legate de analiza internă a firmei. Figura 3.11 arată succesiunea acțiunilor care au în vedere funcționarea *Sistemului informatic, decizional și securitatea datelor*. Între acțiunile marcate cu albastru se observă și existența unei acțiuni marcate cu mov, care este specifică colaborării externe dar absolut necesară pentru a putea asigura accesul partenerilor la sistemul informatic propriu.

Acțiunea	6.d.1				3	
Acțiunea	3.f.2			2		
Acțiunea	3.f.1		1			
Acțiunea	3.a.1-1	0				
Acțiunea	3.a.1-2		1			
Acțiunea	3.e.1			2		
Acțiunea	6.a.1				2	
Acțiunea	4.b.2					4
Acțiunea	1.b.1.					4

Figura 3.10: Acțiuni ce au în vedere Colaborare internă și externă

Acțiunea	2.c.1	0	1	2	3	4	5	6	7
Acțiunea	6.c.3	0							
Acțiunea	6.c.1		1						
Acțiunea	2.g.1			2					
Acțiunea	6.c.2				3				
Acțiunea	4.b.2					4			
Acțiunea	4.b.1						5		

Figura 3.11: Acțiuni ce au în vedere Sistemul informatic, decizional și securitatea

Acțiunea	3.d.1-1	0							
Acțiunea	3.d.1-2		1						
Acțiunea	3.a.1-1	0							
Acțiunea	1.d.1		1						
Acțiunea	1.d.2			2					
Acțiunea	6.b.1				3				
Acțiunea	1.c.1					4			
Acțiunea	1.b.3						5		
Acțiunea	1.b.1.					4			
Acțiunea	1.b.2						5		
Acțiunea	1.a.1							6	
Acțiunea	1.d.3							6	
Acțiunea	5.c.1								7
Acțiunea	1.d.4								7

Figura 3.12: Acțiuni ce au în vedere Dezvoltarea și promovarea produselor

Acțiunea	3.d.1-1	0							
Acțiunea	3.d.1-2		1						
Acțiunea	2.a.1	0							
Acțiunea	1.a.2	0							
Acțiunea	2.b.1		1						
Acțiunea	2.a.2			2					
Acțiunea	2.f.1				3				
Acțiunea	4.b.2					4			
Acțiunea	1.e.1						5		

Figura 3.13: Acțiuni ce au în vedere Fabricația

În figura 3.12 este reflectată succesiunea acțiunilor care au în vedere *Dezvoltarea și promovarea produselor*. Acest obiectiv conține cele mai multe acțiuni, primele orientate mai mult spre domeniul tehnic, iar ultimele privesc marketingul și strategia de vânzare. Din figură se poate observa că și aici interferă acțiuni legate de colaborarea internă și externă cu cele specifice obiectivului. Organizarea producției și a acțiunilor de mentenanță, nominalizate aici *Fabricația*, impun o serie de acțiuni prezentate în figura 3.13. Aceste acțiuni implică transformarea mașinilor-unelte în CPS și integrează aceste echipamente în sistemul informatic al firmei. Acest obiectiv are un număr mai redus de acțiuni, dar acestea sunt de mare complexitate și importanță pentru transformarea digitală a firmei.

De menționat este faptul că acțiunea *Elaborarea (intern sau prin consultanță) de proiecte care să conducă la implementarea Industry 4.0* nu a fost inclusă în diagrame deoarece este acțiunea care trebuie să se desfășoare după ce a fost stabilită dependența cronologică dintre celelalte acțiuni. Prin această acțiune se evaluează costurile și beneficiile aduse de restul acțiunilor și se creează programe în funcție de disponibilitățile firmei care implementează sistemul Industry 4.0.

3.5. Reguli de stabilire a priorității acțiunilor desfășurate în vederea stabilirii celui mai rațional traseu de implementare a Industry 4.0

Secțiunea curentă este dedicată definirii unor reguli de eșalonare în timp a acțiunilor de implementare a sistemului Industry 4.0, astfel încât efortul FIRMEI să fie judicios distribuit pe acest parcurs, iar progresul să ducă etapizat la rezultatele scontate. Până în acest moment al stabilirii traseului de implementare a sistemului Industry 4.0 au fost stabilite următoarele:

- Nivelul de maturitate actual;
- Nivelul de maturitate țintă;
- Acțiunile care trebuie întreprinse;
- Succesiunea logică a acțiunilor.

Eșalonarea în timp a acțiunilor presupune, pe lângă respectarea limitărilor impuse de succesiunea acestora (limitări cronologice), luarea în considerare și a limitărilor în ceea ce privește resursele umane și materiale disponibile, respectiv durata estimată de implementare a întregului sistem. De fapt cele două variabile menționate anterior sunt interdependente, în cazul unor resurse limitate este nevoie de timp de implementare mai lung și invers. Ca și mod de lucru, în cele mai multe cazuri se fixează întâi durata implementării, iar apoi aceasta se ajustează în funcție de posibilitatea de alocare a resurselor. În literatura de specialitate se recomandă ca timpul alocat transformării digitale să fie de 5 ani, dar există și situații în care autorii propun o durată mai lungă, de până la 10 ani.

Procedura propusă pentru eșalonarea acțiunilor în timp pornește de la reprezentare matricială care are pe rânduri acțiunile identificate și pe coloane intervale de timp, de regulă o lună pe coloană. Un exemplu de astfel de matrice este reprezentată în figura 3.14, unde se consideră cele $N=33$ de acțiuni distribuite pe M luni. Numărul total de acțiuni identificate în tabelele 3.7-3.10 este de fapt 34, dar una din acțiuni este chiar *Elaborarea (intern sau prin consultanță) de proiecte care să conducă la implementarea Industry 4.0*, deci $N=33$.

Pentru fiecare acțiune se stabilește apoi durata minimă necesară implementării și acțiunea se trece în matricea-program ca și celulă/celule de culoare corespunzătoare obiectivului de îndeplinit. Inserarea se face ținând cont de limitările cronologice stabilite în figurile 3.10-3.13. Ordinea încadrării pe rânduri respectă ordinea cronologică a acțiunilor, grupate pe obiective.

Anumite acțiuni sunt necesare la îndeplinirea mai multor obiective, motiv pentru care constituie borne în matricea-program. Un exemplu de astfel de acțiune este *Model nou de contract – includerea clauzelor privind accesul reciproc la informații (4.b.2)*, acțiune comună pentru toate obiectivele, așa cum se poate observa în figurile 3.10.-3.13. Poziția în timp a acțiunii se stabilește în funcție de durata acțiunilor anterioare necesare a fi finalizate, în speță acțiunile 3.a.1-1, 3.a.1-2, 3.e.1 și 6.a.1. Celula/celulele aferente bornelor se marchează cu contur roșu pentru evidențiere, iar conturul se inserează și pe rândurile care au activități nemijlocit dependente de cele care constituie borne. În exemplul din figura 3.14 o astfel de bornă este inclusă la acțiunea 7. Scopul marcajului este de a observa care sunt acțiunile anterioare asociate altor obiective, deoarece acestea se pot translata sau dilata în timp. Spre exemplu acțiunile 5 și 6 pot începe mai târziu sau durata alocată implementării acestora poate fi mai mare.

		luna 1	luna 2	luna 3	luna 4	luna 5	luna 6	luna 7	luna 8	...	luna M	
		j=1	j=2	j=3	j=4	j=5	j=6	j=7	j=8	...	j=M	
acțiunea 1	i=1	c_{11}	c_{12}									c_1 cost acțiunea 1
acțiunea 2	i=2			c_{23}	c_{24}	c_{25}						c_2 cost acțiunea 2
acțiunea 3	i=3	c_{31}	c_{32}	c_{33}								c_3 cost acțiunea 3
acțiunea 4	i=4				c_{44}	c_{45}	c_{46}	c_{47}				c_4 cost acțiunea 4
acțiunea 5	i=5								c_{58}			c_5 cost acțiunea 5
acțiunea 6	i=6	c_{61}	c_{62}									c_6 cost acțiunea 6
acțiunea 7	i=7			c_{73}	c_{74}	→						c_7 cost acțiunea 7
...
acțiunea N	i=N											c_N cost acțiunea N
		k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	...	k_M	
		chelt. luna 1	chelt. luna 2	chelt. luna 3	chelt. luna 4	chelt. luna 5	chelt. luna 6	chelt. luna 7	chelt. luna 8	...	chelt. luna M	

Figura 3.14: Matricea-program de stabilire a momentului implementării acțiunilor

Pentru fiecare acțiune se face o estimare a costului, iar valoarea se trece în ultima coloană din matrice (ex. în celula *cost acțiunea 1*). Se defalcă apoi costul fiecărei acțiuni pe perioadele de timp în care se implementează respectiva acțiune, ținându-se cont de relația matematică:

$$c_i = \sum_{j=1}^M c_{ij} \quad 3.1$$

În relația de mai sus termenul c_i reprezintă costul total al acțiunii i , iar c_{ij} reprezintă costul acțiunii i în luna j .

Valorile c_{ij} se trec în matricea-program în celulele colorate aferente acțiunii i , iar suma c_i trebuie să corespundă cu valoarea *cost acțiune* i care a fost inițial trecută la capătul rândului. Pentru a simplifica analiza, dar fără a pierde gradul de generalitate, exemplul din această secțiune nu ia în considerare costurile generate prin desfășurarea activităților de către personalului firmei.

Anumite activități este posibil să nu genereze cheltuieli în tot intervalul de timp al implementării acțiunii. Un exemplu este achiziția, care presupune operațiuni de selectare, de contractare, de achiziție propriu-zisă și de implementare.

Există activități, cum sunt cele de training, care pot fi fragmentate și derulate în momentul în care există nevoia de formare-instruire. Având un scor mic, deci fiind programate la începutul procesului de implementare al programului de transformare digitală, această fragmentare este posibilă și amână o serie de cheltuieli, aducând totodată instruirea aproape de momentul utilizării informațiilor.

Costul total al implementării acțiunilor, c_{total} , se determină astfel:

$$c_{total} = \sum_{i=1}^N c_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M c_{ij} \quad 3.2$$

Pentru a constata dacă există resursele financiare disponibile la momentul programării acțiunilor și efectuării obligațiilor de plată, se calculează costul implementării pe lună, cu relația matematică:

$$k_j = \sum_{i=1}^N c_{ij} \quad 3.3$$

unde k_j reprezintă cheltuielile efectuate în luna j , iar c_{ij} reprezintă costul acțiunii i în luna j . Valorile calculate se trec pe penultimul rând al matricei și se verifică încadrarea în limitele stabilite pentru lunile respective. În cazul în care limitele impuse cheltuielilor se depășesc în anumite luni, există posibilitatea de a rearanja acțiunile prin decalare sau extindere în timp. În funcție de modul de finanțare a FIRMEI, limitele impuse cheltuielilor se pot stabili și pe perioade de timp mai luni, de exemplu pe trimestru sau pe semestru. În acest caz trebuie avut în vedere ca suma cheltuielilor pe lunile aferente perioadei de timp vizate să nu depășească suma alocată acelei perioade de timp.

Cheltuielile totale efectuate pe durata transformării digitale se calculează cu relația matematică:

$$k_{total} = \sum_{i=1}^N c_{ij} = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N c_{ij} \quad 3.4$$

Deoarece c_{total} are aceeași semnificație ca și k_{total} cele două valori trebuie să fie egale, deci matricea-program oferă o cheie de verificare a corectitudinii procesului de calcul și implicit a eșalonării acțiunilor în timp.

În cazul flexibilității perioadei de implementare a acțiunilor, se acordă prioritate acelor acțiuni sau șir de acțiuni care au ca finalitate un efect imediat. Acest efect imediat nu este neapărat de natură financiară, dar finalmente duce la efecte financiare pozitive. Tabelul 3.10 prezintă motivele, legate nemijlocit de firmă, care stimulează implementarea Industry 4.0, așa cum au rezultat din analiza efectuată în subcapitolul 2.4.

Este greu de efectuat o cuantificare a efectelor financiare corelate cu așteptările din partea managementului, motiv pentru care propun ca modelul de implementare dezvoltat în cadrul tezei să ia în considerare acest aspect doar din punct de vedere al priorității și să nu fie inclus în relații de calcul. Ordinea priorității așteptărilor pentru membrii din conducerea IMM românești este indicată în tabelul 3.10, unde este prezentată și o estimare a impactului financiar direct și cel rezultat ulterior aplicării setului de acțiuni. Tot în acest tabel se prezintă o estimare a impactului imediat și pe termen lung al îndeplinirii așteptărilor. Punctajul acordat este între 1 (efect minor) și 5 (efect major).

Tabelul 3.10: Ordinea priorității rezultatelor așteptate din implementarea Industry 4.0

Nr. crt.	Efect așteptat	Impact financiar direct	Impact financiar final
1	Srijin pentru activități de management	1	4
2	Așteptările clienților	1	3
3	Productivitate și eficiență	2	5
4	Utilizarea judicioasă a resurselor	3	5
5	Creșterea nivelului de inovare a produselor	1	4
6	Crearea valorii prin noi servicii	2	4
7	Inovare privind noi modele de afaceri	1	3
8	Satisfacerea nevoilor angajaților	2	3

Din tabelul 3.10 se observă că nu există o proporționalitate între motivele care determină conducerea să implementeze sistemul Industry 4.0 și efectele transpuse în rezultate financiare. Aceasta arată că, pe lângă o componentă economică, Industry 4.0 are și o componentă socială.

Pentru a exemplifica aplicarea metodei propuse, în **Anexa 4** se prezintă o matrice-program realizată pentru FIRMA. Trebuie precizat că estimarea costurilor și a încadrarea cheltuielilor utilizate pentru exemplificarea aplicării metodei de implementare a sistemului Industry 4.0 sunt subiective și nu reprezintă o imagine fidelă a FIRMEI. Obținerea unor informații precise pentru a elabora un traseu real pentru o firmă necesită, pe lângă accesul neîngrădit la toate datele firmei, un studiu amplu și complex. Totuși, cu toate că datele sunt obținute după o evaluare grosieră, modelul elaborat în cadrul tezei are un grad mare de generalitate și permite o bună exemplificare a metodei propuse de autor.

3.6. Concluzii și contribuții personale

În acest capitol se prezintă o metodă de implementare a conceptului Industry 4.0 în firmele românești. Modelul de implementare propus diferă de cele prezentate în literatura de specialitate prin aceea că abordează problema globală, spre deosebire de cele existente care se bazează pe elaborarea și implementarea unor proiecte dedicate atingerii obiectivelor punctuale.

În faza de analiză a stadiului actual de maturitate a FIRMEI din punctul de vedere al implementării Industry 4.0 am constatat că există o serie de aspecte la care gradul de maturitate este ridicat. Acestea sunt legate de tehnică și tehnologie, în cazul de față fiind vorba de *Securitatea și protecția datelor*, *Produsele firmei* și de *Infrastructură*. Elementele deficitare, cu nivel de maturitate scăzut, aparțin domeniului managerial, și constau în primul rând în modul de *Organizare* a firmei, *Modelele de business* și *Lanțul de aprovizionare*. Oricum, valoarea globală a maturității fiecărui domeniu se situează între nivelul unu și doi, nefiind diferențe semnificative între domenii.

Legat de nivelul de maturitate dorit de management, la care firma dorește să ajungă după implementarea Industry 4.0, am constatat că acesta este direct legat de așteptările pe care le are managementului firmei în urma implementării sistemului Industry 4.0. Aceste așteptări sunt identificate în capitolul doi, și se referă la *Sprijin pentru activități de management și Productivitate și eficiență economică*. Astfel, managementul vizează nivelul maxim de maturitate pentru componenta *Securitatea și protecția datelor*, care trebuie să rezolve aspecte legate de temerile managementului. Un al doilea set de componente pentru care se intenționează atingerea maturității maxime constă din *Organizare și Lanțul de aprovizionare*, componente care sunt legate de așteptările managementului sau factorii stimulanti ai implementării Industry 4.0.

Analiza efectuată în acest capitol relevă și faptul că nu există o proporționalitate între motivele care determină conducerea să implementeze sistemul Industry 4.0 și efectele transpuse în rezultate financiare. Aceasta demonstrează faptul că, pe lângă o componentă economică Industry 4.0 are și o componentă socială.

Nivelele de maturitate așa cum sunt propuse în această teză, dar și în lucrări actuale din literatura de specialitate, nu presupun o creștere liniară a nivelului de maturitate cu amplexarea acțiunilor necesare creșterii nivelului și nici între amplexarea acțiunilor necesare creșterii nivelului de maturitate și costurile aferente derulării acestora. Ca urmare a simulării elaborării traseului de implementare am identificat limitări impuse acțiunilor care se referă la cronologie, durată, resurse financiare și resurse umane. Modelul detaliat de implementare propus presupune parcurgerea a cinci pași:

1. Stabilirea nivelului de maturitate la momentul inițierii procesului de implementare a Industry 4.0

Pentru estimarea nivelului de maturitate am propus o structură formată din 6 domenii care conțin 34 de componente. Pentru fiecare componentă am definit patru nivele de maturitate prin indicarea precisă a condițiilor de încadrare pe fiecare nivel. Prin analiza situației actuale se determină nivelul de maturitate actual pentru toate componentele cadrului. Această încadrare se face independent de ramura industrială și de obiectul de activitate al firmei.

2. Stabilirea nivelului de maturitate dorit în momentul finalizării procesului de implementare a Industry 4.0

Pentru fiecare componentă a cadrului se stabilește, de către conducere sau împreună cu conducerea, nivelul de maturitate dorit în momentul finalizării procesului de implementare a Industry 4.0. Stabilirea nivelului de maturitate dorit se face particularizat pentru fiecare firmă, ținând cont de ramura industrială și de obiectul de activitate al firmei.

3. Identificarea acțiunilor care trebuie întreprinse pentru atingerea nivelului de maturitate dorit

Plecând de la situația actuală și ținând cont de stadiul la care se tinde, pentru creșterea gradului de maturitate a fiecărei componente se stabilesc acțiunile necesare. Am propus o grupare a acțiunilor pe trei categorii, achiziții, formare-instruire și măsuri organizatorice. Gruparea în acest fel este utilă pentru a observa eventualele acțiuni comune, care sunt necesare atingerii nivelului de maturitate dorit pentru mai multe componente ale structurii. Se obține astfel o mai bună imagine asupra acțiunilor și se pot elimina redundanțele. Acțiunile aferente primei categorii impun de obicei cheltuieli mari, pe când cele aferentei categoriei doi cheltuieli reduse. Măsurile organizatorice nu impun cheltuieli suplimentare sau acestea sunt ne semnificative.

4. Regruparea acțiunilor pe obiective și stabilirea limitărilor cronologice și de durată

În vederea stabilirii succesiunii în timp, acțiunile se regroupează în funcție de obiectivul pentru care sunt destinate. Am identificat patru obiective: *Colaborare internă și externă, Sistemul informatic, decizional și securitatea, Dezvoltare și promovarea produselor, respectiv Fabricația*. Metodologia propusă are în vedere întâi identificarea cronologiei acțiunilor, fără a ține cont de durata necesară implementării acestora și stabilirea unor acțiuni care constituie borne în implementarea Industry 4.0. Aceste acțiuni sunt comune mai multor obiective, de finalizarea lor depinzând începerea implementării unor acțiuni diferite dedicate unor obiective distincte. Apoi, pentru fiecare acțiune în parte se stabilește timpul minim necesar pentru implementare și toate acțiunile se trec în matricea-program ținând cont de cronologie și de durata acțiunilor.

5. Stabilirea limitărilor referitoare la resursele firmei și repoziționarea activităților în timp

Această etapă a metodologiei propuse presupune determinarea costurilor fiecărei acțiuni și a limitărilor legate de resursele necesare implementării, în primul rând cele financiare și de personal. Acestea fiind cunoscute se trec în matricea-program și se verifică dacă cheltuielile în unitatea de timp sunt cel mult egale cu limitele acceptabile. Se verifică de asemenea dacă personalul implicat în implementarea Industry 4.0 are o rezervă de timp suficientă pentru activitățile în care ca fi inclus.

Spre deosebire de modele propuse în literatură, care propun implementarea de proiecte disperate, modelul propus în teză are avantajul că abordează unitar trecerea la sistemul Industry 4.0 și astfel se elimină redundanțe o serie de intervenții ulterioare și corecții necesare armonizării diferitelor proiecte implementate separat.

4. Studiu privind integrarea unui sistem cyber-fizic într-o linie de fabricație auto-organizată

4.1. Descrierea liniei de fabricație

Acest capitol prezintă modul în care se poate trece la echiparea producției cu sisteme cyber-fizice, care se constituie ca scenariu absolut obligatoriu în implementarea Industry 4.0. Aceasta se justifică prin aceea că noul model de producție caracteristic fabricilor inteligente este definit ca având caracteristică esențială relaționarea între unitățile și departamentele unei companii sau *colaborarea pe verticală*. Un rol important în această colaborare îl au Sistemele Cyber-Fizice de Producție (CPPS), care răspuns rapid la schimbările apărute prin informarea decidenților privind modificarea stocurilor sau a defectării. Locul de depozitare al materialelor, semifabricatelor și componentelor este tot timpul cunoscut (Bogdanova et al., 2016), la fel ca și starea mașinilor-unelte și a sculelor (Chiu et al., 2017). Liniile de fabricație în acest fel auto-organizează și permit corectarea în timp real a abaterilor de la programul de producție sau adaptarea la un nou context. Fluxul de producție poate fi astfel organizat încât să permită utilizarea cu eficiență maximă a resurselor disponibile (Moeuf et al., 2017).

Deoarece trecerea la sistemul de producție în fabrici inteligente trebuie făcut cu un efort financiar cât mai redus (Bogdanova et al., 2016), este nevoie ca mașinilor clasice să li se atribuie facilități specifice CPPS-uri. Acestea se referă în primul rând la capacitatea de comunicare cu alte echipamente și cu personalul fabricii (Stavropoulos et al., 2013). Dealtfel, firmele consideră că principalul efort în implementarea sistemului de producție specific Industry 4.0 va consta în digitizare și comunicare prin Internet (Geissbauer et al., 2014). În acest capitol se prezintă un flux compus din trei utilaje, dintre care al doilea în flux este o freză respectiv un centru de prelucrare CNC. Acestea sunt dotate cu senzori și echipament de comunicate prin Ethernet, fiind integrată în LAN (local area network) conceput pentru o secție de producție. Aceasta integrare este posibilă și chiar necesară în cazul implementării sistemului de producție Industry 4.0, fiind posibilă și extinderea conexiunii la o WAN (wide area network), așa cum este prezentat figura 4.1.

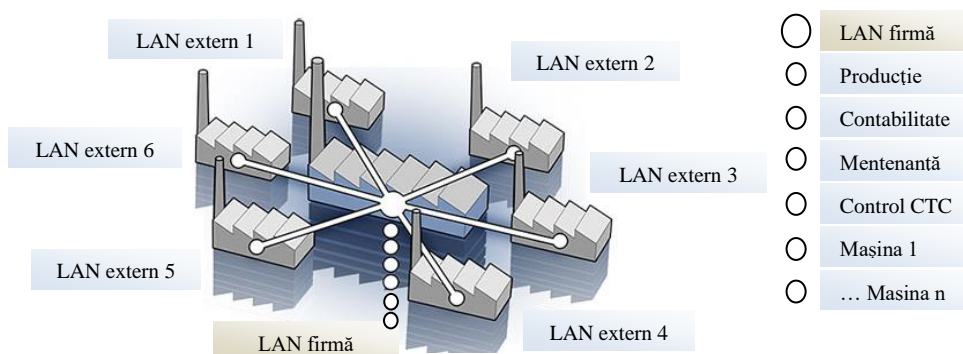


Figura 4.1: Schema unui WAN global care integrează LAN-ul firmei

LAN asigură comunicarea cu entități din cadrul firmei și din alte companii cu care firma colaborează sau dorește să colaboreze. În LAN-ul firmei pot fi integrate device-uri aparținând managementului, compartimentelor producție, tehnic, contabilitate, comercial, asigurarea calității, mentenanță și în cazul producției în sistem Industry 4.0 a CPPS-urilor (mașini-unelte, scule, componente). Figura 4.2 prezintă schematic linia de fabricație și interconexiunile interne de tip stea asigurată de sistemul informatic al firmei. Această rețea de comunicare, fiecare cu fiecare, este preferată deoarece permite un stil participativ cu nivel ridicat al descentralizării deciziilor. În plus, se asigură transparența informațiilor pentru toți membrii rețelei.

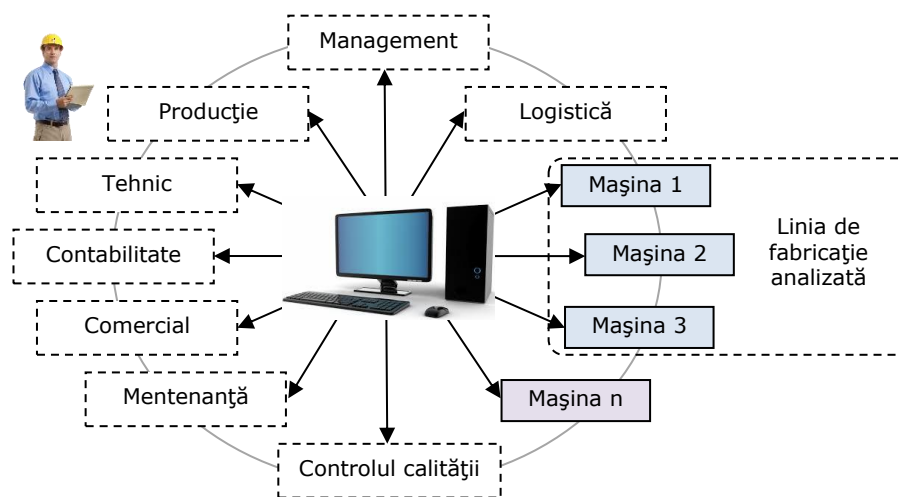


Figura 4.2: Schema unui LAN care include și mașinile-unelte din linia de fabricație analizată

În figura 4.3 sunt prezentate cele trei utilaje analizate, dintre care cea din mijloc este o freză universală, deci o mașină-unelte clasică, care va fi dotată cu senzori și sistem de stocare și transmitere a datelor pentru a deveni un CPPS. În cadrul liniei de fabricație, fluxul de material este exclusiv de la mașina 1 la mașina 3, pe când fluxul de informații este în ambele sensuri (Mocan et al. 2018).

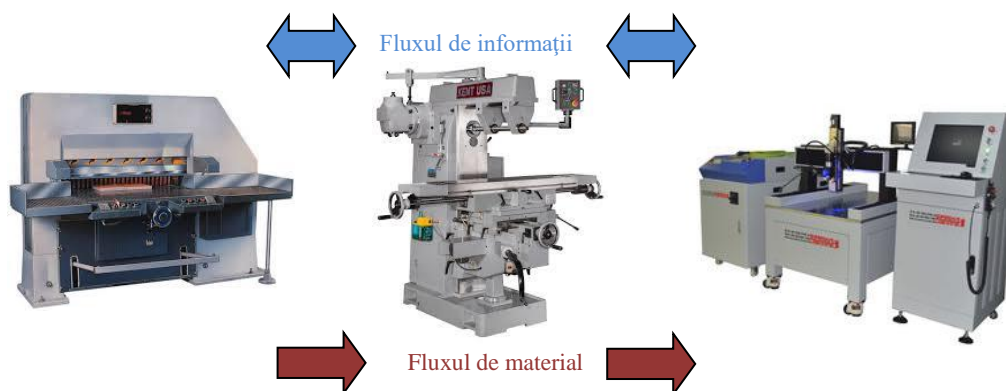


Figura 4.3: Schema fluxului de material și de informații pentru linia de fabricație analizată

În cel de-al doilea caz se consideră o mașină cu comandă numerică sau mașină CNC (computer numerical control), care este un echipament complex prevăzut cu sisteme de comandă și control numeric al mișcării. Totuși, nefiind dotate implicit cu senzori pentru monitorizarea stării de funcționare, în lucrare se studiază și modul în care acest tip de echipament poate fi transformat în CSSP prin dotare cu senzori și sistem de transmitere de date pentru a putea obține și distribui informații despre desfășurarea operațiilor de prelucrare.

4.2. Implementarea senzorului optic

Prima mașină pentru care se implementează un senzor este o freză universală, care are proprietatea de a opera într-un mediu deschis, deci oferă condițiile necesare pentru măsurarea deplasărilor piesei de prelucrat printr-un fascicul LASER. Acest senzor optic, de tip LG10A56PU, poate funcționa atât în regim analogic cât și discret. Senzorul produce o comutare logică dacă un obiect (materialul de prelucrat) se interpune pe direcția fascicolului. Tensiunea analogică este proporțională cu distanța de la senzor la locul punctual de pe obiect semnalizată cu un spot roșu, prezentat în figura 4.4. În această figură se poate observa mașina-unealtă cu masa pe care este prinsă menghina mașinii care prinde piesa de prelucrat (o bară de oțel cu dimensiunile 200x40x3 mm). Pe masa mașinii se găsește prinsă și a doua menghină, în care este fixat senzorul optic care focalizează un spot roșu pe piesa de prelucrat.



Figura 4.4: Mașina-unealtă și senzorul laser LG10A56PU cu focalizare pe piesa de prelucrat

Orice variație a distanței determină o variație proporțională a tensiunii. Tensiunea de ieșire este convertită din analog în digital prin modulul de achiziție multifuncțional NI USB-6259 M, prezentat în figura 4.5, și transmisă calculatorului. Aici, semnalul este vizualizat și înregistrat prin aplicația Measurement & Automation dezvoltată de National Instruments. Figura 4.5 prezintă de asemenea sursa de alimentare dublă SAD, folosită pentru alimentarea senzorului optic cu un curent de la 0 la 3 A și tensiune continuă stabilizată de la 0 la 30 V.



Figura 4.5: Sistemul de achiziție constând din senzorul optic LG10A56PU, sistemul de achiziție multifuncțional NI USB-6259 M și sursa de alimentare dublă SAD

Senzorul optic LG10A56PU este un senzor de înaltă precizie care are o gamă de măsurare cuprinsă între 75 și 125 mm și punctul focal la 180 mm. Rezoluția analogică la 100 mm este următoarea: Rapid: $<150 \mu\text{m}$; Mediu: $<50 \mu\text{m}$; Lent: $<10 \mu\text{m}$. Are o ieșire discretă PNP (max. 100 mA) și tensiune de saturație DC $<1.2 \text{ V}$ la 10 mA, respectiv $<1,6 \text{ V}$ la 100 mA.

Modulul de achiziție a datelor NI USB-6259 M are 32 de intrări analogice unice sau 16 diferențiale, 4 ieșiri analogice și 48 de intrări sau ieșiri digitale. Frecvența de eșantionare este $f_R=1,25 \cdot 10^6 \text{ Hz}$, deci se prelevează 1,25 milioane de eșantioane pe secundă la o rezoluție de 16 biți, modulul de achiziție fiind optimizat pentru o precizie superioară la rate mari de eșantionare.

Înainte de monitorizarea operațiunii de frezare este necesară efectuarea unei calibrări a sistemului. Așa cum se observă în figura 4.5, bara de oțel care reprezintă piesa prelucrată este fixată la un capăt în menghina mașinii și are celălalt capăt liber. Senzorul optic este fixat și el într-o menghină, distanța dintre senzor și piesă fiind de 100 mm. Ambele menghine sunt fixate rigid pe masa frezei universale. Pentru a verifica precizia măsurătorilor senzorului optic făcută pentru deplasarea capătului liber al piesei se folosește un ceas comparator standard cu rezoluția de 10 μm .

Ceasul comparator este plasat pe capătul liber al piesei, opus spotului laser. Deplasarea capătului liber al barei se realizează prin impunerea către masa mașinii de frezat a unei deplasări în raport cu capul de frezare. Calibrarea a fost făcută pentru cele cinci valori ale deplasării (Gillich et al. 2017), indicate în tabelul 4.1, scalate la valorile relative ale tensiunii.

Tabelul 4.1: Deplasările și tensiunile măsurate în timpul procesului de calibrare

Nr. înregistrare	1	2	3	4	5
Deplasare [mm]	1	2	3	5	8,5
Tensiune c.c [V]	0,02	0,04	0,06	0,10	0,17

Din tabelul de mai sus se poate observa că și în cazul unei deplasări mici, de doar 0,1 mm, se obține o variație suficient de mare a tensiunii continue, de 0,02 V, care poate fi măsurată fără probleme. Rezultatele calibrării confirmă liniaritatea indicată de producătorul senzorului (+/- 0,2 mm pentru intervalul de măsurare de la 75 la 95 mm și de la 100 la 125 mm, respectiv +/- 0,02 mm pentru intervalul de la 95 la 100 mm).

Aplicația Measurement & Automation permite o conectare facilă a senzorului optic LG10A65PU prin intermediul modului de achiziție NI USB-6259 la calculator. Interfața aplicației este ilustrată în figura 4.6, unde sunt prezentate datele obținute pentru o deplasare de 0,85 mm a capătului liber datorat prelucrării mecanice.

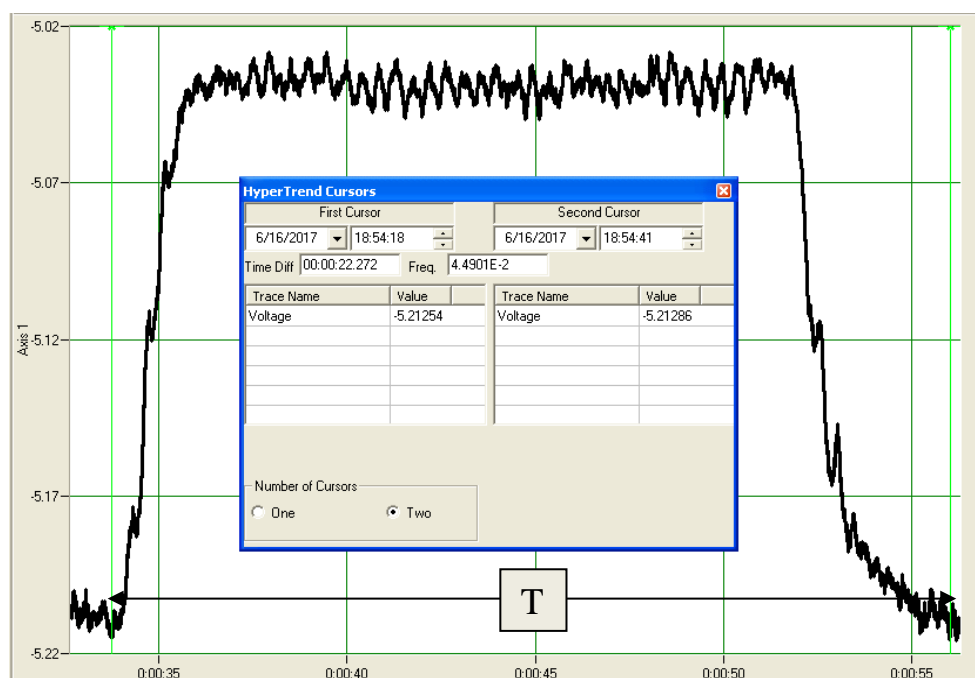


Figura 4.6: Interfața aplicației Measurement & Automation cu indicarea datelor pentru o deplasare a capătului liber al piesei cu 0,85 mm

Din această figură rezultă clar, pe axa orizontală, intervalul de timp T pentru care se aplică deplasarea de 0,85 mm. Valoarea poate fi citită din fereastra Cursorilor *HyperTrend*, rezultând $T = 22.272$ secunde.

4.3. Algoritmul ALSO destinat monitorizării procesului de fabricație cu senzorul optic pentru descentralizarea deciziilor

În mod obișnuit, mașinile de frezat nu sunt prevăzute cu niciun echipament digital pentru transmiterea datelor către un sistem central de procesare. Folosind un senzor optic, funcționarea mașinii poate fi monitorizată, iar informațiile obținute pot fi utilizate pentru a planifica procesele de producție și mentenanță. Decizia poate fi luată de personal sau de către unitatea centrală în sine, în acest ultim caz fiind un management descentralizat, bazat pe un algoritm definit a priori. În acest subcapitol se prezintă algoritmul original ALSO pe care l-am dezvoltat pentru acest scop.

Dacă se realizează monitorizarea procesului de fabricație pe termen lung, unitatea centrală poate recunoaște timpul necesar pentru procesarea unei piese. Figura 4.7 prezintă datele înregistrate de senzor obținute în formă grafică. Senzorul optic indică tensiunea $U=0$ V la ieșire dacă piesa de prelucrat nu este prezentă în spațiul de lucru. Dacă piesa este introdusă în menșină, sistemul indică o tensiune U proporțională cu distanța față de piesă la care este montat, adică $U=-5,22$ V în acest exemplu. Prin măsurarea timpului T_{OPER} derulat între două faze când nu există piesă în spațiul de lucru, deci când senzorul optic indică tensiunea 0, se poate determina timpul necesar prelucrării unei piese.

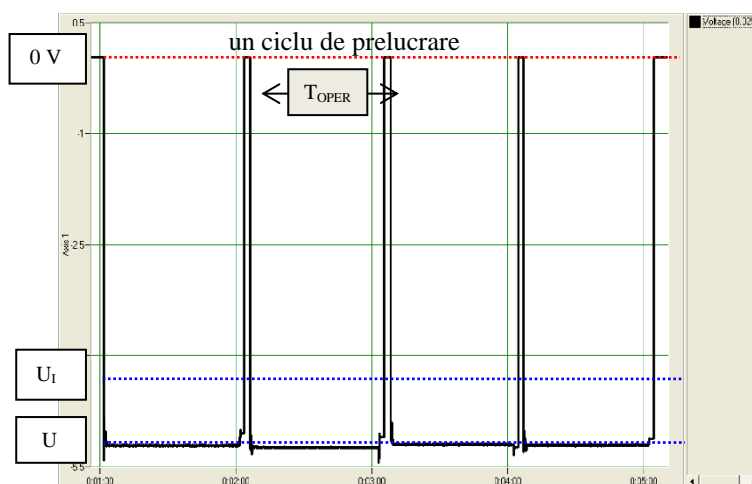


Figura 4.7: Monitorizarea pe termen lung a procesului de fabricație și înregistrarea numărului de piese procesat

Timpul care a fost necesar pentru parcurgerea unui ciclu de prelucrare se determină prin pseudocodul prezentat mai jos. Inițierea se face la tensiunea $U=0$ și timpul $T_{OPER}=0$. Dacă U este diferit de zero, deci există piesa în menșină, la T_{OPER} se adaugă un interval de timp ΔT egal cu timpul de eșantionare, până se îndeplinește din nou condiția $U=0$. Acest timp se poate afișa și/sau stoca pe unitatea centrală pentru verificarea conformității.

Limbaj algoritmic pentru determinarea timpului operațional

```

U=0
TOPER=0
Executa
    TOPER = TOPER + ΔT
    Daca piesa iese din menghina U = 0
Cat timp U <> 0 # Piesa este în mașină
Scrie TOPER

```

O altă informație rezultată din figura 4.7 este timpul necesar pentru descărcarea și reîncărcarea mașinii de frezat, adică timpul scurs între două cicluri de prelucrare. Dacă acest timp este într-un interval predefinit $T_{STAT-REF}$, procesul se desfășoară normal. În caz contrar, se indică fie lipsa semifabricatului, fie o situație neprevăzută care necesită intervenția operatorului sau echipei de întreținere. Dacă aceste informații sunt disponibile în timp real, este posibilă o reacție rapidă pentru a remedia situația apărută.

Limbaj algoritmic pentru determinarea timpului de staționare și de mentenanță

```

U=0
TSTAT=0
TSTAT-TOTAL=0
T=0
TMENT-TOT = 0
Executa
    T=T+ΔT
    Executa # Piesa nu intra în mașină
    TSTAT=TSTAT+ΔT
    Daca TSTAT>TSTAT-REF # Dacă timpul de staționare de referința este depășit
    SCRIE("Probleme la alimentarea mașinii!")
    TMENT=0
    Executa
        TMENT= TMENT+ ΔT # Timpul de mentenanță crește
        TMENT-TOTAL = TMENT-TOTAL + TMENT
    Cat timp se executa mentenanța
    TSTAT-TOTAL = TSTAT-TOTAL + TSTAT+TMENT
    Daca piesa intra in menghina atunci
    U <> 0
    TSTAT=0
    Cat timp U=0 # Piesa nu intra in mașina
    Cat timp T<luna
    Scrie SCRIE(„Timp de staționare/luna=!"+ TSTAT-TOTAL)
    Scrie SCRIE(„Timp de mentenanță/luna=!"+ TMENT-TOTAL)

```

Din algoritm, pe baza pseudocodului, se poate obține și timpul de staționare total pe lună din care se poate evidenția și timpul necesar pentru mentenanță. Evident, se pot deduce acești timpi și pentru alte perioade de timp analizate, dacă în pseudocod se programează acest interval.

Monitorizarea pe termen lung permite și determinarea numărului de piese prelucrate N_{PP} . Astfel, din figura 4.7 se poate observa că au fost prelucrate patru piese, indicate de cele patru abateri ale semnalului de la valoarea 0. Unitatea centrală numără automat aceste piese pe baza următorului pseudocod prezentat mai jos. Deci, dacă procesul de producție se desfășoară normal, adică tensiunea U și timpul T sunt în parametrii planificați, unitatea centrală trimite informații legate de numărul de piese fabricate și eventual de numărul de semifabricate rămase în stoc la mașina respectivă. Acestea sunt destinate în principal compartimentului producție și contabilitate.

De asemenea se poate determina și numărul de piese rebutate N_{PR} . Dacă timpul de prelucrare este mai mic sau mai mare decât cel estimat, T_I respectiv T_S , se prezumă că nu a fost terminat ciclul de prelucrare la piesa în lucru, ceea ce este anunțat compartimentului producție și compartimentului CTC prin avertizarea „Se necesită intervenția echipei de mentenanță!”. Acesta din urmă, în cazul unui rebut, poate declanșa avertizarea „Se necesită un semifabricat suplimentar!”

Același lucru se întâmplă și dacă tensiunea indicată de senzor nu se încadrează în limitele impuse U_I respectiv U_S . În acest caz se consideră că senzorul este deplasat, că piesa este prinsă necorespunzător în sistemul de prindere al mașinii sau că au apărut solicitări transversale anormale. În acest caz operatorul poate fi avertizat sonor și informația este trimisă compartimentului mentenanță. se lansează aceleași avertizări ca și în cazul neîncadrării în limitele de timp T_I și T_S .

Limita de timp minimă T_I și limita de timp maximă T_S sunt evidențiate în figura 4.8. Această vedere detaliată a unui semnal achiziționat care cuprinde un singur ciclu de prelucrare arată că în timpul prelucrării piesei amplitudinea semnalului variază în concordanță cu sarcinile aplicate pe piesă și prin urmare cu modul în care aceasta se deformează. Din figură se poate observa că sunt efectuate trei treceri pentru un ciclu de prelucrare. Această variație a tensiunii este mult mai mică decât distanța dintre senzor și piesă, dar poate fi clar pusă în evidență.

Limbaj algoritmic pentru determinarea numărului de piese prelucrate sau rebutate

$T_{OPER}=0$

$N_{PP}=0$

$N_{PR}=0$

N_{SMF} = valoare # Numărul inițial de semifabricate necesare

Piesa este în mașină și prelucrarea se face în timpul planificat

Executa

Dacă $U_{PI} < U < U_{PS}$ și $T_I < T < T_S$ și $T_{OPER} = T_{OPER} + \Delta T$

$N_{PP} = N_{PP} + 1$ # Nr. piese prelucrate crește

$N_{SMF} = N_{SMF} - 1$

Altfel

$N_{PR} = N_{PR} + 1$ # Nr. piese rebut crește

$N_{SMF} = N_{SMF} - 1$

SCRIE („Se necesită intervenția echipei de mentenanță”)

SCRIE („Se necesită un semifabricat suplimentar”)

Cat timp $N_{smf} > 0$

SCRIE („Număr de piese prelucrate =” + N_{PP})

SCRIE („Număr de piese rebut =” + N_{PR})

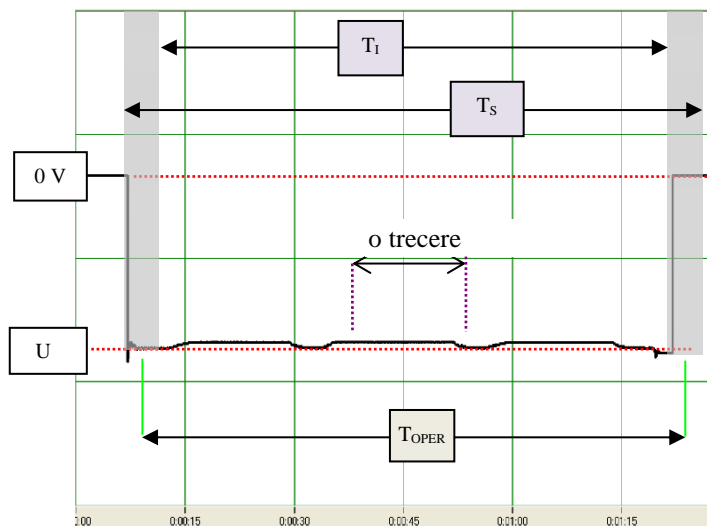


Figura 4.8: Detaliu asupra semnalului achiziționat pentru un ciclu de prelucrare

Un detaliu asupra semnalului achiziționat pe parcursul unui ciclu de prelucrare este redat în figura 4.9. Din figură se poate observa că în timpul procesului de aşchiere piesa nu este doar ușor deplasată spre senzor, ceea ce are ca efect o scădere a tensiunii cu valoarea ΔU_C (semnalată cu linie întreruptă albastră în figura 4.9), dar există și o variație în jurul acestei tensiuni datorată vibrațiilor piesei, vibrații care se manifestă ca urmare a procesului de prelucrare. La o funcționare normală, valoarea tensiunii nu trebuie să se încadreze în limitele U_1 și U_S marcate cu linie întreruptă mov în figura 4.9.

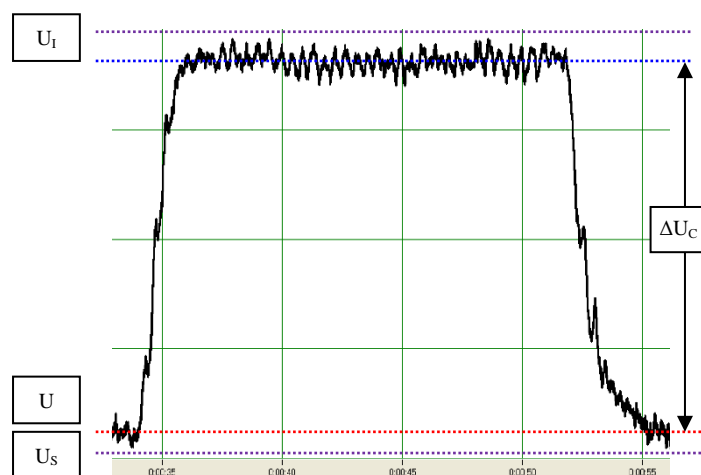


Figura 4.9: Detaliu asupra semnalului achiziționat pentru o trecere când procesul se desfășoară normal

La o funcționare anormală, datorată uzurii piesei, funcționării neconforme a mașinii sau prinderii necorespunzătoare a piesei această limită este depășită, vezi figura 4.10, în care se prezintă modul în care vibrațiile excesive fac să fie depășită limita inferioară a tensiunii care este U_I .

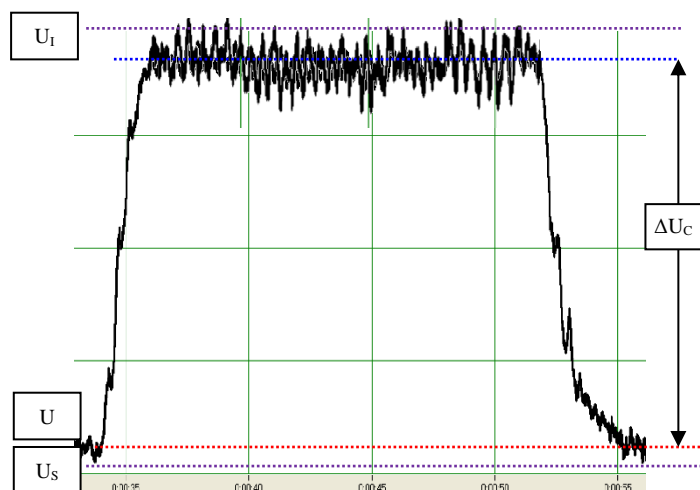


Figura 4.10: Detaliu asupra semnalului achiziționat pentru o trecere când e depășită limita impusă deplasării datorită uzurii sculei sau funcționării necorespunzătoare a mașinii

Pseudocodurile pot fi implementate și utilizate separat sau pot fi înglobate într-un algoritm complex. Se pot imagina și numeroase alte scenarii și programa acțiuni ale mașinii astfel încât să fie obținut un flux de producție auto-organizat care poate funcționa total independent de controlul uman. Spre exemplu, informațiile oferite pentru mașina 3 care assemblează prin de sudură piesele prelucrate pe mașina 2 pot conduce la modificarea regimului de sudare astfel încât optimizarea procesului să fi făcută fie pentru a asigura un consum minim de energie sau pentru a obține timpul cel mai scurt de sudare.

4.4. Implementarea unui accelerometru pe o mașină CNC

O altă aplicație în domeniul monitorizării proceselor de producție a vizat utilizarea unui accelerometru pentru a evalua performanța unui centru de frezare EMCO Concept Mill 155, care face parte dintr-un flux de producție similar cu cel prezentat în figura 4.3. Opțiunea pentru alegerea unui accelerometru are la bază faptul că cele mai frecvente defecțiuni care afectează performanța mașinii sunt legate de apariția sau accentuarea vibrațiilor. De obicei, centrele de frezare nu sunt echipate cu niciun echipament digital care să transmită informații pentru prelucrare către o unitate centrală de control și nici senzori care să monitorizeze starea de funcționare. Implementarea unui accelerometru poate asigura obținerea de date care, procesate, să ofere informații esențiale despre comportamentul mașinii-unelte privind starea de funcționare a acesteia și care pot fi utile pentru planificarea producției și a întreținerii. Pe baza informațiilor colectate și în funcție de algoritmi utilizați, procesul de producție poate deveni independent de controlul uman.

Pentru această cercetare, adică studierea modului de monitorizare al mașinii CNC, am decis să utilizez un accelerometru Kistler 8772 amplasat pe menghina mașinii. Acesta are avantajul auto-calibrării și facilități de utilizare împreună cu modulul de conversie analog-digital NI 9234 și programul LabVIEW dezvoltate de firma National Instruments. Pentru extragerea, stocarea și procesarea datelor am folosit o aplicație specială dezvoltată în LabVIEW. Figura 4.11 prezintă principalele componente ale standului experimental și ale sistemului de măsurare (Gillich et al. 2018). Pentru a vizualiza poziția accelerometrului, poza a fost făcută cu ușa mașinii deschisă.

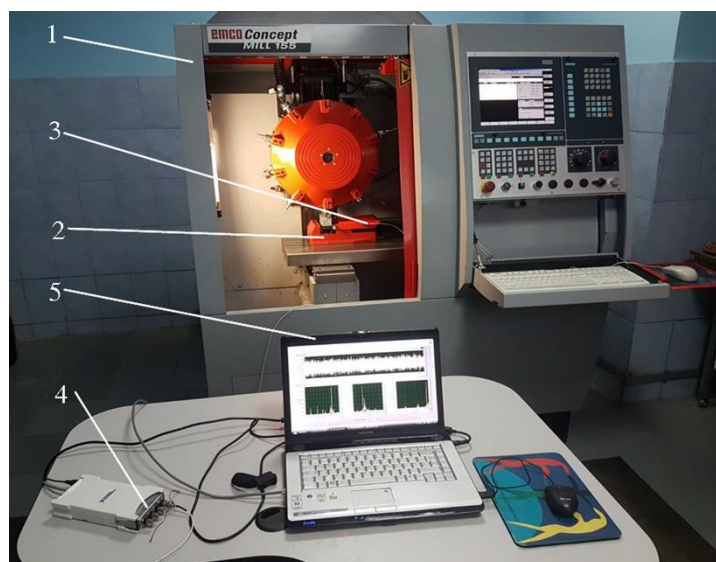


Figura 4.11: Mașina CNC și sistemul de măsurare a vibrațiilor: 1- mașina de frezat, 2- menghina, 3- accelerometru, 4- modulul de conversie analog-digital, 5- laptop.

Dezavantajul utilizării sistemului de achiziție a datelor pentru aplicații reale îl constituie prețul ridicat, dar în cazul aplicațiilor industriale se pot utiliza, în locul acestuia senzori și microcontrolere cu prețuri extrem de mici. Acestea au și avantajul dimensiunilor miniaturale, al insensibilității la acțiuni mecanice diverse și al posibilității de conectare facilă la sistemul WiFi.

4.5. Algoritmul ALMA destinat monitorizării procesului de fabricație cu un accelerometru în vederea descentralizării deciziilor

Prin monitorizarea vibrațiilor mașinii se poate urmări modul în care se desfășoară o anumită fază tehnologică și dacă aceasta se încadrează în condiții predefinite (ritm de alimentare, regim de așchiere etc.). Parametrii regimului de așchiere pot fi cu ușurință asociați cu semnalul măsurat de accelerometru amplasat pe menghina mașinii, fiind posibilă extragerea de informații privind numărul de piese fabricate, numărul de rebuturi, timpul de funcționare, dar și despre funcționarea mașinii în ceea ce privește uzura acesteia și a sculelor așchietoare.

Figura 4.12 ilustrează schematic modul în care sunt obținute semnalele de vibrații atunci când se efectuează prelucrarea unui produs pe mașina CNC include trei treceri în același regim de lucru și cu mașina respectiv scula așchietoare cu aceeași stare de uzură.

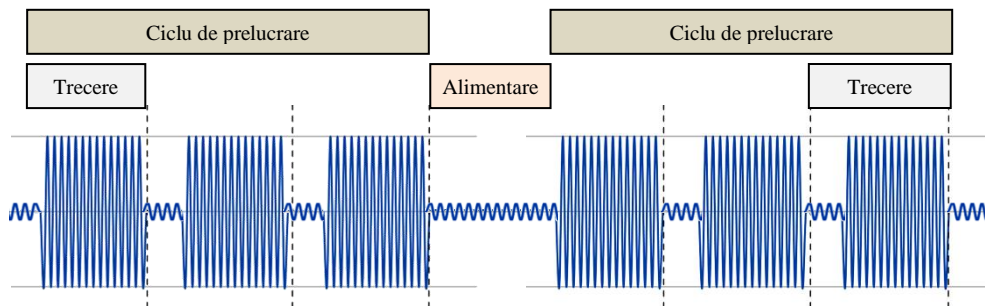


Figura 4.12: Exemplu pentru un semnal achiziționat de la accelerometru în timpul procesului de fabricație

Se observă că, spre deosebire de senzorul optic, accelerometrul nu poate indica prezența piesei de prelucrat în menghina mașinii CNC. Dar, accelerometrul poate indica timpul de staționare T_{STAT} prin încadrarea în amplitudinea vibrației A_{STAT} (marcată cu linie întreruptă verde în figura 4.13). Aceste amplitudini se datorează micro-seismicității antropice sau naturale.

De asemenea, accelerometrul poate indica timpul de mers în gol T_{MG} prin încadrarea în amplitudinile $\pm A_{MG}$ (marcate cu linie mov în figura 4.13) și depășirea amplitudinilor $\pm A_{STAT}$. Amplitudinile la mersul în gol au ca origine funcționarea mașinii și sunt datorate excentricității pieselor în rotație, jocurilor, imperfecțiunilor de montaj etc.

O a treia stare este dată de prelucrarea efectivă a piesei în condiții normale, caz în care amplitudinile măsurate cresc. Timpul de operare T_{OPER} poate fi determinat pentru perioada în care amplitudinea se încadrează în limita A_{OPER} (marcată cu linie oranj în figura 4.13) dar depășește amplitudinea A_{STAT} .

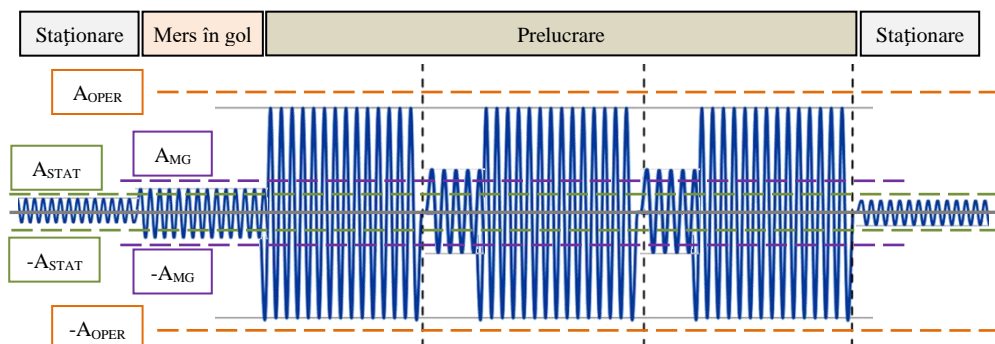


Figura 4.13: Exemplu pentru un semnal achiziționat de la accelerometru în timpul procesului de fabricație și limitele amplitudinilor pentru diverse stări ale mașinii

Dacă amplitudinea în funcționare depășește valorile prescrise pentru buna funcționare, adică A_{OPER} , înseamnă că a apărut o defecțiune la mașină, uzură a sculei sau o neconformitate a materialului. În funcție de experiența anterioară, se pot defini limite de atenționare și de oprire pentru mașină și reclama intervenția echipei de mentenanță. Prin procesarea semnalului și analiza spectrului de frecvențe se pot obține și mai multe informații despre incident (tipul defecțiunii sau gradul de uzură al sculei, distrugerea piesei etc). Ca urmare a acestor informații poate fi alertat și compartimentul CTC.

Un exemplu simplu de clasificare a funcționării anormale a mașinii este ilustrat în figura 4.14. Aici sunt definite două domenii de funcționare a mașinii: (i) o limită a amplitudinii vibrației A_{AVERT} pentru defecte minore la care mașina poate funcționa în continuare dar trebuie supravegheată strict și intervenit la prima ocazie pentru remedierea situației; (ii) o limită a amplitudinii vibrației A_{STOP} , la depășirea căreia se oprește mașina și se intervine imediat pentru remedierea situației.

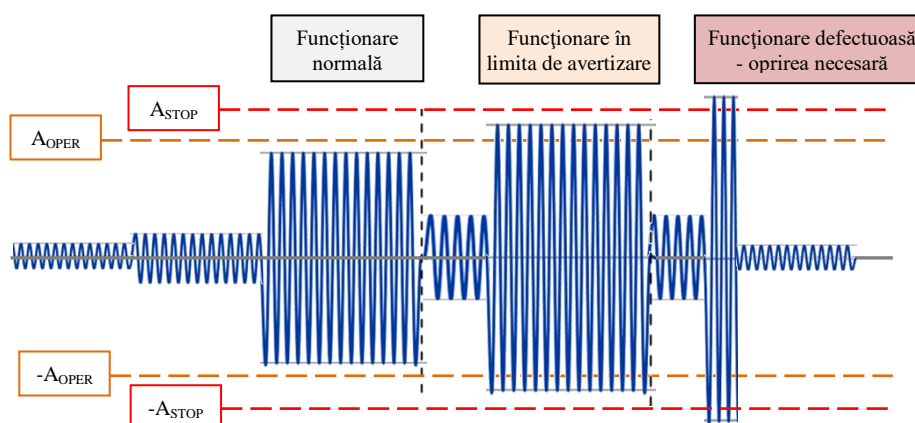


Figura 4.14: Exemple de funcționare normală și anormală a mașinii cu indicarea limitelor de avertizare și oprire

În cazul monitorizării continue a producției se obține un semnal similar cu cel ilustrat în figura 4.12, iar unitatea centrală de control primește informații despre durata procesului de prelucrare. Atât timp cât accelerația măsurată nu depășește valoarea A_{STAT} mașina este oprită și se înregistrează timpul de staționare T_{STAT} . La depășirea valorii A_{STAT} dar cu încadrarea în limita A_{MG} , mașina merge în gol. Acești timpi pot fi contorizați individual sau cumulativ pentru a stabili timpul total de staționare pentru o lună calendaristică.

Dacă valoarea A_{MG} este depășită, înseamnă că mașina prelucrează piesa. O reprezentare a semnalului cu accent pe timpul de procesare este prezentat în figura 4.15. Se observă că este definit un timp minim necesar notat T_I și un timp maxim necesar notat T_S . Încadrarea între aceste limite a timpului de operate T_{OPER} indică executarea unei piese, în caz contrar se prezumă că piesa este neterminată sau rebutată. Prin adăugarea timpilor de operare individuali se poate determina perioada în care mașina a lucrat pentru un interval de timp dat, iar numărul de cicluri efectuate care încadrează atât timpul cât și amplitudinea în limitele prestabilite indică numărul de piese executate.

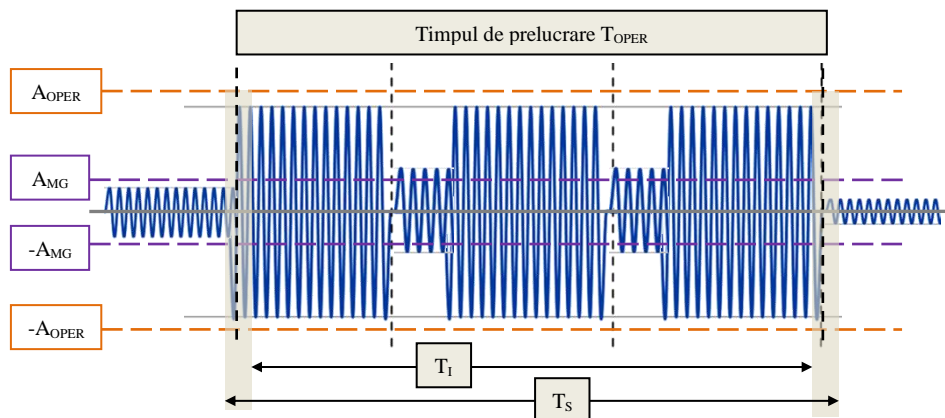


Figura 4.15: Definirea timpului minim T_1 și maxim T_s necesar prelucrării piesei pe mașina CNC

Scopul fiind obținerea unei linii de producție auto-organizate, este nevoie de un algoritm care să permită luarea deciziilor autonome de către unitatea centrală de comandă. În figura 4.16 se prezintă arborele de clasificare și decizie care stă la baza algoritmului ALMA.

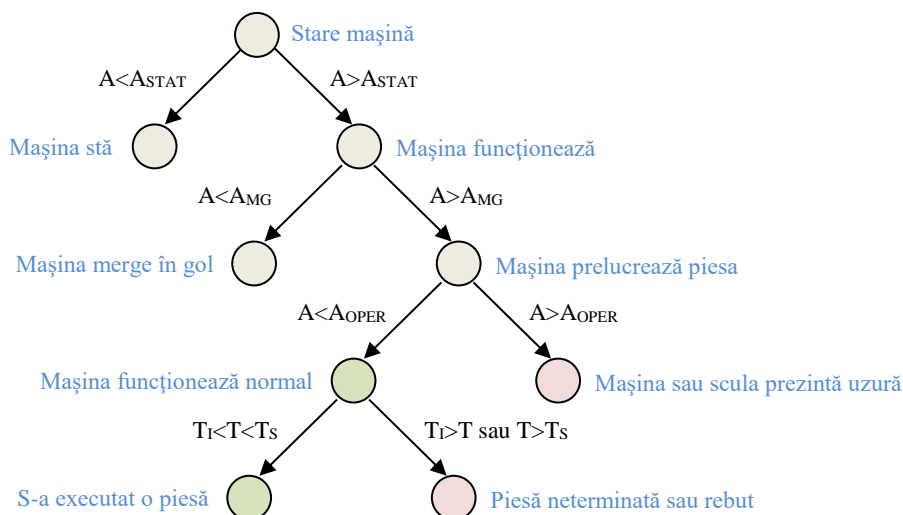


Figura 4.16: Arborele de clasificare și decizie care stă la baza algoritmului ALMA

Trebuie menționat faptul că pentru amplitudinea vibrației se poate lua valoarea *de la vârf la vârf* (p2p) sau *media pătratică* (RMS) instantanee calculată repetitiv pentru un număr redus de eşantioane din semnalul de vibrații. Acest din urmă parametru are avantajul că este întotdeauna pozitiv și elimină salturile accidentale din semnal.

Pe baza arborelui de clasificare și decizie din figura 4.16 s-a conceput algoritmului ALMA care este prezentat în continuare sub formă de schemă logică.

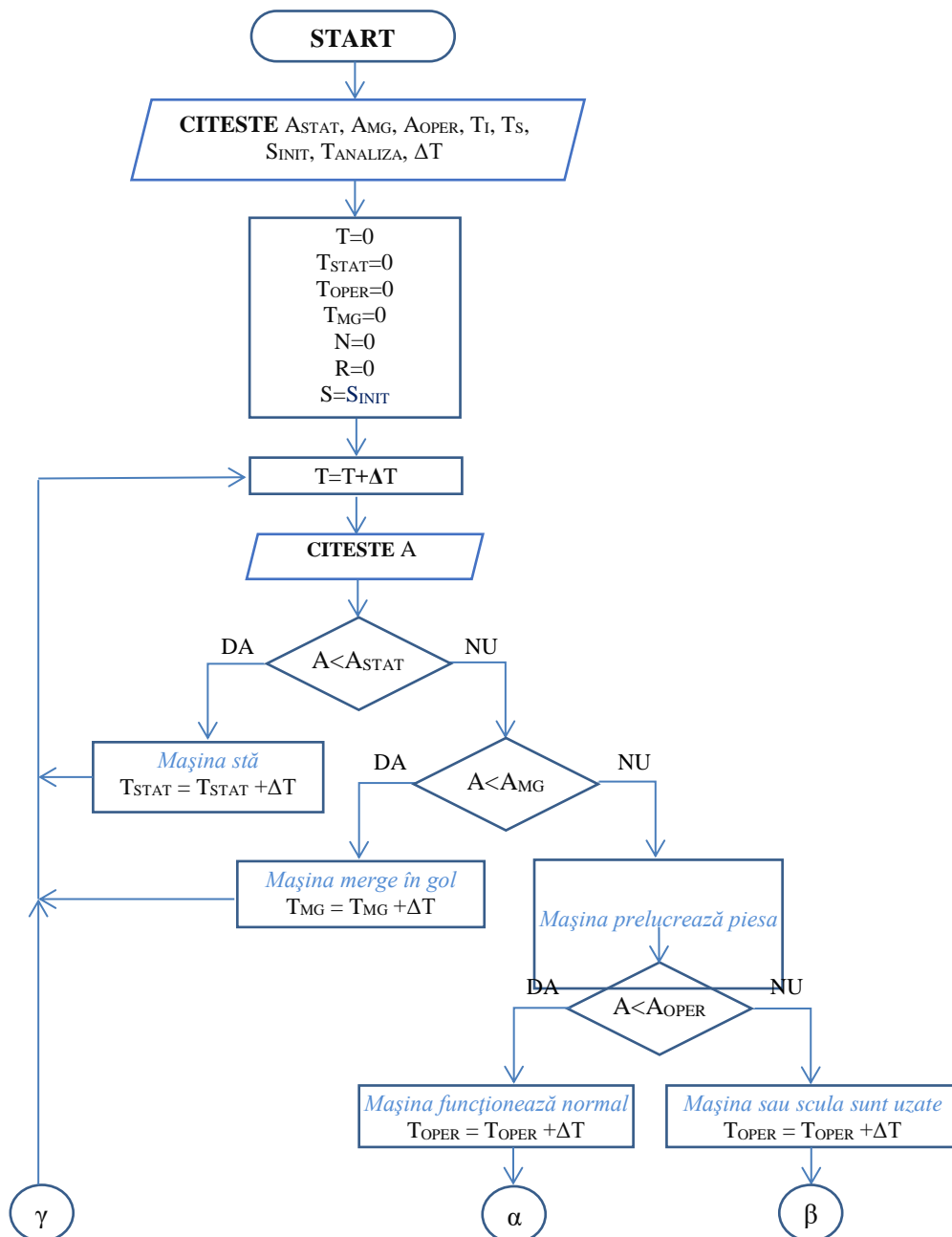


Figura 4.17: Algoritmul ALMA sub formă de schemă logică

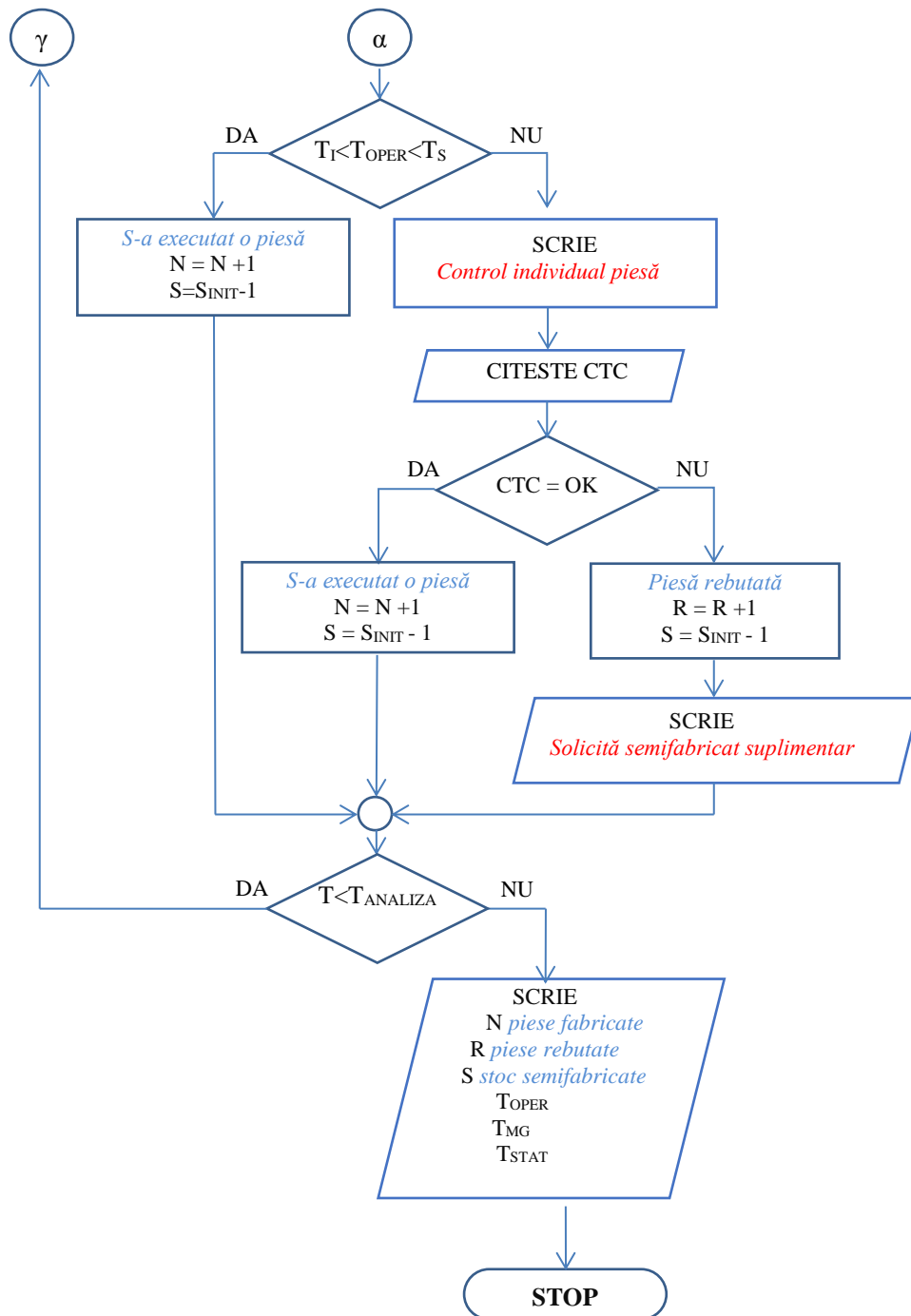


Figura 4.17: Algoritmul ALMA sub formă de schemă logică (continuare)

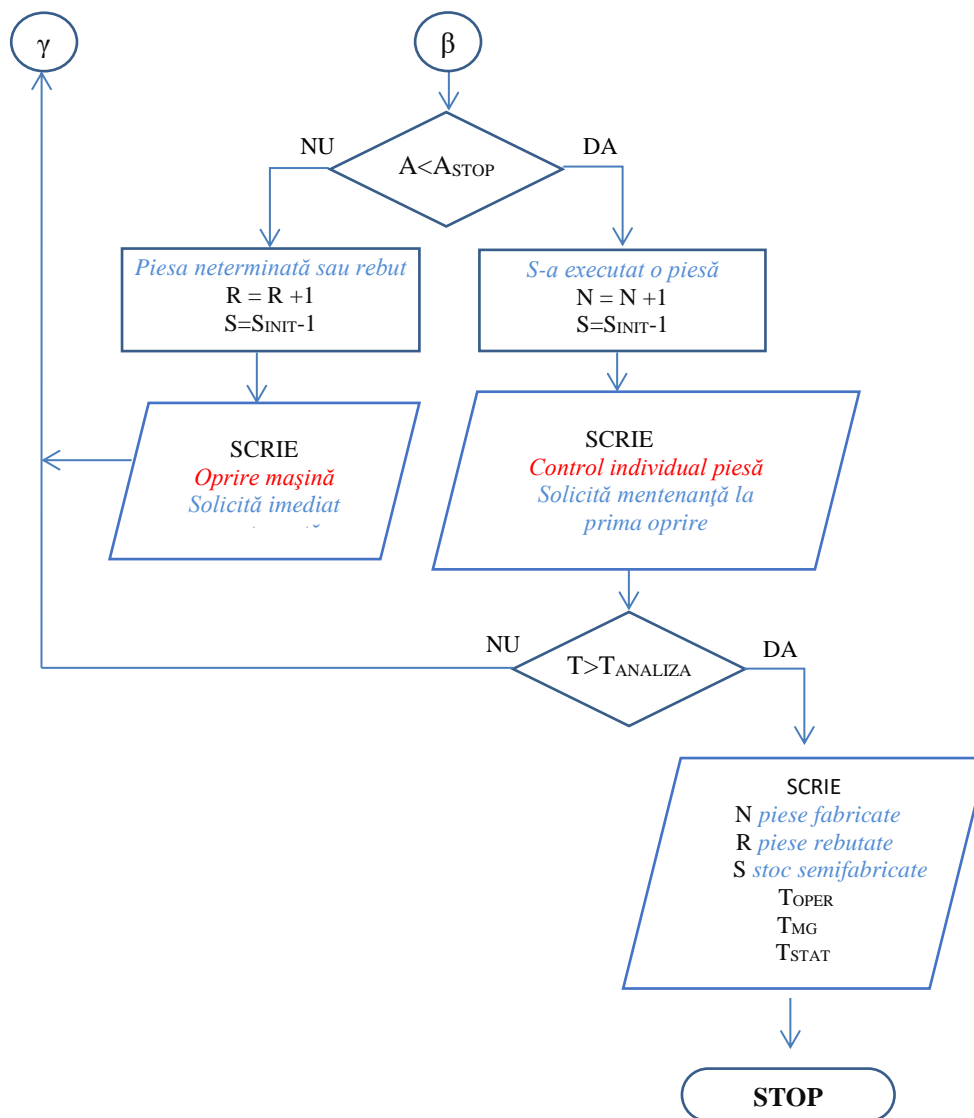


Figura 4.17: Algoritmul ALMA sub formă de schemă logică (continuare)

Prin aplicarea algoritmului se poate crește cu mult gradul de autonomie al funcționării fluxului de fabricație, prin completarea lui fiind posibilă chiar fabricația fără decizie umană, intervenția umană fiind necesară doar la controlul de calitate al pieselor, mentenanță și aprovizionarea mașinilor clasice cu semifabricate respectiv preluare piese finite.

4.6. Concluzii și contribuții personale

Studiul prezentat în acest capitol se dorește ca fiind un exemplu de rezolvare a problemei implementării senzorilor în componența echipamentelor existent (acțiunea 2.a.1 definită în capitolul anterior) și a unor algoritmi care permit analiza automată a datelor transmise de senzori (acțiunea 2.a.2 definită în capitolul anterior).

Prin dotarea mașinilor unelte clasice cu senzori, echipamente de transmitere a datelor și legarea la o unitate centrală de control care are implementată o serie de algoritmi simpli, se poate asigura fluxului de producție format din cele trei mașini analizate care lucrează în serie o autonomie în funcționare. Prin această modificare simplă și cu cheltuieli scăzute se poate transforma o mașină unealtă clasică într-un CPPS, problema fiind implementarea algoritmilor care asigură supravegherea procesului de producție și luarea autonomă a deciziilor.

Cele mai multe decizii pe baza monitorizării cu senzorul optic sau cu accelerometru se pot lua autonom, prin implicarea algoritmilor special dezvoltați în acest scop, pentru mașina unealtă supravegheată. Astfel, este posibilă autodiagnoza mașinii cu semnalarea uzurii acesteia sau a sculei și solicitarea intervenției echipei de mentenanță în mod diferențiat, de îndată sau la o oprire programată, în funcție de gravitatea neconformității în funcționare. De asemenea, se poate solicita controlul individualizat al pieselor care sunt susceptibile a fi rebut.

Există și decizii care pot fi luate pentru celelalte mașini din fluxul de producție. Spre exemplu, în cazul raportării unui rebut se poate solicita suplimentarea numărului de semifabricate de la mașina din amonte, cea de debitat în această analiză. O altă decizie care se poate lua autonom privind celelalte mașini este modificarea regimului de funcționare al mașinilor conexe în sensul stabilirii altor funcții obiectiv pentru optimizarea acestor regimuri. Spre exemplu, mașina de sudare, care este a treia în flux, poate fi reprogramată să lucreze cu consum minim de energie în detrimentul vitezei de lucru dacă mașina doi staționează.

Pe lângă luarea deciziilor, monitorizarea procesului cu ajutorul senzorilor și utilizarea algoritmi asigură informații în timp real despre piese, semifabricate, scule dar și despre starea utilajelor. Acestea pot fi de folosite de un grup mare de utilizatori din cadrul firmei, prin accesarea unei game largi de device-uri, fără a fi implicată prezența fizică a acestora în unitatea de producție. De asemenea, informațiile pot fi utilizate de colaboratorii firmei, spre exemplu de o firmă care asigură serviceul utilajelor pentru planificarea și organizarea în cunoștință de cauză a intervențiilor.

Algoritmii destinați monitorizării și controlului proceselor de producție pot fi dezvoltați *a priori* și implementați, urmând ca mai apoi să fi completați pe măsura utilizării acestora și apariției de noi situații în procesele de producție. Este dificil să se imagineze de la început toate scenariile posibile. Un plus de informație poate fi extrasă din datele achiziționate prin procesarea avansată a semnalelor. De exemplu, modul particular în care se modifică spectrul de frecvențe poate indica natura defectului sau uzurii mașinii respectiv a sculelor.

Din analiza datelor obținute în timpul monitorizării mașinilor s-a remarcat faptul că diferiți senzori contribuie la obținerea de informații diferite, ceea ce justifică utilizarea mai multor tipuri de senzori pentru monitorizarea procesului pe o mașină. Informațiile coroborate sunt mult mai bogate și permit o mai bună înțelegere a evoluției procesului de fabricație.

Pentru a studia modul în care o mașină unealtă clasică poate fi transformată într-un CPPS a fost nevoie să concep două sisteme de achiziție a datelor (unul pentru senzorul optic și unul pentru accelerometru) pentru care am dezvoltat și instrumente

virtuale (VI) în programul LabVIEW. În urma derulării experimentelor am identificat o serie de scenarii posibile în procesul de producție pentru care am conceput arbori de clasificare și decizie și am dezvoltat algoritmi ALSO și ALMA.

Algoritmul ALSO poate identifica, pe baza mărimilor de intrare introduse de operator și rezultate din monitorizarea permanentă, următoarele:

- existența piesei de prelucrat în menghina mașinii și dacă aceasta este prinsă corect în dispozitivul de prindere;
- timpul de operare, timpul de staționare datorită lipsei de material, timpul utilizat pentru mentenanță;
- numărul de piese executate și numărul de piese rebutate în orice moment dat
- numărul de piese executate și numărul de piese rebutate la sfârșitul unui interval de timp dinainte definit;
- stocul de semifabricate existent la un moment dat și la sfârșitul perioadei.

În plus, ALSO poate transmite avertizări prin care solicită intervenția echipei de mentenanță și/sau a celei de control al calității produselor. De asemenea, ALSO poate solicita suplimentarea numărului de semifabricate cu care este aprovizionată mașina în cazul apariției pieselor rebutate. Această din urmă avertizare poate fi însoțită de o comandă transmisă mașinii de debitat privind suplimentarea numărului de semifabricate, fără a mai fi nevoie de intervenția umană.

Avantajul utilizării algoritmului ALMA îl reprezintă faptul că poate identifica cu precizie starea mașinii și a sculelor așchietoare și prezice dacă mașina are capacitatea de a rămâne în operare. În plus, el face diferența dintre mașina oprită și mersul în gol dar nu poate face diferența dintre timpul de staționare datorită lipsei de material și cel datorat mentenanței. Funcțiile de cuantificare a producției, rebuturilor și stocurilor, la un moment dat sau pentru o perioadă dată, le poate îndeplini ca și algoritmul ALSO.

Sistemele de monitorizare și algoritmi dezvoltați au certă utilitate în aplicații reale, chiar dacă ne gândim numai la autodiagnoza mașinii unelte. Utilizarea combinată a celor două sisteme de monitorizare, prin cantitatea mare și diversă a datelor colectate, ar permite dezvoltarea unui algoritm mult mai complex, care ar permite o clasificare mult mai precisă a stărilor în care se află produsul și mașina unealtă. Aceasta conduce la o capacitate mai mare de lucru independent de decizia umană, crescând astfel gradul de operare auto-organizată a liniei de producție dar și încrederea personalului în deciziile luate automat de unitatea de comandă.

5. Concluzii, contribuții personale și direcții viitoare de dezvoltare ale cercetărilor

5.1. Concluzii generale

A patra revoluție industrială, cunoscută sub denumirea de Industry 4.0, presupune o nouă abordare a modului de producție și a rețelelor distribuție de bunuri. Totodată, este adusă o nouă perspectivă asupra ofertei de produse, de multe ori bunurile fiind oferite ca servicii. Spre deosebire de revoluțiile industriale anterioare, care presupuneau înlocuirea mijloacelor de producție în folosință, Industry 4.0 presupune investiții mici raportat la valoarea mașinilor și utilajelor existente, care se referă cu precădere la sistemele informatice și de comunicare. Această revoluție industrială are asociată o componentă socială și mai ales una legată de mediu și sustenabilitate.

Analiza modului în care o firmele românești sunt familiarizate cu conceptul Industry 4.0 și modul în care percep tranziția datorată celei de-a patra revoluții industriale a implicat 31 de companii cu activități în domeniile producție și servicii. Analiza a arătat că la nivelul managementului nu este fundamentat conceptul Industry 4.0 și prin urmare în companii nu există o strategie clară de implementare a acțiunilor necesare trecerii la acest sistem. De asemenea, s-a constatat că nu există preocupări privind formarea unor competențe pe această direcție, nici pentru management și nici pentru angajați. Cu toate acestea, firmele indiferent de domeniul de activitate acționează în sensul digitalizării activităților. Prin urmare tehnologiile informației și comunicării asociate cu securitatea cibernetică sunt o preocupare reală, dar rezultată mai degrabă din necesități imediate de integrare în ecosistemul de afaceri. În urma studiului a rezultat și faptul că firmele românești sunt dispuse să adopte conceptul Industry 4.0 și să colaboreze în maniera impusă de acesta.

Studiului efectuat pe cele 31 de firme a reflectat faptul că principalii factorii care motivează managementul să implementeze conceptul Industry 4.0, sunt:

1. Sprijin pentru activități de management
2. Concurența în creștere
3. Productivitate și eficiență economică
4. Așteptările clienților (calitate, diversitate, timp livrare)
5. Utilizarea judicioasă a resurselor (inclusiv energetice)

Ponderea pe care o au diverșii factori motivați, implicit ierarhizarea acestora, corespunde cu rezultatele studiilor efectuate în țări din vecinătate care au avut o dezvoltare economică similară, chiar dacă în aceste țări implementarea Industry 4.0 este mai avansată și există strategii și planuri de implementare la nivel național.

Faptul că suportul activităților de management este considerat ca fiind cel mai relevant factor motivațional de către respondenți, care fac parte din managementul firmelor, arată că există o disponibilitate a managementului referitor la implementarea Industry 4.0 rezultată dintr-o necesitate reală. Deoarece un set de factori puternic motivaționali este legat de aspectele economice, se poate concluziona că firmele românești se consideră vulnerabile în contextul economiei globale.

Au fost de asemenea identificați factorii care pot inhiba implementarea Industry 4.0 și care reflectă principalele temeri ale managementului. Aceștia sunt:

1. Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea
2. Provocări legate de analiza/integrarea datelor din surse disparate
3. Îngrijorare legată de securitatea cibernetică
4. Îngrijorare legată de proprietatea datelor
5. Lipsa resurselor financiare

Studiul efectuat a arătat că principala barieră în implementarea Industry 4.0, inclusiv la firmele care operează în țări din vecinătatea României, este lipsa resursei umane care are competențele și abilitățile necesare pentru a implementa sistemul. În pofida acestei situații, companiile nu fac demersuri în pregătirea angajaților, ceea ce reflectă că această barieră poate fi ușor depășită printr-un program sistematic de training. Aspectele legate de lipsa unor reglementări de ordin juridic și tehnic legate de proprietatea și securitatea datelor constituie un al doilea set de factori care frânează implementarea Industry 4.0. Pentru ridicarea acestor bariere sunt necesare acțiuni la nivelul statului.

Cunoașterea gradului de maturitate al firmei, reflectat de nivel atins pe indicatori relevanți pentru caracterizarea modului de operare al firmei în sensul Industry 4.0, este esențial în stabilirea traseului de urmat. Modul în care se stabilesc nivelele de maturitate pentru un indicator dat poate diferi în funcție de domeniul de activitate al firmei, dar și de așteptările managementului.

Trecerea de la nivelul cel mai scăzut de maturitate la cel mai ridicat nu presupune o evoluție liniară în ceea ce privește consumul de resurse pentru efectuarea acțiunilor necesare. De asemenea, se poate aprecia că evoluția efectelor favorabile nu este liniară și nu reflectă efortul făcut pentru trecerea la un nivel superior. Totuși, parcurgerea unui traseu cu evoluție graduală este singura soluție fezabilă.

Modelul de implementare a conceptului Industry 4.0 în firmele românești, propus în teză, diferă de cele prezentate în literatura de specialitate prin aceea că abordează problema global, spre deosebire de cele existente care se bazează pe elaborarea și implementarea unor proiecte dedicate atingerii obiectivelor punctuale. Această abordare oferă o viziune mai clară asupra etapelor de parcurs și permite identificarea clară a limitărilor impuse acțiunilor, care se referă la cronologie, durată, resurse financiare și resurse umane. Un alt avantaj al utilizării acestui model este acela că prin abordarea unitară a tranziției se elimină redundanțele, adică o serie de intervenții ulterioare și corecții care sunt inevitabile când diferite proiecte se implementează separat.

Un deziderat al Industry 4.0 este trecerea la utilizarea liniilor de producție auto-organizate. Aceasta se poate face cu costuri reduse, chiar și în cazul utilizării unor mașini unelte clasice în fluxul de producție, presupunând doar dotarea mașinilor cu senzori și echipamente de transmitere a datelor. Informațiile legate de mașinile din flux sunt colectate la o unitate centrală de control care are implementată o serie de algoritmi simpli care permit luarea deciziilor. În acest mod se pot lua automat decizii pentru orice mașină din fluxul de producție pe baza informațiilor de la o altă mașină. Spre exemplu, o mașină care a realizat un rebut poate solicita suplimentarea numărului de semifabricate unei mașini din amonte. O altă decizie care se poate lua autonom privind celelalte mașini este modificarea regimului de funcționare al mașinilor conexe în funcție de regimul propriu, în sensul utilizării altor funcții obiectiv pentru optimizarea acestor regimuri (consum minim de timp, consum minim de energie etc.).

Pe lângă luarea autonomă a deciziilor în organizarea producției, mașinile se pot diagnostica singure, pot semnaliza uzura sculelor și pot solicita intervenția echipei de mentenanță de îndată sau la o oprire programată, în funcție de gravitatea neconformității în funcționare. O a treia facilitate pe care o au mașinile unelte

transformate în CCPS este aceea că identifică rebuturile sau pot solicita controlul individualizat al pieselor care sunt susceptibile a fi rebut.

Monitorizarea procesului cu ajutorul senzorilor și utilizarea algoritmiilor asigură informații în timp real despre piese, semifabricate, scule dar și despre starea utilajelor. Acestea pot fi de folosite de un grup mare de utilizatori din cadrul firmei, cu specializări diferite. Accesarea informațiilor și luarea unor eventuale decizii se poate face utilizând o gamă largă de device-uri, fără a fi implicată prezența fizică a utilizatorilor în unitatea de producție. De asemenea, informațiile pot fi utilizate de colaboratorii firmei pentru conducerea propriei firme, spre exemplu pentru organizarea propriei producții sau pentru a planifica reparațiile utilajelor firmei care îi oferă datele.

Chiar dacă ultimele generații de mașinile au în componență o mulțime de senzori, în marea majoritate a cazurilor rolul acestor senzori este limitat la a da informații despre mașină și despre procesul tehnologic în sine. În paradigma Industry 4.0 datele oferite de senzori trebuie să fie mult mai complete, iar prin procesarea lor trebuie extrase informații utile pentru o gamă mai mare de utilizatori (management, producție, mentenanță, contabilitate etc.). Algoritmiile care procesează datele și care permit luarea deciziilor automat/autonom sau cu implicarea factorului pot fi dezvoltate și implementate la început pentru a satisface scopuri specifice. Ulterior, aceștia pot fi validați și completați pe măsura utilizării, ținând cont de apariția unor situații în procesele de producție care nu au fost anticipate. Chiar dacă sunt concepuți inițial separat, algoritmiile trebuie să poată fi finalmente integrați, iar utilizarea datelor din diverse surse să fie posibilă.

5.2. Contribuții personale

Cercetarea efectuată pentru elaborarea tezei de doctorat a fost orientată spre rezolvarea obiectivelor propuse inițial și prezentate în capitolul întâi. Principalele contribuțiile originale rezultate în urma cercetării sunt:

- Analiza literaturii științifice și a documentelor normative care se referă la implementarea sistemului Industry 4.0 în firme și a modelelor actuale privind tranziția digitală;
- Definirea și ierarhizarea în funcție de relevanță a principalilor factori care pot stimula managementul firmelor românești să grăbească implementarea sistemului Industry 4.0;
- Identificarea principalelor bariere care pot frâna implementarea sistemului Industry 4.0 și ierarhizarea acestora în funcție de percepția managerilor firmelor românești;
- Stabilirea unui sistem compus din 33 de indicatori de maturitate structurat pe șase domenii adaptat firmei analizate și definirea indicatorilor caracteristici celor patru nivele de maturitate;
- Stabilirea nivelurilor țintă de maturitate pe domenii și indicatori;
- Definirea acțiunilor necesare a fi derulate pentru implementarea Industry 4.0 și identificarea limitărilor existente în procesul de implementare;
- Definirea unui model de implementare a Industry 4.0 și exemplificarea utilizării acestuia prin stabilirea ordinii implementării acțiunilor în funcție de limitările identificate și de resursele disponibile;
- Definirea unor reguli de priorizare a acțiunilor desfășurate în vederea stabilirii celui mai rațional traseu de implementare a Industry 4.0

- Dezvoltarea unui echipament care permite transformarea unei mașini clasice în sistem cyber-fizic și stabilirea unor algoritmi de analiză și raportare a evenimentelor;
- Diseminarea rezultatelor cu caracter științific și practic obținute în urma cercetării.

5.3. Diseminarea rezultatelor cercetării

Rezultatele cercetărilor au fost publicate în reviste de specialitate (3 articole în reviste indexate ISI și 3 în reviste indexate BDI) și în volume ale conferințelor de profil (1 indexat ISI, 2 indexate Scopus și 1 indexat BDI). Lista lucrărilor care au ca tematică elemente din teză este prezentată în continuare.

A. Articole în reviste

Gillich EV, Nedelcu D, Popescu C, Self-management of machines in smart factories via advanced algorithms, *Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu-Jiu. Engineering Series 1*, 2019, pp. 65-69 ([Index Copernicus](#))

Gillich EV, Mocan M, Mituletu IC, Korka ZI, Process Monitoring in Precision Machining using Optical Sensors, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration 14 (1)*, 2017, pp. 50-53 ([ISI](#))

Hațiegan C, **Gillich EV**, Vasile O, Nedeloni MD, Pădureanu I, Finite Element Analysis of thin plates clamped on the rim of different geometric forms. Part I: Simulating the Vibration Mode Shapes and Natural Frequencies, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration 12(1)*, 2015, pp. 69-74 ([ISI](#))

Hațiegan C, **Gillich EV**, Vasile O, Nedeloni MD, Jurcu M, Magheti P, Finite Element Analysis of thin plates clamped on the rim of different geometric forms. Part II: The Absolute and Relative Variation of Natural Frequencies, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration 12(1)*, 2015, pp. 81-86 ([ISI](#))

Muntean F, Hatiegan C, Popescu C, **Gillich EV**, Iancu V, Study regarding the determining of the natural frequencies and modal shapes of the column type structures with additional mass, *Annals of the „Constantin Brâncuși” University of Târgu-Jiu. Engineering Series 3*, 2015, pp. 52-55 ([Index Copernicus](#))

Nedelcu D, **Gillich EV**, Iancu V, Muntean F, Theoretical and Experimental Research Performed on the Tesla Turbine – Part II, *Analele Universitatii "Eftimie Murgu". Fascicula de Inginerie 22(2)*, 2015, pp. 264-272 ([Index Copernicus](#))

B. Lucrări în volume ale conferințelor

Gillich EV, Mocan M, Korka ZI, Gillich GR, Hamat CO, Real-time assessment of machine performance through the use of an intelligent sensorial system, The 10th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering (KOD 2018) 6–8 June 2018, Novi Sad, Serbia, Publicat in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 393, 2018, Art.ID 012082 ([Scopus](#))

Mocan M, **Gillich EV**, Mituletu IC, Korka ZI, An evolutionary sensor approach for self-organizing production chains, International Conference on Applied Sciences

(ICAS2017) 10–12 May 2017, Hunedoara, Romania, Publicat in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 294, 2017, Art.ID 012092 (Scopus)

Gillich EV, Mocan M, Cei nouă piloni ai noii revoluții industriale – INDUSTRY 4.0, publicat in *Știința si Inginerie* 31, 2017,

Negru I, Gillich GR, Praisach ZI, Tufoi M, **Gillich EV**, Nondestructive evaluation of piers, *Health Monitoring of Structural and Biological Systems 2015*, 2015, Art.ID 943817 (ISI)

5.4. Direcții viitoare de cercetare

Cercetările efectuate pe parcursul studiilor doctorale au condus la elaborarea unui model de tranziție la sistemul Industry 4.0 aplicabil unei firme medii care activează în domeniul producției de echipamente electrice. Datele avute la dispoziție au fost relevante și durata studiului suficient de concentrată pentru a se putea genera o imagine de ansamblu asupra firmei și a mediului în care activează.

O direcție pentru cercetări ulterioare se referă la stabilirea viabilității metodologiei și efectuarea de corectări sau calibrări în urma monitorizării modului de implementare în contextul transformărilor tehnologice actuale și ale derulării proceselor într-un mediu economic aflat într-o dinamică continuă.

Cercetările din prezenta teză deschid de asemenea o direcție de cercetare legată de găsirea unor algoritmi de analiză a datelor, eventual cu includerea de elemente de inteligență artificială, care să permită luarea automată a deciziilor pentru structuri de producție mai complexe.

Bibliografie

1. Adolph S., Tisch M., Metternich J.: Challenges and approaches to competency development for future production, *Educational Alternatives*, Vol. 12, 2014, pp. 1001–1010.
2. Ahiawodzi A.K., Adade T.C.: Access to credit and growth of small and medium scale enterprises in the Ho municipality of Ghana, *British Journal of Economics, Finance and Management*, Vol. 6, 2012, pp. 34-51.
3. Akatkin Y.M., Karpov O.E., Konyavskiy V.A., Yasinovskaya E.D.: *Digital economy: Conceptual architecture of a digital economic sector ecosystem*, Business Informatics, Vol. 4, Nr. 42, 2017, pp. 17-28.
4. Albert M.: Seven things to know about the Internet of Things and Industry 4.0., *Modern Machine Shop*, 2015.
5. Arlbjørn J.S., Mikkelsen O.S.: Backshoring manufacturing: Notes on an important but under-researched theme, *Journal of Purchasing & Supply Management*, Vol. 20, Nr. 1, 2014, pp. 60-62.
6. Arnold C., Kiel D., Voigt K.I.: The Driving Role of the Industrial Internet of Things for Strategic Change: The Case of Electronic Engineering Business Models, *Proceedings of the 24th Innovation and Product Development Management Conference (IPDMC)*, Reykjavik, Iceland, 11–13 June 2017.
7. Atkeson A., Kehoe P.J.: The transition to a new economy after the second industrial revolution, *National Bureau of Economic Research*, Vol. w8676, November 2001.
8. Baker M.: Digital transformation, *CreateSpace Independent Publishing Platform*, 2014.
9. Bauer W., Hämmerle M., Schlund S., Vocke C.: Transforming to a hyper-connected society and economy – towards an “Industry 4.0”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 3, 2015, pp. 417–424.
10. Basl J.: Pilot study of readiness of Czech companies to implement the principles of Industry 4.0, *Management and Production Engineering Review*, Vol. 8, Nr. 2, 2017, pp. 3–8.
11. Bauernhansl T.: Die vierte industrielle Revolution. Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma, *Industrie 4.0, Produktion, Automatisierung und Logistik*, Springer, Wiesbaden, 2014, pp. 3-35.
12. Bogdanova S.V., Kozel I.V., Ermolina L.V., Litvinova T.N.: Management of small innovational enterprise under the conditions of global competition: Possibilities and threats, *European Research Studies Journal*, Vol. 19, Nr. 2 Special Issue, 2016, pp. 268-275.
13. Bogoviz A.V., Ragulina Y.V., Kutukova E.S.: Ways to improve the economic efficiency of investment policy and their economic justification, *International Journal of Applied Business and Economic Research*, Vol. 15, Nr. 11, 2017, pp. 275-285.

14. Brettel M., Friederichsen N., Keller M., Rosenberg M.: How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol. 8, Nr. 1, 2014, pp.37-44.
15. Brynjolfsson E., McAfee A.: Race Against the Machine: How the Digital Revolution is Accelerating Innovation, Driving Productivity, and Irreversibly, Transforming Employment and the Economy, *Digital Frontier Press Lexington, Massachusetts*, 2011.
16. Bughin J., Hazan E., Labaye E., Manyika J., Dahlström P., Ramaswamy S., Cochin de Billy C.: Digital Europe: Pushing the frontier, capturing the benefits, *McKinsey Global Institute, Report*, June 2016.
17. Cadix A., Industrie du futur: du système technique 4.0 au système social, *Rapport de l'Académie des technologies*, 8 novembre 2017.
18. Chiu Y.-C., Cheng F.-T., Huang H.-C.: Developing a factory-wide intelligent predictive maintenance system based on Industry 4.0. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A/Chung-kuo Kung Ch'eng Hsueh K'an*, 2017, pp. 1-10.
19. Choudhary S., Nayak R., Dora M., Mishra N., Ghadge A.: An integrated lean and green approach for improving sustainability performance: a case study of a packaging manufacturing SME in the UK, *Production Planning & Control*, Vol. 30, Nr. 5-6, 2019, pp. 353-368.
20. Chowdhury C.: Adoption of Industry 4.0 in India-Opportunities&Challenges, online course - descărcat de la <https://slideplayer.com/slide/13627692/> la 3.11.2018
21. Cimini C., Pinto R., Cavalieri S.: The business transformation towards smart manufacturing: a literature overview about reference models and research agenda, *IFAC PapersOnLine*, Vol. 50, Nr. 1, 2017a, pp. 14952-14957.
22. Cimini C., Pinto R., Pezzotta G., Gaiardelli P.: The transition towards Industry 4.0: business opportunities and expected impacts for suppliers and manufacturers, *IFIP Advances in Information and Communication Technology book series*, Vol. 513, 2017b, pp. 119-126.
23. Cotteleer M., Mahto M., Murphy R.: The strategy paradox. A defensive position on digital transformation, *Deloitte Insights - The Industry 4.0 paradox. Overcoming disconnects on the path to digital transformation*, 2018.
24. Erol S., Jäger A., Hold P., Ott K., Sihn W.: Tangible industry 4.0: A scenario-based approach to learning for the future of production, *Procedia CIRP*, Vol. 54, 2016, pp. 13-18.
25. Fonseca L.M.: Industry 4.0 and the digital society: concepts, dimensions and envisioned benefits, *Proceedings of the 12th International Conference on Business Excellence*, 2018, pp. 386-397.
26. Geissbauer R., Schrauf S., Koch V., Kuge S.: Industry 4.0 – Oportunities and Challenges of the Industrial Internet, *Pricewaterhouse Coopers Aktiengesellschaft Wirtschaftspruefgesellschaft*, 2014, 52 pag.

27. **Gillich E.V.**, Mocan M., Korca Z.I., Gillich G.R., Hamat C.O.: Real-time assessment of machine performance through the use of an intelligent sensorial system, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 393, Nr. 1, 2018, Art. 012082.
28. **Gillich E.V.**, Mocan M., Mituletu I.C., Korca Z.I.: Process monitoring in precision machining using optical sensors, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 14, Nr. 1, 2017, pp. 50-53.
29. Golafshani N.: Understanding reliability and validity in qualitative research, *The Qualitative Report*, Vol. 8, Nr. 4, 2003, pp. 597-606.
30. Gorecky D., Schmitt M., Loskyll M., Zühlke D.: Human-Machine-Interaction in the Industry 4.0 Era, *12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2014, pp. 289-294.
31. Gracel J., Łebkowski P.: Concept of Industry 4.0 related manufacturing technology maturity model (ManuTech Maturity Model, MTMM), *International Conference on Decision Making Manufacturing and Services*, September 2017, Zakopane, Poland.
32. Hartweg E.: Smart Factories – Self-Organizing Production Units, POMS 25th Annual Conference, Atlanta, USA, 9-12 May 2014.
33. Hecklau F., Galeitzke M., Flachs S., Kohl H.: Holistic approach for human resource management in Industry 4.0, *Procedia CIRP*, Vol. 54, 2016, pp. 1-6.
34. Hermann M., Pentek T., Otto B.: Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, *49th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2016.
35. Heurix J., Zimmermann P., Neubauer T., Fenz S.: A taxonomy for privacy enhancing technologies, *Computers & Security*, Vol. 53, 2015, pp. 1-17.
36. Horváth D., Szabó R.: Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.146, 2019, pp. 119-132.
37. Holtkamp B., Iyer A.: Industrie 4.0 The Future of Indo-German Industrial Collaboration, *Raport pentru Bertelsmann Stiftung*, Noiembrie 2017.
38. ten Hompel M., Otto B.: Technik für die wandlungsfähige Logistik. Industrie 4.0, *23^{ter} Deutscher Materialfluss-Kongress*, 2014.
39. Hortoványi L.: The dynamic nature of competitive advantage of the firm, *Advances in Economics and Business*, Vol. 4, Nr. 11, 2016, 624-629.
40. Hounshell D.: From the American system to mass production, 1800-1932: The development of manufacturing technology in the United States, *The Johns Hopkins University Press*, Baltimore/London, 1985.
41. Huang B., Li C., Yin C., Zhao X.: Cloud manufacturing service platform for small- and medium-sized enterprises, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 65, 2013, pp. 1261-1272.
42. Hughes T.P.: Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930, *The Johns Hopkins University Press*, Baltimore, 1993.

43. Inezari A., Gressel S.: Information and reformation in KM systems: big data and strategic decision-making, *Journal of Knowledge Management*, Vol. 21, Nr. 1, 2017, pp. 71–91.
44. Jeong Eun Ha: *Smart Industry in Korea*, Report for Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, September 27, 2015.
45. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J.: *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Frankfurt: Acatech-National Academy of Science and Engineering, 2013.
46. Kagermann H.: Change through digitization—value creation in the age of industry 4.0, *Management of Permanent Change*, 2015, pp. 23–45.
47. Kang H., Lee J., Choi S., Kim H., Park J., Son J., Kim H., Noh S.: Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 2016, pp.111–128.
48. Karre H., Hammer M., Kleindienst M., Ramsauer C.: Transition towards an Industry 4.0 state of the LeanLab at Graz University of Technology, *Procedia Manufacturing*, Vol. 9, 2017, pp. 206–213.
49. Khan S.: Leadership in the Digital Age - a study on the effects of digitalization on top management leadership, *MSc Thesis, Stockholm Business School*, 2017.
50. Khanzode A.G., Sarma P.R.S., Mangla S.K., Yuan H.: Modeling the Industry 4.0 adoption for sustainable production in Micro, Small & Medium Enterprises, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 279, 2021, art. 123489.
51. Kiel D., Müller J., Arnold C., Voigt K.I.: Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0, *International Journal of Innovation and Management*, Vol. 21, Nr. 8, 2017, art. 1799001.
52. Kiesler S. Hinds P.: Human-robot Interaction, *CRC Press*, 2004.
53. Lanza G., Nyhuis P., Ansari S.M., Kuprat T., Liebrecht C.: Befähigungs- und Einführungsstrategien für Industrie 4.0, *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Vil. 111, Nr. 1-2, 2016, pp. 76–79.
54. Larosse J.: Analysis of national initiatives on digitising European industry. Belgium, *Report produced for DG CNECT*, Revised on October 10th, 2017.
55. Larosse J.: Analysis of national initiatives on digitising European industry. The Netherlands: Smart Industry, *Report produced for DG CNECT*, Revised on October 10th, 2017.
56. Lasi H., Kemper H.G., Fettke P., Feld T., Hoffmann M.: Industry 4.0, *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 6, Nr. 4, 2014, pp. 239–242.
57. Laudien S.M., Spieth P., Clauß T.: Digitalization as Driver of Business Model Innovation: An Exploratory Analysis. *Proceedings of the 28th International Society for Professional Innovation Management (ISPIM) Conference*, Vienna, Austria, 18–21 June 2017.

58. Lazaro O.: Analysis of National Initiatives for Digitising Industry. Spain: Industria Conectada 4.0, *EU report*, 2017.
59. Lee J.: Smart Factory Systems, *Informatik-Spektrum*, Vol. 38, Nr. 3, 2015, pp.230-235.
60. von Leipzig T., Gamp M., Manz D., Schöttle K., Ohlhausen P., Oosthuizen G., Palm D., von Leipzig K.: Initialising customer-orientated digital transformation in enterprises, *Procedia Manufacturing*, Vol. 8, 2017, pp. 517–524.
61. Liao Y., Loures E.R., Deschamps F., Brezinski G., Venâncio A.: The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison, *Production*, Vol. 28, 2018, art. e20180061.
62. Lichtblau K., Stich V., Bertenrath R., Blum M., Bleider M., Millack A., Schmitt K., Schmitz E., Schröter M.: IMPULS - Industrie 4.0-Readiness, *Impuls-Stiftung des VDMA*, Aachen-Köln, 2015.
63. Lins T., Oliveira R.A.R.: Energy efficiency in Industry 4.0 using SDN, *IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 24-26 iulie, 2017, pp. 609–614.
64. Lucke D., Constantinescu C., Westkämper E., Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing, *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, Springer, London, 2008, pp. 115-118.
65. Manyika J., Ramaswamy S., Khanna S., Sarrazin H., Pinkus G., Sethupathy G., Yaffe A.: Digital America: A tale of the haves and have-mores, *McKinsey Global Institute, Report*, December 2015.
66. Martin-Montes A., Burbano M., Leon C.: Efficient services in the industry 4.0 and intelligent management network, :, Edinburgh, UK, 2017, pp. 1495-1500.
67. Mattauch W.: Digitising European Industries - Member States Profile: Poland, *EU Report*, 2017.
68. McKinsey & Company: Industry 4.0 after the Initial Hype: Where Manufacturers Are Finding Value and how they Can Best Capture it, *Value Report*, 2016.
69. Mocan M., **Gillich E.V.**, Mituletu I.C., Korca Z.I.: An evolutionary sensor approach for self-organizing production chains, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 294, Nr. 1, 2018, art. 012092.
70. Moeuf A., Pellerin R., Lamouri S., Tamayo-Giraldo S., Barbaray R.: The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0, *International Journal of Production Research*, Vol. 56, Nr. 3, 2018, pp. 1118-1136.
71. Mokyr J., (1985). *The New Economic History and The Industrial Revolution*, Rowan & Littlefield Publishers Inc., USA.
72. Mokyr J., Strotz R.: The Second Industrial Revolution, 1870-1914, *North-western University Report*, 1998.
73. Mol-Gomez-Vazquez A., Hernandez-Canovas G., Koeter-Kant J.: Bank market power and the intensity of borrower discouragement: analysis of SMEs across developed and developing European countries, *Small Business Economics*, Vol. 53, 2019, pp. 211-225.

74. Morrar R., Arman H., Mousa S.: The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective, *Technology Innovation Management Review*, Vol. 7, Nr. 11, 2017, pp. 12-20.
75. Mowery D., Rosenberg N.: *Technology and the pursuit of economic growth*, Cambridge University Press, 1989.
76. Müller J.M., Kiel D., Voigt K.I.: What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability, *Sustainability*, Vol. 10, 2018a, art. 247.
77. Müller M.J., Buliga O., Voigt K.I.: Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132, 2018b, pp. 2-17.
78. NISC: "Vision of New Industrial Structure" - Japan's strategies for taking the lead in the Fourth Industrial Revolution, *New Industrial Structure Committee Interim Report*, April 27th, 2016.
79. Nof S.Y.: *Springer Handbook of Automation*, Springer Science & Business Media, 2009.
80. Paritala P.K., Manchikatta S., Yarlagadda P.K.: Digital manufacturing - applications past, current, and future trends, *Procedia Engineering*, Vol. 174, 2016, pp. 982-991.
81. Park S.: *Development of Innovative Strategies for the Korean Manufacturing Industry by Use of the Connected Smart Factory (CSF)*, *Procedia Computer Science*, Vol. 91, 2016, pp. 744-750.
82. Patel K., McCarthy M.P.: *Digital Transformation: The Essentials of E-Business Leadership*, McGraw-Hill Inc., 2000
83. Patton M.Q.: *Qualitative Evaluation and Research Methods*, Editia a III-a, SAGE Publications, 2002.
84. Pinceti P.: Il background tecnologico e normativo di Industria 4.0, *CEIm - Rivista online di informazione del Comitato Elettrotecnico Italiano*, 2018.
85. Riviezzo, A., Santos, S.C., Liñan, F., Napolitano, M.R., Fusco, F.: European universities seeking entrepreneurial paths: the moderating effect of contextual variables on the entrepreneurial orientation-performance relationship, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 141, 2019, pp. 232-248.
86. Roblek V., Meško M., Krapež A.: A complex view of Industry 4.0, *SAGE Open*, Vol. 6, Nr. 2, 2016.
87. Rojko A.: Industry 4.0 Concept: Background and Overview, *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, Vol. 11, nr. 5, 2017, pp. 77-90.
88. Schlaepfer R., Koch M.: Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies, *Deloitte Report*, 2015
89. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., ten Hompel M., Wahlster W.: *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies*, *acatech STUDY*, 2017.

90. Schumacher A., Erol S., Sihn W.: A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises, *Procedia CIRP*, Vol. 52, 2016, pp. 161 – 166.
91. Sommer L.: Industrial revolution-industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?, *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol. 8, nr. 5, 2015, pp. 1512–1532.
92. Sondhi B.: How illusive networks technology supports GDPR, *Coalfire Systems Inc. White paper*, 2018.
93. de Sousa Jabbour A.B.L., Jabbour C.J.C., Foropon C., Filho M.G.: When titans meet – can Industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 132, 2018, 18–25.
94. Stavropoulos P., Chantzis D., Doukas C., Papacharalampopoulos A., Chryssolouris G.: Monitoring and control of manufacturing processes: A review, *Procedia CIRP*, Vol. 8, 2013, pp. 421–425.
95. Stentoft J., Wikstrom K.A., Philipsen K., Haug A.: Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers, *Production Planning & Control - The Management of Operations*, Vol. 32, Nr. 10, 2019, pp. 811-828.
96. Stojmenovic I.: Fog computing: A cloud to the ground support for smart things and machine-to-machine networks, *2014 Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC)*, Melbourne, Australia, 26-28 Noiembrie, 2014.
97. Szabo R.Z., Vuksanović Herceg I., Hanák R., Hortovanyi L., Romanová A., Mocan M., Djuričin D.: Industry 4.0 Implementation in B2B Companies: Cross-Country Empirical Evidence on Digital Transformation in the CEE Region, *Sustainability*, Vol. 12, 2020, art. 9538.
98. Szalavetz A.: Industry 4.0 and capability development in manufacturing subsidiaries, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 145, 2019, pp. 384-395.
99. TASS: *Russian government allocates \$53.14 mln for 'Digital Economy' program*, TASS Russian News Agency, March 31, 2018.
100. Trappey A.J.C., Trappey C.V., Govindarajan U.H., Chuang A.C., Sun J.J.: A review of essential standards and patent landscapes for the Internet of Things: A key enabler for Industry 4.0, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 33, 2017, pp. 208-229.
101. Ustundag A., Cevikcan E.: Industry 4.0: Managing the Digital Transformation, *Springer Series in Advanced Manufacturing*, Springer International Publishing, 2017.
102. Vey K., Fandel-Meyer T., Zipp J.S., Schneider C.: Learning & development in times of digital transformation: facilitating a culture of change and innovation, *International Journal of Advanced Corporate Learning*, Vol. 10, Nr. 1, 2017, pp. 22-32.

103. Vogel-Heuser B., Hess D.: Guest editorial Industry 4.0–prerequisites and visions, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 13, Nr. 2, 2016, pp. 411–413.
104. Vuorikari R., Punie Y., Carretero S., Van Den Brande L.: DigComp 2.0: the digital competence framework for citizens. Update phase 1: the conceptual reference model, *EU Commission, JRC Publication Repository*, 2016. doi: 10.2791/11517.
105. Walendowski J., Kroll H., Schnabl E.: Advanced Materials (Nanotechnology), *Regional Innovation Monitor Plus 2016: Thematic Paper 3-Industry 4.0*, European Commission, 2016.
106. Weber R.H., Studer E.: Cybersecurity in the internet of things: legal aspects, *Computer Law & Security Review*, Vol. 32, 2016., pp. 715–728.
107. Wübbecke J., Meissner M., Zenglein M., Ives J., Conrad B.: Made in China 2025. The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries, *Mercator Institute for China Studies*, Berlin, 2016.
108. Zuehlke D.: SmartFactory - Towards a factory-of things, *Annual Reviews in Control*, Vol. 34, 2010, pp. 129–138.
109. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/cordination-european-national-regional-initiatives> - pagina web accesată în noiembrie 2017.
110. <https://www.listafirme.ro/cautare-avansata.asp> - pagina web accesată în iunie 2017.
111. ISO 22400-1:2014, Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management — Part 1: Overview, concepts and terminology
112. ISO 22400-2:2014, Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management — Part 2: Definitions and descriptions
113. Recomandarea 2003/361/CE privind definirea microîntreprinderilor și a întreprinderilor mici și mijlocii transpusă în legislația națională prin OG 27/2006 aprobat prin legea 175/2006
114. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, A/42/427, 1987

Anexa 1

Lista țărilor din UE care au inițiative naționale de implementare a conceptului Industry 4.0

- Austria: [Industrie 4.0 Oesterreich](#) -
- Belgia: [Made different – Factories of the future](#)
- Republica Cehă: [Průmysl 4.0](#)
- Germania: [Industrie 4.0](#)
- Danemarca: [Manufacturing Academy of Denmark \(MADE\)](#)
- Spania: [Industria Conectada 4.0](#)
- Franța: [Alliance pour l'Industrie du Futur](#)
- Ungaria: [IPAR4.0 National Technology Initiative](#)
- Italia: [Industria 4.0](#)
- Lituania: [Pramonė 4.0](#)
- Luxemburg: [Digital For Industry Luxembourg](#)
- Țările de Jos: [Smart Industry](#)
- Polonia: [Initiative and Platform Industry 4.0](#)
- Portugalia: [Indústria 4.0](#)
- Suedia: [Smart Industry](#)



Anexa 2

Lista firmelor la care au fost aplicate chestionare privind modul în care implementează conceptul Industry 4.0

Nr. crt.	Domeniu de activitate	Codificare firmă	Cifra de afaceri	Nr. angajați
1	Producție- electronice	Producție 1	3,200,000,000	4100
2	Comerț	Comerț 1	53,000,000	98
3	Producție- electrotehnice	Producție 2	280,000,000	1080
4	Producție- mecanice	Producție 3	310,000,000	242
5	Producție- electronice	Producție 4	6,500,000	50
6	Producție- electrotehnice	Producție 5	73,000,000	291
7	Servicii	Servicii 1	3,500,000,000	175
8	Construcții	Construcții 1	17,000,000	98
9	Producție- electronice	Producție 6	790,000,000	3044
10	Comerț	Comerț 2	50,000,000	54
11	Comerț	Comerț 3	15,000,000	7
12	Producție- plastice	Producție 7	9,500,000	23
13	Comerț	Comerț 4	135,000,000	130
14	Producție- mecanice	Producție 8	490,000,000	1447
15	Comerț	Comerț 5	70,000,000	101
16	Servicii	Servicii 2	10,800,000	809
17	Producție- electrotehnice	Producție 9	20,000,000	109
18	Comerț	Comerț 6	100,000	1
19	Producție- materiale	Producție 10	48,000,000	234
20	Automotive	Automotive 1	24,000,000,000	14723
21	Servicii	Servicii 3	1,800,000,000	12782
22	Producție- materiale	Producție 11	80,000,000	100
23	Producție- materiale	Producție 12	700,000,000	780
24	Construcții metalice	Construcții 2	9,500,000	40
25	Construcții metalice	Construcții 3	12,000,000	85
26	Automotive	Automotive 2	140,000,000	790
27	Producție- mecanice	Producție 13	10,000,000	100
28	Producție- electrotehnice	Producție 14	40,000,000	180
29	Consultanță	Servicii 4	2,500,000	15
30	Producție- mecanice	Producție 15	12,500,000	90
31	Producție- electrotehnice	Producție 16	58,000,000	175

* Datele se referă la anul 2018

Anexa 3

Chestionar Industry 4.0

I. Informații generale privind compania și respondentii

1. Numele companiei: _____
2. Cod fiscal: _____
3. Care este domeniul de activitate al companiei?

4. În ce an a fost înființată compania? _____
5. Câți angajați are în prezent compania? _____
Vă rugăm să considerați și angajații cu fracțiune de normă
6. Care a fost cifra de afaceri în ultimul an? _____ lei
7. Cât de inovatoare sunt produsele companiei dumneavoastră în raport cu concurența? _____
Indicați un număr de la 0 (cel mai puțin inovatoare) la 10 (cele mai inovatoare)
8. Genul?
 Feminin Masculin Prefer să nu răspund
9. În ce domeniu activați în cadrul firmei?
 - a. Top management
 - b. Producție
 - c. Proiectare/dezvoltare de produs
 - d. Vânzări și marketing
 - e. Financiar-contabil
 - f. Logistică
10. Câți ani de experiență aveți? Vă rugăm să luați în considerare primul loc de muncă cu normă întreagă. _____ ani
11. De când lucrați în această companie? _____ ani
12. De când ocupați poziția actuală în cadrul companiei? _____ ani

II. Percepția privind conceptului Industry 4.0**13. Cât de cunoscut este conceptul Industry 4.0 în compania dumneavoastră?**

- a. majoritatea angajaților cunosc conceptul
- b. majoritatea personalului de conducere cunoaște conceptul
- c. doar un număr mic de personalului de conducere cunoaște conceptul
- d. conceptul este necunoscut
- e. nu știu în ce măsură conceptul este cunoscut

14. Există o strategie organizațională privind implementarea conceptului Industry 4.0 în compania dumneavoastră?

- a. există o strategie - conceptul este în curs de implementare
- b. există o strategie asumată, dar nu a început implementarea acesteia
- c. se lucrează cu un consultant pentru elaborarea strategiei
- d. nu există o strategie de implementare a conceptului
- e. conceptul este necunoscut
- f. se organizează cursuri de formare privind conceptul

Se pot alege mai multe răspunsuri

15. Vă rugăm să marcați cele mai importante trei domenii/aspecte ale Industry 4.0 care se regăsesc în compania dumneavoastră:

- a. Sisteme cyber-fizice
- b. Tehnologii avansate - prototipare rapidă
- c. Digitizarea – comunicare și colectare date
- d. Cloud computing
- e. Analiza Big data
- f. Modelare și simulare – procese și produse/tehnologii
- g. Securitate cibernetică
- h. Altele: (vă rugăm să specificați) _____

Acordați 3 puncte pentru cel mai important domeniu și descrescător pentru cele mai puțin importante.

III. Industry 4.0: forte motrice și bariere

16. În opinia dumneavoastră, care sunt factorii care stimulează implementarea Industry 4.0?

Factorul	Punctaj*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concurența în creștere	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Productivitate și eficiență economică	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utilizarea judicioasă a resurselor (inclusiv energetice)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Așteptările clienților (calitate, diversitate, timp livrare)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Creștere nivelului de inovare al produselor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Crearea valorii prin noi servicii	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Srijin pentru activități de management	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inovarea privind modelul de afaceri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Satisfacerea nevoilor angajaților	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dezvoltarea durabilă	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

*Acordați fiecărui factor de dinamizare a implementării Industry 4.0 un punctaj de la 1 la 10 (1 = cel mai puțin important ... 10 = cel mai important)

17. În opinia dumneavoastră, care sunt barierele în implementarea Industry 4.0?

Factorul	Punctaj*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rezistență organizațională – opoziție la schimbare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipsa resursei umane necesare pentru a determina schimbarea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipsa resurselor financiare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Îngrijorare legată de securitatea cibernetică	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Îngrijorare legată de proprietatea datelor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Provocări legate de analiza/ integrarea datelor din surse disparate	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipsa voinței de a face parte din lanțuri de producție	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipsa unei platforme de colaborare între organizații	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipsa echipamentelor și tehnologiilor necesare implementării schimbării	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lipsa modelelor de business sau a exemplurilor de bune practici	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

*Acordați fiecărui factor care frânează implementarea Industry 4.0 un punctaj de la 1 la 10 (1 = cel mai puțin important ... 10 = cel mai important)

Anexa 4

Nivelul de maturitate al FIRMEI - imagine globală



