

Vladimír Mařík, Robert Keil a kol.

PRŮMYSL

4.0

**Základ
ekonomické
transformace ČR**

MANAGEMENT PRESS

mp

Průmysl 4.0

Základ ekonomické transformace ČR

Vyšlo také v tištěné verzi

Objednat můžete na
www.mgmtpress.cz
www.albatrosmedia.cz

MANAGEMENT PRESS



Vladimír Mařík, Robert Keil a kol.
Průmysl 4.0 – Základ ekonomické transformace ČR – e-kniha
Copyright © Albatros Media a. s., 2024

Všechna práva vyhrazena.
Žádná část této publikace nesmí být rozšiřována
bez písemného souhlasu majitelů práv.

ALBATROS  **MEDIA**

Průmysl 4.0: Základ ekonomické transformace ČR

Vladimír Mařík, Robert Keil a kol.

Tato publikace vychází s laskavým přispěním:
České vysoké učení technické v Praze, Siemens, s.r.o.,
CertiCon, a.s. a Česká spořitelna, a.s.

Seznam autorů a spoluautorů

Koordinátoři a editoři publikace

prof. Ing. Vladimír Mařík, DrSc., dr. h. c., vědecký ředitel, CIIRC ČVUT v Praze
Bc. et. Bc. et. Bc. Robert Keil, ředitel, Národní centrum Průmyslu 4.0

Garanti kapitol a redakční tým publikace

Ing. Pavel Burget, Ph.D., ředitel, RICAIP Testbed pro Průmysl 4.0, CIIRC ČVUT v Praze
Ing. Věra Czesaná, CSc., Národní vzdělávací fond, o. p. s.
Jana Polášek Filová, Ph.D., MSc., Škoda Auto a. s.
Ing. Jiří Holoubek, prezident, Elektrotechnická asociace ČR
doc. Ing. Petr Kadera, Ph.D., CIIRC ČVUT v Praze
PhDr. Miroslava Kopicová, ředitelka, Národní vzdělávací fond, o. p. s.
Ing. Eduard Palíšek, Ph.D., MBA, generální ředitel, Siemens, s. r. o.
Ing. Bc. František Podzimek, ředitel pro Digitální podnik, Siemens, s. r. o.
Ing. Oto Sládek, Ph.D., generální ředitel, KyberTec, s. r. o.
Ing. Petr Sochor, Siemens, s. r. o.
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c., proděkan, FD ČVUT v Praze
Mgr. Tereza Šamanová, výkonná ředitelka, CzechInno, z. s. p. o.
prof. Ing. Boris Šimák, CSc., FEL ČVUT v Praze
PhDr. Helena Úlovcová, Hospodářská komora ČR
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc., FS ČVUT v Praze
doc. Mgr. Vít Vondrák, Ph.D., ředitel IT4Innovations, VŠB-TU Ostrava

Další spoluautoři:

doc. Ing. Jakub Arm, Ph.D., VUT v Brně
Ing. Petr Bartošík, šéfredaktor, Automa - časopis pro automatizační techniku
Ing. Jiří Bavor, Eviden
Ing. Libor Beránek, Ph.D., FS ČVUT v Praze
Ing. Jan Bezdiček, Ph.D., ředitel pro systémovou architekturu, Rockwell Automation
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D., FEng., FSI VUT v Brně
Ing. Jiří Braňka, Národní vzdělávací fond, o.p.s.
Ing. Taťána Bujnochová, T-Mobile Czech Republic
Ing. Jaroslav Burčík, Ph.D., LL.M., FEL ČVUT v Praze
Mgr. Pavel Csank, předseda představenstva, Moravskoslezské inovační centrum Ostrava (MSIC)
Ing. Vladimír Dáňa, CIIRC ČVUT v Praze
Mgr. Petr Dovolil, PwC
doc. Ing. Milan Edl, Ph.D., děkan, FS ZČU v Plzni
Ing. Tomáš Froněk, Siemens, s.r.o.
Ing. et. Ing. Karel Galuška LL.M., T-Mobile Czech Republic
Ing. Petr Gaman, technický ředitel, Patric

Ing. Vít Hadáček, Siemens, s.r.o.
 Ing. Petr Hampl, Siemens, s.r.o.
 prof. Dr. Ing. Zdeněk Hanzálek, CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Otto Havle, CSc., MBA., ředitel, ELA Blockchain Services a.s.
 Ing. Jan Hirš, ředitel pro Industry 4.0, T-Mobile Czech Republic
 prof. Ing. Václav Hlaváč, CSc., CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Radek Hofírek, Siemens, s.r.o.
 doc. Ing. Jan Horejc, Ph.D., FS ČVUT v Praze
 Mgr. Michal Janíčko, Národní vzdělávací fond, o.p.s.
 Ing. Tomáš Jochman, CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Václav Kaczmarczyk, Ph.D., VUT v Brně
 Mgr. Mariana Kellerová, MBA, Siemens, s.r.o.
 Ing. Zdeněk Kodejš, CertiCon a.s.
 doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D, CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Martin Kozák, Siemens, s.r.o.
 prof. Ing. Jiří Kraft CSc., EF TUL, Liberec
 Ing. Miroslav Kuric, Siemens, s.r.o.
 prof. RNDr. Marek Lampart, Ph. D., FEI VŠB-TU Ostrava
 Ing. Alexandr Lazarov, CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Martin Macaš, Ph.D., CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Robert Macháček, Siemens, s.r.o.
 prof. Ing. Radek Martinek, Ph.D., FEI VŠB-TU Ostrava
 Ing. Zdeňka Matoušková, CSc., Národní vzdělávací fond, o.p.s.
 Ing. Karel Mayer, Ph.D., DBA, MBA, Koito Czech, s.r.o.
 Ing. Petr Novák, Ph.D., CIIRC ČVUT v Praze
 Ing. Radek Novák, MBA, Česká spořitelna, a.s.
 Ing. Jiří Pavlík, MBA, ředitel, Supply Chain & Network Operations, Deloitte
 Filip Pelikán, SICK, s.r.o.
 prof. Ing. Jan Platoš, Ph.D., děkan, FEI VŠB-TU Ostrava
 Ing. Michal Podhorányi, Ph.D., VŠB-TU Ostrava
 Ing. Michal Poupa, CIIRC ČVUT v Praze
 doc. Dr. Ing. Vlasta Radová, FAV ZČU v Plzni
 Mgr. René Samek, MA, MSc., CzechInvest
 Ing. Petr Semotam, Siemens, s.r.o.
 Ing. Kateřina Slaninová, Ph.D., VŠB-TU Ostrava
 prof. Ing. Bc. Radoslav Sovják, Ph.D., LL.M., ředitel, Národní centrum Stavebnictví 4.0
 Mgr. Zdeňka Šimová, Národní vzdělávací fond, o.p.s.
 Ing. Věra Šmídová, ELA Blockchain Services a.s.
 prof. Ing. Pavel Václavek, Ph.D., CEITEC VUT v Brně
 Ing. Jana Vlčková, Siemens, s.r.o.
 prof. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D., VŠB-TU Ostrava
 prof. Ing. Luděk Žalud, Ph. D., CEITEC VUT v Brně

Obsah

Seznam autorů a spoluautorů	5
Předmluva	14

KAPITOLA 1

Úvod 17

1.1 Transformace české ekonomiky je existenční nezbytností	17
1.2 Česká ekonomika stojí na křižovatce	18
1.3 Průmysl 4.0 a ekonomická transformace České republiky	19
1.4 Zdroje	21

KAPITOLA 2

Současný stav Průmyslu 4.0 v České republice 23

2.1 Průzkumy a analýzy	23
2.2 Rozdílnost v přístupu k digitální transformaci a implementaci konceptu Průmyslu 4.0	26
2.2.1 České součásti zahraničních korporací	26
2.2.2 Velké české firmy	26
2.2.3 Malé a střední firmy	27
2.3 Vliv dodavatelsko-odběratelských vztahů na rozvoj Průmyslu 4.0	28
2.4 Rozhodující technologické oblasti	30
2.4.1 Robotika a pokročilá automatizace	30
2.4.2 Využití strojového učení a dalších algoritmů umělé inteligence	31
2.4.3 Modularita a flexibilita, sdílení výrobních technologií	32
2.4.4 Vnitropodniková datová infrastruktura	33
2.5 Co je nutno překonat	34
2.5.1 Poznání a motivace	34
2.5.2 Technika a technologie	34
2.5.3 Stát a instituce	35
2.6 Zdroje	35

KAPITOLA 3

Technologické předpoklady 37

3.1 Úvod	37
3.1.1 Základní technologické vize	37
3.1.2 Další technologie podporující základní koncept Průmyslu 4.0	40

3.1.3	Testbedy a výzkumné ekosystémy	44
3.1.4	Energetické aspekty	45
3.2	Vybrané technologie Průmyslu 4.0	46
3.2.1	Systémová integrace	46
3.2.2	Digitální dvojčata	48
3.2.3	5G komunikace	51
3.2.4	Virtuální a rozšířená realita	52
3.2.5	Strojové učení	54
3.2.6	Plánování a rozvrhování	60
3.2.7	Kolaborativní robotika	62
3.2.8	Big Data	64
3.2.9	Edge/Cloud Computing	66
3.2.10	Blockchain	69
3.2.11	Kvantové počítání	71
3.2.12	Inteligentní výrobní stroje	73
3.2.13	Moderní výrobní technologie	76
3.2.14	3D tisk – aditivní výrobní technologie	78
3.2.15	Senzory	82
3.2.16	Kybernetická bezpečnost	84
3.3	Obecné trendy v technologiích pro Průmysl 4.0	86
3.4	Závěrečná poznámka	86
3.5	Zdroje	87

KAPITOLA 4

Nové obchodní modely **89**

4.1	Proč roste význam nových obchodních modelů v průmyslu	89
4.1	Základy úspěšného obchodního modelu v kontextu Průmyslu 4.0	90
4.1.1	Význam obchodního modelu pro podnik	90
4.1.2	Jak popsat obchodní model	91
4.2.3	Obchodní modely Průmyslu 4.0 postavené na datech	96
4.3	Příklady obchodních modelů postavených na technologiích Průmyslu 4.0	99
4.4	Závěr	103
4.5	Zdroje	104

KAPITOLA 5

Dopady Průmyslu 4.0 na trh práce **107**

5.1	Dopady Průmyslu 4.0 na zaměstnanost v profesích a odvětvích	108
5.1.1	Dopady do profesí	108

5.1.2	Dopady do odvětví	111
5.1.3	Vývoj struktury zaměstnanosti ve světle mezinárodního srovnání	113
5.1.4	Očekávaný vývoj trhu práce	114
5.2	Dovednosti požadované trhem práce v souvislosti s novými technologiemi	116
5.2.1	Základní trendy ve vývoji dovedností	116
5.2.2	Změny nároků na dovednosti ve vybraných sektorech	120
5.2.3	Digitální gramotnost	126
5.2.4	Digitální vyspělost společnosti a ekonomiky ČR v mezinárodním srovnání	128
5.3	Vybrané aspekty dopadů digitalizace a automatizace na organizaci práce a mzdy	129
5.3.1	Nové formy pracovních úvazků a výkonu práce	129
5.3.2	Práce prostřednictvím platforem – Crowd working	131
5.3.3	Algoritmizace práce	134
5.3.4	Potenciální vliv digitalizace a automatizace na příjmové a majetkové nerovnosti	135
5.4	Závěry	137
5.5	Zdroje	139

KAPITOLA 6

Vzdělávání pro Průmysl 4.0 **143**

6.1	Stav vzdělávání pro Průmysl 4.0 v ČR	143
6.2	Základní a střední školství	146
6.3	Vysoké školství	150
6.3.1	Testbedy pro Průmysl 4.0	151
6.3.2	Výukové programy na VŠ	152
6.3.3	Existující specializované studijní programy	153
6.3.4	Existující studijní programy obsahující výuku Průmyslu 4.0	153
6.4	Celoživotní učení	155
6.5	Návrh opatření pro rozvoj vzdělávání pro Průmysl 4.0 v ČR	163
6.5.1	Základní a střední školství	164
6.5.2	Vysoké školství	165
6.5.3	Celoživotní učení	167
6.6	Zdroje	168

KAPITOLA 7

Standardizace **171**

7.1	Úvod	171
------------	-------------	------------

7.2	Významné standardizační autority	172
7.2.1	Mezinárodní elektrotechnická komise (IEC)	172
7.2.2	Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO)	173
7.2.3	Mezinárodní společnost pro automatizaci (ISA)	174
7.2.4	Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA)	175
7.2.5	OPC Foundation	175
7.2.6	International Data Spaces Association (IDSA)	176
7.2.7	Gaia-X	177
7.2.8	Big Data Value Association (BDVA)	178
7.3	Standardizace na jednotlivých vrstvách řízení výroby	179
7.3.1	Systémy plánování podnikových zdrojů (ERP)	179
7.3.2	Výrobní informační systémy (MES)	180
7.3.3	Vrstva programovatelných logických automatů (PLC)	182
7.4	Standardizace ve vztahu k jednotlivým technologickým prvkům Průmyslu 4.0	183
7.4.1	Blockchain	183
7.4.2	Datový formát AutomationML	186
7.4.3	Cloud computing	189
7.4.4	Informační technologie – Ontologie	190
7.4.5	Open Data Protocol (Odata)	191
7.4.6	Big data	192
7.4.7	Registry metadat	192
7.4.8	Internet věcí – Internet of Things (IoT)	193
7.5	Závěr	194
7.6	Zdroje	195

KAPITOLA 8

Bezpečnost systémů Průmyslu 4.0		197
8.1	Současný stav	198
8.1.1	Informační a kybernetická bezpečnost	200
8.2	Stávající doporučení a standardizace	202
8.3	Směry dalšího vývoje	203
8.4	Role 5G sítí pro Průmysl 4.0	206
8.5	Vliv AI a kvantových počítačů na bezpečnost Průmyslu 4.0	207
8.6	Aktuální výzvy a jejich možná řešení	209
8.6.1	Globální bezpečnost v systémech Průmyslu 4.0	209
8.6.2	Kybernetická a informační bezpečnost pro Průmysl 4.0	211
8.6.3	Bezpečnost v kritických systémových infrastrukturách	214
8.6.4	Bezpečnost energetických a síťových surovinových systémů	215

8.6.5	Bezpečnost systémů s ohledem na zásadní globální nestability	216
8.6.6	Řízení bezpečnosti relace dodavatel-odběratel	217
8.6.7	Role státu a potřeba certifikací	217
8.7	Zhodnocení situace	220
8.8	Doporučení	220
8.9	Zdroje	221

KAPITOLA 9

Průmysl 4.0 a udržitelnost **223**

9.1	Udržitelnost a odolnost v kontextu konceptu Průmyslu 4.0	223
9.1.1	Udržitelnost a odolnost zastavěného prostředí	224
9.1.2	Měřitelná udržitelnost a odolnost	226
9.2	Přínos technologií konceptu Průmysl 4.0 ke zvyšování udržitelnosti ve výrobě	227
9.2.1	Senzorika a zpracování dat	228
9.2.2	Moderní výrobní technologie a inteligentní výrobní stroje	229
9.2.3	Digitální dvojčata	232
9.2.4	Umělá inteligence	234
9.3	Přínos konceptu Průmysl 4.0 ke zvyšování udržitelnosti dodavatelsko-odběratelského řetězce a vnitropodnikové/externí logistiky	236
9.3.1	Definice dodavatelsko-odběratelského řetězce	236
9.3.2	Výzvy, kterým čelí dodavatelsko-odběratelské řetězce	238
9.3.3	Udržitelnost a odolnost dodavatelsko-odběratelského řetězce	239
9.3.4	Příklady využití řešení konceptu Průmyslu 4.0 při optimalizaci dodavatelsko-odběratelského řetězce	241
9.4	Přínos konceptu Průmysl 4.0 ke zvyšování udržitelnosti v energetice a v průmyslových budovách a jejich okolí	242
9.4.1	Energetika jako nový rozměr udržitelnosti	242
9.4.2	Chytrá energetika	243
9.4.3	Virtuální elektrárny, energie jako služba	246
9.4.4	Energetické komunity	247
9.4.5	Informatické aspekty chytré energetiky	247
9.5	Stavebnictví 4.0 a jeho perspektivy	248
9.6	Přínos technologií konceptu Průmysl 4.0 ke zvyšování udržitelnosti a odolnosti v kontextu ESG indikátorů	249
9.6.1	Příležitosti a rizika udržitelnosti	249
9.6.2	EU Taxonomie a nefinanční výkaznictví	252
9.7	Zdroje	255

KAPITOLA 10

Právní a regulatorní aspekty Průmyslu 4.0 257

10.1	Novinky v systému řízení strategického směřování i legislativního uspořádání v ČR i EU za poslední dekádu	259
10.1.1	Situace v ČR	259
10.1.2	Situace v EU	261
10.2	Strategie ČR i EU na podporu rozvoje digitální transformace soukromého sektoru a Průmyslu 4.0 ve firmách	264
10.2.1	Strategie EU	264
10.2.2	Strategie České republiky	268
10.3	Jednotlivé oblasti národní a evropské právní úpravy s vysokou relevancí pro oblast Průmyslu 4.0: aktuální stav a perspektivy	271
10.3.1	Nové výzvy autorského práva	272
10.3.2	Odpovědnostní aspekty v soukromém právu	275
10.3.3	Právní úprava obchodních vztahů pro prostředí Průmyslu 4.0	281
10.3.4	Právní úprava etických aspektů nových technologií	284
10.4	Závěr	285
10.5	Zdroje	286

KAPITOLA 11

Inovační ekosystém 291

11.1	Podpůrné iniciativy EU	292
11.1.1	Program Digitální Evropa	293
11.1.2	Evropské projekty kaskádového financování	296
11.1.3	Enterprise Europe Network	299
11.1.4	Důležité projekty společného evropského zájmu (IPCEI)	299
11.1.5	Testbedy pro Průmysl 4.0: páteřní základna digitalizace českého průmyslu	300
11.2	Podpora státu	300
11.2.1	Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost (OP TAK)	302
11.2.2	Národní plán obnovy [8]	303
11.2.3	Operační program Jan Amos Komenský (OP JAK) [9]	304
11.2.4	Program The Country for the Future (CFF) a návazné programy	305
11.2.5	Programy Technologické agentury ČR (TAČR) [10]	308
11.2.6	Programy Grantové agentury České republiky (GAČR) [11]	309
11.3	Regionální podpora	310
11.3.1	Vědeckotechnické/technologické parky	310
11.3.2	Regionální a oborové Digitální Inovační Huby (DIH – podpořené z projektů EU)	310
11.3.3	Regionální/místní/technologická inovační centra	311
11.3.4	Coworkingová centra	312
11.3.5	Otevřené dílny	313

11.4 Soukromé iniciativy	313
11.4.1 Průmyslové klastry, oborové asociace a sdružení	313
11.4.2 Regulatorní sandboxy	314
11.4.3 Fondy rizikového kapitálu a soukromé finanční instituce	315
11.5 Závěr	315
11.6 Zdroje	316

KAPITOLA 12

Vize a doporučení do budoucna **317**

12.1 Transformace české ekonomiky je nezbytná	317
12.2 Průmysl 4.0: nástroj pro realizaci ekonomické i průmyslové transformace	318
12.3 Věda, výzkum a technologie	321
12.3.1 Umělá inteligence, strojové učení, systémová integrace	321
12.3.2 Testbedy a cloudové kontinuum	323
12.3.3 Plánování, rozvrhování a optimalizace	323
12.3.4 Kolaborativní a mobilní robotika	325
12.3.5 Big Data a Edge/Cloud computing	325
12.3.6 Kvantové počítače	327
12.3.7 Energetika 4.0	327
12.3.8 Inteligentní výrobní stroje a moderní výrobní technologie	328
12.3.9 Senzory	329
12.4 Nové obchodní modely	331
12.5 Trh práce	332
12.6 Vzdělávání	334
12.7 Standardizace	336
12.8 Kybernetická bezpečnost	337
12.9 Udržitelnost	339
12.10 Legislativa	341
12.11 Inovační ekosystém	342
12.12 Závěrečné shrnutí	344
12.13 Zdroje	344
Seznam zkratk	345
Slovníček pojmů k tematice Průmyslu 4.0	352
Rejstřík	369

Předmluva

Jistě se všichni shodneme na tom, že pokud se má česká ekonomika, která patří díky jednomu z nejvyšších podílů průmyslové výroby na tvorbě HDP v Evropě k nejprůmyslovějším, vymanit ze současných vleklých problémů s konkurenceschopností a udržitelností, je nezbytná její transformace. Jsem velice rád, že kniha, kterou máte právě před sebou, ukazuje cestu, jak při této transformaci smysluplně a efektivně využít pokročilé digitální technologie, které jsme si zvykli souborně nazývat Průmysl 4.0.

Svaz průmyslu a dopravy České republiky, sdružující kolektivní a individuální členy napříč českým průmyslovým prostředím, byl díky svým zástupcům u toho, když se v roce 2015, tedy v době, kdy si tento pojem teprve razil cestu k české veřejnosti, v týmu prof. Maříka formulovaly základní teze národní iniciativy Průmysl 4.0. Stejně tak byl Svaz průmyslu v roce 2017 jedním z hlavních zakládajících partnerů Národního centra Průmyslu 4.0, kde se dodnes aktivně podílí na jeho činnosti jako Národní partner.

Z našich členských firem vidíme, že se dřívější obavy z ohrožení tisíců pracovních míst díky robotizaci a pokročilé automatizaci nenaplnují a že je spíše jejich dopad na konkrétní pracovní pozice pozitivní i s ohledem na stálý nedostatek potenciálních zaměstnanců na trhu práce. Očekáváme, že se i díky nadcházející ekonomické transformaci dále rozšíří spolupráce zaměstnavatelů s akademickým, výzkumným a inovačním prostředím. A to nejen při flexibilnějším modelování odborných, ale i občanských profilů absolventů, stejně jako na dalším vzdělávání a doplňování dovedností stávajících zaměstnanců. Například další vzdělávání v oblasti kybernetické bezpečnosti z našeho pohledu nabývá stále větší důležitosti zejména ve světle rozvíjejících se nových obchodních modelů využívajících pokročilé digitální technologie. Stejně tak vnímáme potřebu vzdělávání a osvěty v oblasti umělé inteligence. Proto už v roce 2018 inicioval Svaz průmyslu založení Platformy pro umělou inteligenci, v níž se i nyní, po její restrukturalizaci, budeme se zástupci vysokých škol, výzkumných organizací a dalších institucí



společně zabývat možností její rychlé, i když postupné, implementace do veškerých vnitrofiremních procesů, včetně těch výrobních.

Prostřednictvím odborných stanovisek vznikajících v expertních týmech a pracovních skupinách se Svaz průmyslu a dopravy České republiky snaží pozitivně ovlivňovat nejen průmyslové prostředí, ale i transformaci české ekonomiky. A právě digitální transformace směřující k naplňování konceptu Průmysl 4.0 hraje při transformaci ekonomiky nezastupitelnou roli.

Pojďme tedy společně i prostřednictvím této publikace ukázat, že Průmysl 4.0 není jen pouhou technologickou změnou, ale zejména šancí transformaci celé ekonomiky směřující k lepšímu a spokojenějšímu životu v naší republice zvládnout.

V Praze dne 10. června 2024

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

Mgr. Jan Rafaj, MBA
prezident Svazu průmyslu a dopravy ČR

1 Úvod

Vladimír Mařík, Radek Novák

1.1 Transformace české ekonomiky je existenční nezbytností

Od vydání knihy *Průmysl 4.0 – Výzva pro Českou republiku* [1] v roce 2016 se mnohé v ČR změnilo. Ne vždy však kýženým směrem. Prošli jsme covidovou krizí, pak nárůstem cen energií v důsledku války na Ukrajině, nárůstem cen za dopravu, zejména z Asie, ale i narušením a komplikovaným znovuoobnovováním dodavatelských řetězců. Hlavním znakem současné české ekonomiky a českého průmyslu je, že se jen těžko zotavuje z covidového období a český průmysl ještě nedosahuje parametrů před vypuknutím covidové pandemie. Národní iniciativa *Průmyslu 4.0* z roku 2016 vedoucí ke Společnosti 4.0 byla o čtyři roky později zaměněna za Národní strategii pro umělou inteligenci (NAIS), která zůstala nenaplněna a nijak neovlivnila ani výzkum, vývoj, ani výrobu. Taktéž postup digitální transformace českého průmyslu a zavádění prvků *Průmyslu 4.0* do průmyslové praxe probíhá celkově pomaleji, než bylo původně předpokládáno. I přes fakt, že se české průmyslové podniky již ve větší míře zabývají digitalizací svých provozů, stále často zavádějí pouze izolovaná řešení bez komplexnější provázané digitalizační strategie, která by umožnila plně využít významných pozitivních dopadů, ekonomických i technologických, které s sebou *Průmysl 4.0* přináší.

Hlavní problémy dnešní české ekonomiky jsou tři: stagnace ekonomiky SRN jako největšího a rozhodujícího zahraničního ekonomického partnera, nejistý vývoj cen energií a vstupů a vyčerpání stávajícího ekonomického modelu postaveného zejména na využití kvalifikované a relativně levné pracovní síly. Do toho vstupují požadavky EU související s plněním jejích klimatických cílů (tzv. Zelená dohoda pro Evropu – European Green Deal) a narůstající míra regulace, administrativy a reportingu.

Základní ekonomický model vyžaduje zásadní změnu. Zásadní transformace české ekonomiky, pokud máme patřit k vyspělým zemím, je nevyhnutelná.

Bohužel, transformaci nelze realizovat bez jasné vize, kam se má náš průmysl a celá ekonomika posouvat. Chybí-li vize, chybí zákonitě i strategie.

Vize a strategie nechybí jenom nám, ale Evropě jako celku. Úsilí Evropské unie směrem k naplňování klimatických cílů v rámci Zelené dohody vede k obavám o další vývoj průmyslu v Evropě. Tyto obavy vyústily v setkání 73 evropských firem a svazů s představiteli EU v únoru 2024 v Antverpách a k podpisu tzv. Antverpské deklarace. Signatáři deklarace požadují vedle Zelené dohody i Evropskou průmyslovou dohodu, tzv. European Industrial Deal, a to na stejné úrovni důležitosti. Průmyslníci nerozporují dekarbonizaci jako takovou. Zavádění nových bezemisních technologií v rámci celých dodavatelských řetězců a s tím související regulatorní opatření však mohou díky své kapitálové náročnosti představovat další výzvu pro evropský průmysl, zejména bez odpovídající veřejné finanční podpory zavádění čistých technologií. Současná nekonzistence a zbytečná složitost právních předpisů, množství ambiciózních a v některých případech protichůdných cílů a nadměrné požadavky na reporting mohou mít na evropské průmyslové prostředí zásadní dopad. Evropa se musí stát globálně konkurenceschopným dodavatelem energie s využitím cenově dostupných nízkouhlíkových obnovitelných a jaderných zdrojů.

Antverpská deklarace je vlastně výzvou k průmyslové transformaci Evropy jako celku při plnění dosažitelných dekarbonizačních cílů v transparentním a konzistentním právním prostředí. Je to výzva, jejíž naplnění nebude možné realizovat bez principů Průmyslu 4.0, bez koncepce vzájemné systémové integrace stále složitějších systémů a procesů výroby, obchodu, distribuce a údržby, bez nových obchodních modelů, bez změny myšlení všech účastníků transformačních procesů. Je to v zásadě výzva k dalšímu rozvoji uplatňování myšlenek Průmyslu 4.0 jako jediného konceptu propojujícího návrh, vývoj a výrobu produktů s uvažováním všech souvisejících podmínek, včetně efektivního nakládání s veškerými zdroji (energiemi, surovinami, lidským potenciálem atd.).

Česká republika by neměla zůstat stranou naplňování Evropské průmyslové dohody. Měla by s její pomocí a v interakci s dalšími evropskými zeměmi hledat cíle transformace a strategické cesty k jejich naplnění.

1.2 Česká ekonomika stojí na křižovatce

Česká ekonomika si prošla svojí první transformací v 90. letech, kdy cílem byl přechod z centrálně řízeného hospodářství na tržní ekonomiku. Po třiceti letech spojených s návratem tuzemských firem na světové trhy, příchodem zahraničních investorů či snížením nezaměstnanosti až na minimální úroveň stojí český hospodářský model na křižovatce.

Covidové uzávěry, globálně narušené dodavatelské řetězce a energetická krize v posledních čtyřech letech silně odhalily slabiny české ekonomiky. Ta je šestá energeticky nejnáročnější v EU. Na jednotku HDP spotřebujeme o 50 % více energie než Německo, které má jen o málo nižší podíl průmyslu na přidané hodnotě než ČR. Jsme sice silnou vývozní ekonomikou, ovšem také výrazně závislou na dovozu. A to nejen u ener-

gií, ale i v případě dalších surovin, polotovarů, dílů či součástí. Dovození náročnost např. automobilového odvětví se dostává mírně přes 50 %, ve výrobě počítačů nebo chemických látek dokonce nad 75 %. A v neposlední řadě české hospodářství ve velké míře stále ještě zakládá svoji konkurenceschopnost na relativně levné pracovní síle. Kvůli demografickým změnám však bude počet pracovníků i nadále klesat, což bude tlačit mzdy nahoru. České mzdy jsou přitom stále jen na 40 % úrovni Německa. Zatím stojí nízká produktivita práce na odpracovanou hodinu, která odpovídá zhruba 2/3 německé úrovni. Důvodem není to, že by čeští zaměstnanci málo pracovali. Naopak, průměrný odpracovaný počet hodin týdně v ČR je vyšší než v Německu. Příčinou je postavení Česka v dodavatelských řetězcích, stále nízká úroveň digitalizace a robotizace a souhrnně nízká přidaná hodnota ekonomiky. Vztáhneme-li hrubou přidanou hodnotu české ekonomiky k celkové produkci, umísťujeme se na čtvrtém nejhorším místě mezi zeměmi EU.

V posledních čtyřech letech jsme se dostali do situace, kterou lze nazvat **past ekonomiky středních příjmů**. Zvyšování úrovně vzdělání, vědy a výzkumu na jedné straně a na druhé straně posilování vztahu s koncovým zákazníkem, kladení důrazu na finální domácí produkty pod vlastní značkou, snižování podílu subdodávek v rámci tuzemské výroby a akcelerace digitální i technologické transformace jsou cestou, jak se z pasti ekonomiky středních příjmů dostat.

1.3 Průmysl 4.0 a ekonomická transformace České republiky

Ekonomická transformace ČR závisí na konkurenceschopnosti, odolnosti a dlouhodobé udržitelnosti českého průmyslu jakožto stěžejního prvku české ekonomiky. Musí být založena na inovacích a odvětvové specializaci. Ať bude probíhat budoucí transformace českého průmyslu jakkoliv, podmínkou a předpokladem jejího úspěchu budou nejen investice do vzdělávání, výzkumu a dopravní a energetické infrastruktury, ale i prioritizace a dlouhodobá strategická podpora klíčových technologických oblastí. K tomu zatím nedochází. Naopak dlouhodobé financování výzkumu a vývoje v oblasti Průmyslu 4.0, umělé inteligence, robotiky a obecně digitalizace se v posledních dvou letech téměř vytratilo. Přidělování prostředků na dlouhodobé programy, jako jsou výzva OP JAK – špičkový výzkum, Národní centra kompetence TA ČR či Velké výzkumné infrastruktury, proběhlo nejen bez uvažování skutečných potřeb průmyslu, ale také bez náležitého stanovení národních priorit výzkumu. Bez dlouhodobější podpory tak zůstal výzkum v oblasti umělé inteligence, která musí být jádrem připravované transformace průmyslu, ať je tato definována jakkoliv. Rozhodně nelze hovořit o tom, že je český výzkum právě v oblasti umělé inteligence nekvalitní. Naopak. Avšak klíčoví odborníci začínají odcházet do zahraničí a vznikající vakuum jen tak těžko zaplníme. Transformace zde prohrává ještě dříve, než začala.

Přesto úsilí o transformaci českého průmyslu a české ekonomiky obecně Národní centrum Průmyslu 4.0 nehodlá a nesmí vzdát. Průmysl 4.0 je a zůstane jedinou základní ucelenou koncepcí umožňující (doufejme) v brzké době formulovat cíle a nástroje transformace na celostátní i podnikové úrovni. Proto **Národní centrum Průmyslu 4.0 připravilo komplexní souhrnnou publikaci**, která popisuje současný stav technologií jako technických nástrojů transformace, stav v oblasti vzdělávání, pracovního trhu, transferu technologií, legislativy, kybernetické bezpečnosti, podmínek udržitelnosti atd. Publikace rovněž představuje vize a doporučení, jakým směrem se budou jednotlivé oblasti ubírat a jaká opatření je nutné přijmout, abychom tohoto vývoje mohli využít. Publikace jednoznačně podtrhuje roli umělé inteligence a robotiky v nadcházející transformaci české ekonomiky.

Je klíčové, aby si svoji vizi dalšího vývoje a cestu k jejímu naplnění připravovaly i jednotlivé podniky. Transformace průmyslu je nezbytná a musí probíhat na všech úrovních, včetně iniciativ na realizační úrovni jednotlivých podniků. Obecné transformační vize prosazuje řada institucí, zájmových skupin a neziskových iniciativ, jako jsou NERV, Druhá ekonomická transformace, ReStart, Pulse, Česko v roce 2029 a další. **Tato publikace však prezentuje jedinou koncepci technologicky podloženou** a svojí šíří i hloubkou záběru poskytuje zásadní informace všem aktérům transformačního procesu.

Publikace by měla sloužit jako základní manuál všem, kdo budou připravovat průmyslovou transformaci, ale i těm, kteří ji budou realizovat, stejně jako příjemcům jejích výsledků, kteří z publikace mohou již nyní čerpat. **Koncept Průmysl 4.0 musí změnit způsob myšlení a chování lidí**, kteří budou bezesporu ovlivňovat svou jasnou orientací na digitalizaci a inteligentní automatizaci nejrozličnějších procesů další obory, jako jsou doprava, energetika, stavebnictví, zemědělství, zdravotnictví atd., tedy v konečném důsledku všechny aspekty našeho života. **Budeme muset opakovaně a ještě intenzivněji hovořit o Myšlení 4.0 a Společnosti 4.0.**

Tato publikace ukazuje, že myšlenky Průmyslu 4.0 za posledních osm let nejen nezešly, ale staly se ještě aktuálnějšími. **Představují směr, kterým se musí Česká republika – a také každý podnik – vydat, bez ohledu na to, jak jej bude nazývat.** Předložené principy jsou totiž univerzální, v době digitalizace a internetové revoluce naprosto přirozené. Jejich aplikací, pokud budeme jasně navigováni směrem, kam jít, dospějeme do cíle dříve a s menší únavou.

Na závěr je ještě nutno varovat před koncepty Průmyslu 5.0, které matou odbornou i širokou veřejnost. Vyvolávají mylnou představu, že Průmysl 4.0 byl dokončen. Podle jedné z poslední definice Průmyslu 5.0 se jedná v podstatě o koncept Průmysl 4.0 s důrazem na „human-centric“ výrobu, tedy na výrobní procesy probíhající v úzké interakci člověka a stroje. S tím však Průmysl 4.0 při cestě k zvýšení míry automatizace a digitalizace taktéž počítá jako s dílčím postupem a nezbytným elementem. Žádnou skutečně průlomovou technologii tak Průmysl 5.0 nenabízí. Je to jen zneužití terminologie.

Pojďme se tedy vrátit k myšlenkám Průmyslu 4.0 a soustředme se na klíčové oblasti, jejich současný stav a doporučené možnosti postupného řešení v rámci transformačních procesů.

1.4 Zdroje

- [1] Mařík, V. a kol. (2016). *Průmysl 4.0: Výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press.

2

Současný stav Průmyslu 4.0 v České republice

*Jiří Holoubek, Pavel Burget, Petr Bartošík, Jiří Bavor,
Otto Havle, Karel Mayer*

Česká ekonomika, tradičně postavená na jednom z nejvyšších podílů průmyslové výroby (v celoevropském srovnání) na tvorbě hrubého domácího produktu, otevřená a exportně orientovaná, zaznamenává výrazné změny na trhu a v obchodním chování hlavních partnerů – zejména německých odběratelů. Částečný rozpad globálních dodavatelských řetězců způsobený covidovou pandemií, stejně jako energetická krize přímo i nepřímo související s ruskou agresí na Ukrajině, tento tlak ještě umocňují.

Dalším zásadním vlivem je z velké části subdodavatelský charakter českého průmyslu, kde jsou, bohužel, české firmy velice často v pozici subdodavatele, nemají přítmou vazbu na koncového zákazníka a tím nemohou plně rozhodovat a podílet se na marži v celém hodnototvorném řetězci. Důležitým aspektem je také závislost českého průmyslu na dovozu nejen energií, ale i dalších základních surovin a polotovarů.

Bohužel se stále nepodařilo vysvětlit a ukotvit koncept Průmysl 4.0 jako zásadní odpověď na tyto negativní trendy – jako možnosti na udržení nebo zvýšení konkurenceschopnosti firem i jako možnosti pro zvýšení efektivity, flexibility a zrychlení reakce firem na požadavky trhu a zákazníků.

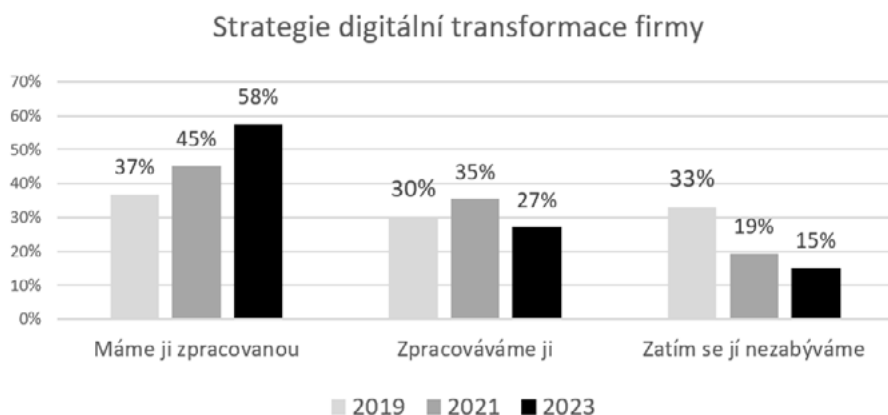
Velká většina českých firem i odborné veřejnosti bohužel stále bere koncept Průmysl 4.0 jako „technologickou změnu“, nikoliv jako „business změnu“, a proto také je tento koncept spíše diskutován mezi odborníky na IT a průmyslové řízení a ne tam, kde by skutečně být diskutován měl. Tedy tam, kde vznikají firemní strategie a kde se o budoucnosti firem skutečně rozhoduje. Potažmo tedy i o budoucnosti českého průmyslu a celé české ekonomiky.

2.1 Průzkumy a analýzy

Postup digitální transformace českého průmyslového prostředí a s ním i naplňování základních atributů konceptu Průmysl 4.0 ve firmách a podnicích je doprovázen vel-

kými rozdíly, bez ohledu na průmyslové odvětví či velikost firmy nebo její vlastnickou strukturu. Tyto diametrální rozdíly se projevují jak v oblasti chápání konceptu Průmysl 4.0 jako nástroje pro zlepšení vlastní konkurenceschopnosti, tedy byznysu společnosti, tak i v přístupu k jeho implementaci.

Stavem českého průmyslového prostředí s důrazem na jeho digitální transformaci se pravidelně zabývají průzkumy a analýzy některých zaměstnavatelských organizací, odborných a výzkumných institucí a platforem. Jeden z periodicky se opakujících průzkumů provádí každoročně Svaz průmyslu a dopravy České republiky. Kromě otázek na vysoce aktuální témata spojená s momentální situací české ekonomiky odpovídají respondenti i na otázky zkoumající dlouhodobější trendy. Z těch je např. patrné, že se postupně mění přístup firem ke stanovení firemní digitální strategie. Roste podíl firem, které ji mají již zpracovanou, oproti klesajícímu procentu firem, jež se digitální strategií zatím vůbec nezabývají. Zde je nutné zdůraznit, že od zpracované strategie digitální transformace je ještě dlouhá a často komplikovaná cesta k jejímu naplňování. Vlastní průběh digitální transformace, stejně jako první efekty na vnitrofiremní procesy, zůstávají často daleko za velmi idealizovanými očekáváními.



Obrázek 1: Výsledky průzkumu SPČR k implementaci konceptu Průmysl 4.0 ve firmách

Zdroj: Průzkum SPČR, 2023 [1]

Mezi dalšími závěry průzkumu SPČR je možno zmínit, že:

- hlavním strategickým přínosem digitální transformace podle firem stále zůstává zlepšení tržní pozice ve vztahu ke konkurenci (59 % odpovědí),
- hlavním důvodem investic do prvků Průmyslu 4.0 je očekávané dlouhodobé zvýšení produktivity na zaměstnance (74 %),
- firmy nasazují prvky odpovídající Průmyslu 4.0 nejvíce ve výrobě (66 %), dále v administrativě (62 %) a zatím nejméně v oblasti výzkumu, vývoje a inovací (32 %). Ještě nižší procento firem (pod 10 %) si uvědomuje význam Průmyslu 4.0 pro management energií,

- je stále nízký podíl firem, které hodlají poskytovat ke svým výrobkům další digitální služby (29 %) nebo které se připravují pro integraci do digitálních platform umožňujících nové obchodní modely (18 %),
- pro 22 % firem není zatím tématem jakékoliv zvyšování digitálních dovedností zaměstnanců.

Hlavní překážky v nasazování prvků Průmyslu 4.0 vidí firmy zejména v nedostatku kvalifikovaných zaměstnanců (70 %), v potenciálním narušení kybernetické bezpečnosti (44 %) a v nedostatku financí (43 %).

Z průzkumů a analýz zpracovaných Národním centrem Průmyslu 4.0 [2] lze doplnit další trendy:

- Většina firem uvádí, že se při digitální transformaci soustřeďuje zejména na efektivitu lidí.
- Efekt digitální transformace pro udržitelnost zatím firmy nedoceňují.
- Efektivnější zapojení do nových obchodních modelů díky digitální transformaci předpokládají zatím pouze nevýrobní firmy a podniky.
- U firem je možné zaznamenat meziroční růst pozitivního dopadu zavádění Průmyslu 4.0 v podpůrných procesech výroby, jako jsou například interní logistika, údržba, kontrola kvality a bezpečnost práce.

V souvislosti s těmito výsledky průzkumů je nicméně potřeba uvést, že jsou všechny vychýleny k lepšímu stavu, protože už jen to, že se firmy těchto průzkumů zúčastňují, svědčí o jejich vyšší digitální zralosti oproti ostatním.

Současně s využíváním zveřejňovaných výsledků průzkumů a analýz využívají celé firmy nebo jejich součásti pro evaluaci své digitální zralosti několik nástrojů. Snaha o objektivní autorizované hodnocení zatím v České republice naplněna nebyla, pro firmy je zde však k dispozici několik různě propracovaných modelů, obvykle třístupňových, sestávajících ze zjišťovací části, části návrhové a části vyhodnocující efekt realizovaných opatření. Pro první fázi se využívá buď sebehodnocení podle doporučené osnovy, např. v modelu poskytovaném Elektrotechnickou asociací České republiky [3], nebo velmi důkladná příprava, včetně asistovaného zmapování stavu technologií, jak ji realizuje v rámci DigiAuditu Národní centrum Průmyslu 4.0 [4]. Posuzované firmy vidí kromě výsledků hodnocení, případně návrhu konkrétních kroků směřujících k připravenosti implementovat prvky Průmyslu 4.0, hlavní přínos těchto evaluací zejména ve vlastní edukaci, kdy si teprve při přípravě odpovědí v rámci zjišťovací etapy uvědomují jednotlivé souvislosti. V ojedinělých případech si pomocí těchto evaluačních nástrojů nechávají firmy prověřit digitální zralost, případně přístup k zajištění kybernetické bezpečnosti svých subdodavatelů nebo kooperantů. Další využití těchto nástrojů, např. pro ex ante posouzení žadatele v rámci různých programů na podporu digitalizace, případně ex post na posouzení efektu poskytnuté podpory hodnocením žadatele, je zatím v České republice výjimkou. Některých českých subjektů se bude pravděpodobně týkat *Digital Ma-*

turity Assessment Tool zpracovaný pro evropskou komisi institucí Fundación Tecnalia Research & Innovation, podle něhož bude posuzována ve čtyřech modulech digitální zralost zákazníků EDIH [5] (blíže v kapitole 11).

2.2 Rozdílnost v přístupu k digitální transformaci a implementaci konceptu Průmyslu 4.0

2.2.1 České součásti zahraničních korporací

Tuzemské součásti nadnárodních korporací řízených ze zahraničí mají, v drtivé většině případů, nastavenou a relativně nekompromisně vyžadovanou, datovou kulturu prostřednictvím IT útvarů sídlících v jejich zahraničních centrálách. Nejčastěji se to projevuje zejména v oblasti pravidel týkajících se kybernetické bezpečnosti a promítajících se převážně do administrativních činností. Výsledky korporátních útvarů aplikovaného výzkumu a vývoje souvisejících s digitální transformací vnitrofiremních procesů jsou do českých součástí předávány pouze v rozsahu nutném pro zajištění jejich spolehlivého a bezpečného provozu. I přes snahu o dodržování těchto zásad je ve většině těchto globálních korporací mezi jednotlivými zahraničními pracovišti relativně nízká úroveň interoperability a realizace změn směřujících k naplňování konceptu Průmysl 4.0 je ve většině případů velmi zdoluhavá a doprovázená mnohými komplikacemi. Interoperabilita hraje také nezanedbatelnou roli při úspěšné restrukturalizaci firem nebo prodeji jejich českých součástí jinému majiteli s rozdílnou datovou kulturou a úrovní komunikace.

Zahraniční centrály nebrání spolupráci svých českých součástí s českými výzkumnými organizacemi a technickými univerzitami, která je i v oblasti Průmyslu 4.0 v některých průmyslových odvětvích na velmi dobré úrovni. Je však jen několik málo výjimek, kdy jsou výsledky této spolupráce využívány i na jiných zahraničních pracovištích těchto korporací. S ohledem na „lokální“ dopad takovéto spolupráce jsou její výsledky implementovány flexibilněji. Situace se však začíná v posledních letech měnit a několik globálních průmyslových firem buď zakládá, nebo přemísťuje i velká, personálně i technologicky špičkově vybavená oddělení výzkumu a vývoje do České republiky. Týká se to širokého spektra průmyslových odvětví a oborů od vývoje a výroby čipů přes autonomní mobilitu až po farmacii.

2.2.2 Velké české firmy

Situace je ve velkých českých firmách a podnicích s větší mírou autonomie a nezávislosti na zahraničních strukturách ještě složitější. Zde jsme svědky velmi nerovnoměrného a často nesrovnatelného přístupu ke konceptu Průmysl 4.0 napříč všemi odvětvími. Často se opakujícími argumenty firem, které mají nízký inovační potenciál ve vnitro-

podnikových procesech týkajících se pokročilé automatizace kvůli neustálému odkládání implementace prvků Průmyslu 4.0, jsou nedostatek kvalifikovaných zaměstnanců, obavy z narušení kybernetické bezpečnosti a vysokých nákladů (viz např. průzkumy SPČR). Na druhém hrotu rozevírajících se pomyslných nůžek jsou ale firmy, které svoji digitální strategii již několik let úspěšně naplňují a postupná realizace opatření v souladu s Průmyslem 4.0 jim přináší očekávané výsledky zejména v podobě zvyšující se efektivity nejen výrobních, ale i předvýrobních etap, managementu kvality a logistiky. Tyto firmy využívají v oblasti Průmyslu 4.0 pro spolupráci s českými výzkumnými institucemi ve větší míře financování z programů podpory z národních nebo evropských zdrojů. Oproti českým součástem globálních korporací mají nespornou výhodu jak ve vyšší flexibilitě rozhodování, tak i zajišťování lidských zdrojů. V mnoha případech tyto podniky vyrůstají z firem střední velikosti, zejména díky vysoké kvalitě produkce, již zmíněné flexibilitě i postupnému se otevírání novým obchodním modelům.

Jako příklad velmi dobré praxe dokumentující pozitivní výsledky spolupráce české firmy s českými výzkumnými institucemi, v tomto případě s Fakultou strojní ČVUT, za současné podpory z národních zdrojů, lze uvést společnost P-D Refractories CZ, a. s. Tato spolupráce spočívala v návrhu a realizaci automatické linky na výrobu keramických komínových vložek. Výsledkem projektu je nejen zkrácení taktu výroby, snížení energetické a materiálové náročnosti a tím i CO₂ stopy, ale i podstatné snížení zmetkovitosti výroby žáromateriálů. Díky implementaci prvků pokročilé automatizace a robotizace linky bylo možné převést 12 zaměstnanců na fyzicky méně náročné pozice v dalších výrobních procesech společnosti.

Zdroj: Cena za Průmysl 4.0, SPČR, 2023 [6]

2.2.3 Malé a střední firmy

U malých a středních firem jsou, pokud jde o Průmysl 4.0, rozdíly ještě daleko propastnější. A opět nezáleží na odvětví nebo oboru působení firmy. Na jedné straně jsou v České republice menší, čistě technologické (IT) nebo inženýrské firmy pracující se širokým portfoliem externích tuzemských i zahraničních spolupracovníků, obvykle osob samostatně výdělečně činných. Jejich produkty v mnoha případech velmi úzce souvisejí s prvky Průmyslu 4.0 a prostředky pro zajištění kybernetické bezpečnosti. Odběrateli jsou výlučně zahraniční společnosti, a i díky tomu pracují s velmi vysokou přidanou hodnotou. Podobně orientované malé firmy se začínají prosazovat i na českém trhu a jejich přínos pro rozvoj Průmyslu 4.0 v české ekonomice je nezanedbatelný. Velmi často plní roli systémových integrátorů implementujících digitální technologie, pokročilou automatizaci a robotizaci.

Další, postupně se rozvíjející skupinou malých a středních firem jsou podniky profitující z tradičně vyspělého know-how pro vývoj speciálních, často velmi kustomizovaných produktů, doplněného využíváním pokročilých výrobních technologií

odpovídajícím Průmyslu 4.0. V mnoha případech to jsou spin-off firmy oddělené od firem velkých, pro něž byly některé speciální činnosti ekonomicky, ale i kapacitně neudržitelné. Typickými případy jsou např. nástrojárny, galvanovny nebo servisní firmy specializující se na úzký segment strojího vybavení. Jsou orientované jak na české, tak i zahraniční koncové zákazníky (obchodní model B2C). Nezřídka se však uplatňují i jako subdodavatelé speciálních komponentů pro výrobní podniky, případně firmy poskytující služby (obchodní model B2B). Velmi úspěšně se začínají zapojovat do obchodních platforem různých stupňů.

Na druhé straně stojí bohužel stále převažující část malých a středních firem, opět napříč všemi průmyslovými odvětvími a obory, pro které je koncept Průmysl 4.0 stále jenom velmi vzdáleným pojmem. Jedním z důvodů tohoto stavu je neochota manažerů, často v jedné osobě i vlastníků, se s jednotlivými základními atributy tohoto konceptu seznámit, a to i přesto, že je jejich zaměstnanci na středních stupních řízení na nutnost akceptace technologických změn soustavně upozorňují. Dalším důvodem je přetrvávající přesvědčení, že je v jejich portfoliu odběratelů stále dostatek těch, jimž dosavadní způsob komunikace jak obchodní (poptávky, nabídky, objednávky apod.), tak technické (výrobní dokumentace, výsledky zkoušek a testů) vyhovuje a bude vyhovovat i nadále.

Speciální postavení mají mezi malými a středními firmami startupy vyvíjející a dodávající pro oblast Průmyslu 4.0 produkty ať už hmotné, nebo nehmotné. Velmi úspěšné jsou startupy vyvíjející nástroje pro kritické plánování na bázi algoritmů umělé inteligence, nebo komunikační a řídicí aplikace využívající infrastrukturu 5G. Z fyzických produktů těchto firem jsou pro průmyslové prostředí velmi zajímavé systémy pokročilé senzoriky nebo vysoce kustomizované doplňky robotických pracovišť. Jde o firmy, které se snaží etablovat a uplatnit tyto svoje produkty v prostředí, které je často z jejich pohledu velmi komplikované a nečitelné. Jejich situace je obvykle ztížena nízkou úrovní vstupního kapitálu a krátkou podnikatelskou historií, která jim nedovolí dosáhnout na některý z programů účelové podpory. Tento handicap je částečně kompenzován aktivitami různých podnikatelských inkubátorů nebo inovačních center. Zájem investorů o kapitálový vstup do těchto firem je často eliminován nejasně formulovaným podnikatelským plánem a v pochybnostech o návratnosti takovéto investice. Jistou negativní roli v tom sehrává i nízká propagace těchto firem v zahraničí.

2.3 Vliv dodavatelsko-odběratelských vztahů na rozvoj Průmyslu 4.0

Subdodavatelský ekosystém hraje v rozvoji pokročilých digitálních technologií – v jeho jednotlivých článcích – velkou roli. A nejde pouze o diktát ekonomicky silnějších odběratelů. Zpočátku se jednalo převážně o sjednocení struktury a formátů obchodní a technické dokumentace umožňující online komunikaci mezi obchodními úseky

s minimálními nároky na kvalifikovanou lidskou pracovní sílu. Zde ve většině případů přizpůsobuje svoji datovou kulturu dodavatel zavedeným zvyklostem a pravidlům odběratele. Pokud se však jedná o komunikaci M2M např. dokumentující momentální kvantitativní a kvalitativní ukazatele rozpracovaných zakázek, akceptuje často odběratel – a mnohdy bez ohledu na to, zda je tuzemský nebo zahraniční – systémy vyvinuté a využívané dodavatelem.

V poslední době je častým problémem způsob expedice komponentů nebo polotovarů u subdodavatele, obvykle malé nebo střední firmy, která zatím pro balení a kompletaci svých produktů využívá výlučně lidské zdroje. A tak při robotické manipulaci s nakupovanými komponenty na vstupu odběratele vyžadují nepřesnosti nebo neshody oproti dohodnutým nákupním podmínkám způsobené zaměstnanci dodavatele další vícepráce, tentokrát už na straně odběratele. Řešením je vybavit expedici dodavatele robotickým pracovištěm, které je pro něj obvykle začátkem implementace Průmyslu 4.0 v jeho firmě.

Celý životní cyklus jakéhokoliv produktu – tedy výrobku nebo služby – lze digitálně zpracovat. Existuje řada softwarových nástrojů, tzv. PLM systémů,¹ pro správu dat vznikajících v rámci jednotlivých fází tohoto cyklu. Nejen v českých firmách je velkým problémem velká roztržitost a často naprostá nekompatibilita využívaného programového vybavení, která je hlavní příčinou neschopnosti s PLM systémy komunikovat. Je jen velmi malé procento českých firem (podle průzkumů cca 8 %), které pracují s relevantními, správně strukturovanými a hlavně validovanými daty v jednotném vnitrofiremním operačním prostředí. To je nutnou podmínkou nejen pro efektivní řízení veškerých vnitrofiremních procesů, ale i efektivní integraci do dodavatelských řetězců a schopnosti poskytovat další digitální služby na firemní produkty navázané. Velmi účinným nástrojem pro komunikaci podél hodnototvorných řetězců jsou nově vznikající platformy a aliance typu Gaia-X [7] (o Gaia-X více v kapitole 7) nebo Catena-X [8] a je potěšitelné, že se do nich české subjekty – jak instituce, tak i firmy – začínají zapojovat. Spolehlivá a bezpečná komunikace v dodavatelských ekosystémech najde také uplatnění díky nefinančnímu ESG reportingu. I přesto, že tento reporting bude vyžadován od roku 2025 pouze od firem s více než 250 zaměstnanci a ročním obratem nad 40 mil. EUR, budou nuceni jejich subdodavatelé se na datových podkladech pro tento reporting podílet.

U českých firem se také velmi často setkáváme s rozporem mezi digitální vyspělostí vnitrofiremních procesů a digitální vyspělostí jejich produktů. Mnohdy jsou výrobky, které splňují základní atributy Průmyslu 4.0, jako např. schopnost online komunikace, autonomní reparametrizace a rekonfigurovatelnost, vyráběny způsobem, který není vhodný ani pro velmi jednoduché prvky průmyslové automatizace. Není to jen otázka investičních nákladů, ale i schopnosti učinit strategická rozhodnutí s delším časovým dopadem.

1 PLM – Product Lifecycle Management

2.4 Rozhodující technologické oblasti

2.4.1 Robotika a pokročilá automatizace

Ze statistik vydávaných například IFR² vyplývá [9], že zatímco před rokem 2019 rostl počet robotů v českém průmyslu zhruba o 20 % ročně, je za poslední čtyři roky roční přírůstek spíše kolem 10 %. V období před rokem 2019 jsme byli svědky masivního nasazování velkého počtu robotů zejména v automobilovém průmyslu, případně u subdodavatelů komponent pro toto průmyslové odvětví. Tedy tam, kde se setkáváme s vysokou sériovostí a velmi rychlým výrobním taktům. Další oblast, co do počtu implementovaných robotů, se v té době týkala náhrady lidské práce v chemických provozech, farmacii nevyjímaje, a v potravinářských odvětvích. Potřeba robotů ve výše uvedených provozech nebyla ani dnes saturována, ale tempo jejich instalací už není takové. Na druhou stranu zaznamenáváme v posledních letech rozvoj robotických pracovišť v provozech se zhoršenými pracovními podmínkami, například při manipulaci s polotovary či postupně dokončovanými výrobky v kovárnách, slévárnách, při výrobě keramiky apod.

Roste poptávka po pracovištích, která umožňují vyrábět malé série vysoce kustomizovaných výrobků sestávající z robotů vyznačujících se velmi jemnou haptikou, doplněné strojovým viděním a další pokročilou senzorikou splňující všechny atributy konceptu Průmysl 4.0. Postupně nachází uplatnění ve většině oborů zpracovatelského průmyslu, včetně např. výroby prvků a komponentů pro stavebnictví (ocelové výztuže, sendvičové stěny, výplně stavebních otvorů), ale i výroby hudebních nástrojů. Tato robotická pracoviště vznikají i v malých a středních firmách, které využívají systémové integrátory (velmi často také z kategorie malých a středních firem), kteří jsou schopni s vysokou erudiicí spolupracovat nejen při návrhu a realizaci konkrétního pracoviště, ale i na jeho pravidelné údržbě a potřebných úpravách vyvolaných např. změnami produktu.

Implementace robota nebo rozsáhlejšího robotického pracoviště je vždy spojena se zásadními úpravami stávajících procesů. To se mnohdy vyplatí, až když vstupuje do výroby nový, případně významně inovovaný produkt, u něhož se již ve fázi konstrukčního návrhu předpokládá využití robotů při jeho výrobě, kompletaci, testování, ale např. i balení a skladování. Existuje několik příkladů velmi špatné praxe, kdy si firma nakoupila cenově velmi výhodné roboty a jejich začlenění do stávajících výrobních operací bylo tak finančně i časově náročné, že roboty skončily ve skladu a na jejich místo se vrátili manipulanti a operátoři původního strojního vybavení.

2 International Federation of Robotics – profesionální nezisková organizace založená v roce 1987

Velmi významně se rozvíjející oblastí je kolaborativní a autonomní mobilní robotika. Bezprostřední spolupráce s robotem na jednom sdíleném pracovišti, stejně jako činnosti člověka ve společném pracovním prostoru bez bezprostřední spolupráce, jsou i přes komplikace se standardy BOZP a mnohdy i na úkor produktivity práce využívány v celé řadě oborů. Autonomní mobilní robotika přestává být doménou pouze logistických center a provozů zajišťujících kompletaci zásilek ze stovek a někdy i tisíců hmotnostně i objemově rozdílných předmětů. Tento typ robotů se stále více uplatňuje i v českém strojírenství, kde nahrazuje operátory manipulující s polotovary, výrobky i nástroji, ale také v elektrotechnickém průmyslu a ve stavebnictví. Nedostatkem v oblasti autonomní mobilní robotiky je stále přetrvávající skepse ve využívání algoritmů strojového učení, stejně jako nedostatek systémových integrátorů, kteří by se tímto problémem intenzivněji zabývali.

2.4.2 Využití strojového učení a dalších algoritmů umělé inteligence

Už v roce 2018 byla Svazem průmyslu a dopravy ČR založena Platforma pro umělou inteligenci sdružující kromě zhruba 60 firem také zástupce akademické obce a zástupce významných institucí, jako například Úřadu vlády ČR, Ministerstva průmyslu a obchodu a Ministerstva kultury. Po změnách ve struktuře platformy v roce 2023 je základním cílem všech jejích aktivit naučit české firmy dělat business s umělou inteligencí, a to nejen na straně uživatelů, ale především na straně dodavatelů konkrétních aplikovaných řešení. Jedním z hlavních problémů je stále velmi nízké povědomí českého průmyslového prostředí o tom, co pro něj vlastně algoritmy a systémy umělé inteligence znamenají. Spousta zaměstnanců si i bez dostatečné kvalifikace a odbornosti sice vyzkouší některý z nástrojů generativní umělé inteligence – nejčastěji ChatGPT – a shledá jej zajímavým a inspirativním, ale to s implementací AI do firemních procesů nemá nic společného. Podle ukazatelů Evropské komise pro tzv. program Digitální dekády [10] (blíže v kapitole 10) je v současné době umělá inteligence systematicky využívána pouze ve 4 % českých podniků. Pomineme-li různé chatboty a jim podobné nástroje pro práci s psaným textem nebo řečí, jedná se v průmyslových aplikacích převážně o využívání strojového učení v procesech souvisejících s managementem kvality. V oblasti často zmiňované prediktivní a preskriptivní údržby se daří implementovat algoritmy umělé inteligence zatím jen velmi zřídka. Podobně neuspokojivá situace s praktickým a systematickým využíváním umělé inteligence přetrvává i při vzdálené podpoře servisních zásahů a odstraňování poruch a havárií.

V českém průmyslovém prostředí je stálým, ale často bagatelizovaným problémem kvalita vstupních dat. Jejich příprava (výběr relevantních dat pro konkrétní proces, odpovídající struktura a granularita a zejména validace) je natolik náročná, že jsou mnohdy náklady na tuto přípravu i dvojnásobné než na vytvoření vlastních algoritmů strojového učení. Ukazuje se, že i ten nejlepší diskrétní simulační model výrobního procesu využívaný např. pro pokročilé plánování výroby je nefunkční, pokud má firma

nepořádek v datech a provádí v nich čas od času nestandardní úpravy (např. ve skladovém účetnictví záporné položky – pro sebe narovnávají stav, nikoho nepodvádějí ..., ruční úpravy v docházkovém systému, znovunastavování některých parametrů nebo ruční doplňování datových dávek po výpadku napájení apod.). Odstraňování těchto nekonzistencí znamená spoustu práce a nelze to jednoduše provést například pomocí filtrů opakujících se chyb nebo doplněním dat vytvořených generativní umělou inteligencí. V oblasti průmyslových implementací nástrojů využívajících algoritmy strojového učení roste význam rozšiřování a strukturování dat, která činí tyto algoritmy robustnějšími s cílem dosahovat lepších výsledků v reálném průmyslovém prostředí.

Za velmi inovativní lze označit snahy vytvořit nový prototyp tzv. biomorfního průmyslu. Jeho podstatou je vytvořit za pomoci nástrojů umělé inteligence jistý druh tzv. strojového vědomí analogického vědomí živého organismu. Spočívá v integraci historie událostí, aktuálního stavu a plánovaného stavu do sjednoceného datového obrazu v reálném čase. Tento prototyp je již v České republice testován v několika firmách různé velikosti s pozitivními výsledky. S ohledem na požadovaný objem datových toků a vyžadovanou minimální latenci se jeví jako velmi účelné využívání infrastruktury sítí 5. generace.

2.4.3 Modularita a flexibilita, sdílení výrobních technologií

Jednou z možností, jak dosáhnout vyšší kustomizace výroby bez ohledu na velikost firmy, je sestavení výrobních zařízení z jednotlivých online komunikujících, ale často autonomně pracujících modulů, jejichž konfiguraci lze operativně s relativně vysokou flexibilitou měnit. Podle charakteru produktu a úrovně kustomizace jsou tyto výrobní celky sestavovány v českých firmách z technologických zařízení různých výrobců, často i s různými požadavky na kvalifikaci operátorů a funkci manipulačních prostředků, včetně autonomních mobilních robotů. Díky modularitě a rekonfigurovatelnosti těchto sestav heterogenních prostředků roste význam tzv. modulárních bezpečnostních systémů, na jejichž vývoji a realizaci se podílí významnou měrou i české firmy.

Pozitivním příkladem interoperability nejen mezi obchodními partnery, ale i technologickými zařízeními a logistikou je rozvoj tzv. distribuované výroby. V České republice se zatím uplatňuje zejména v oblasti strojírenství, nicméně vzhledem k potenciálu českých firem lze předpokládat její rozvoj např. ve slévárnictví, produkci obalového skla nebo komponentů pro stavební výrobu. V případě distribuované výroby se nejedná pouze o platformu propojující zájemce-odběratele s potenciálními dodavateli. První komunikace zájemce probíhá s provozovatelem systému, který na základě svého vysoce odborného technologického know-how posoudí proveditelnost požadavku a stanoví portfolio potenciálních dodavatelů. Jsou zde i první pozitivní zkušenosti s využíváním algoritmů umělé inteligence a hlubokého strojového učení.

S dobrým příkladem velmi zdařilé aplikace modulárního systému se můžeme setkat ve společnosti ÚJV Řež, a. s., kde byl v její divizi Radiofarmaka implementován jednotný systém pokrývající proces objednávek, výroby, kontroly kvality a distribuce radiofarmak. Tento proces díky legislativním, ale i technologickým požadavkům na práci s radioaktivně značenými léčivými přípravky zahrnuje nejen mnoho kontrolních bezpečnostních mechanismů předepsaných státními autoritami (SÚKL, SÚJB), ale také splňuje vysoké nároky na optimální načasování výroby, vnitropodnikové manipulace i přepravy k zákazníkům z nemocnic. Kromě jednoznačně pozitivních kvantitativně vyčíslitelných dopadů je nesporným efektem implementace tohoto systému také rozvoj digitální zralosti dalších subjektů vstupujících do tohoto procesu prostřednictvím pokročilých digitálních technologií.

Zdroj: Cena za Průmysl 4.0, SPČR, 2023 [5]

2.4.4 Vnitropodniková datová infrastruktura

Tak jak se postupně v českých firmách mění pohled na vnitropodnikovou datovou architekturu, mění se i potřeba změn v oblasti datové infrastruktury. V současných českých firmách se prolínají cloud a edge computing s potřebami zajištění vysoké provozní spolehlivosti a bezpečnosti datových toků při provozu autonomních mobilních prostředků. V některých konkrétních případech je snaha přesunout výpočetní výkon z lokálních PLC³ prostředků do výkonných centrálních výpočetních struktur, v jiných odůvodněných případech zase opačným směrem ze serverů a cloudů do PLC, koncových průmyslových PC nebo dokonce až do senzorických systémů a akčních členů (např. při procesní výrobě v petrochemii nebo farmacii).

Jistou renesancí zažívají pevně provozované metalické, a zejména optické datové sítě v nově budovaných nebo rekonstruovaných provozech, u nichž není předpoklad změny prostorového uspořádání technologických zařízení. Typickými příklady jsou technologické prostory pro výrobu polovodičů, případně provozy z oboru těžkého strojírenství, petrochemie a dalších. Tam, kde je to technologicky, ale i finančně výhodné, nacházejí uplatnění průmyslové Wi-Fi sítě, které např. ve standardu WiFi6⁴ umožňují navýšit počet paralelně komunikujících zařízení a efektivněji využívat vysílací výkon vedoucí k vyšší propustnosti sítě. Nástup a postupné rozšiřování kampusových a privátních sítí 5G jak v provedení vnitřním, tak i venkovním, znamená další velký posun ke spolehlivému a bezpečnému přenosu velkých objemů dat s minimální latencí. Jejich využívání znamená doslova revoluci v datové komunikaci s mobilními roboty, stejně

3 PLC – Programmable Logic Controller – základní stavební kámen současné etapy průmyslové automatizace

4 Nově využívaná modulace OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access) namísto klasické OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)

jako nejpokročilejšími senzorickými systémy. Velkou výhodou pro firmy je možnost se s technologiemi 5G seznámit, případně si ověřit svá technická řešení v testbedech, které pracují na některých technických univerzitách (ČVUT, VUT, VŠB-TUO).

2.5 Co je nutno překonat

I přesto, že byl koncept Průmysl 4.0 v České republice představen jako národní iniciativa již v roce 2015 a je opakovaně diskutován na fórech určených jak odborné, tak i laické veřejnosti, médiím i politickým reprezentacím a státním institucím, stále existuje řada překážek, které jeho uspokojivé implementaci v českých firmách brání.

2.5.1 Poznání a motivace

- Nepochopení celého konceptu Průmysl 4.0 jako možnosti odpovědi na zásadní problémy českého průmyslu – nízké inovativnosti, vysoké závislosti na méně kvalifikované práci, vysoké energetické náročnosti a vysoké míře subdodávek pro koncové výrobce v jiných státech. Koncept Průmysl 4.0 je nadále vnímán pouze jako změna technologická, nikoli byznysová.
- Neschopnost jasně formulovat cíle a strategie firmy ke zvýšení konkurenceschopnosti, definovat procesy, které ke splnění cílů povedou, a pro realizaci těchto procesů využívat prvky Průmyslu 4.0.
- Neefektivní komunikace při propagaci dobrých praxí.
- Špatné chápání digitální zralosti zaměstnanců pro konkrétní pracovní pozice jakožto neoddelitelnou soustavu dovedností technických a technologických, pro jejichž realizaci jsou využívány dovednosti datové a digitální.
- Přetrvávající přesvědčení, že pokud má firma v současné době díky svému jedinečnému know-how dostatek odběratelů, může na svoji digitální transformaci zcela rezignovat.
- Obavy zejména malých a středních firem ze ztráty a zneužití dat při využívání algoritmů umělé inteligence poskytovaných formou SaaS.⁵

2.5.2 Technika a technologie

- Využívání jednotlivých softwarových nástrojů a systémů vzájemně komplikovaně komunikujících místo směřování k jednotnému integrovanému operačnímu prostředí celé firmy.

5 SaaS – software jako služba – distribuční model, při němž poskytovatel umožňuje pronájem již jednou vytvořené aplikace a uživatel není vázán nákupem licence nebo dalšího technického vybavení

- U malých a středních firem nedůvěra v práci s daty a neochota, ale i neschopnost vytěžit data jak z předvýrobních etap, vlastní výroby, tak i z následného využívání svých produktů.
- Nerespektování standardů BOZP, zejména na sdílených pracovištích s kolaborativními a mobilními roboty.
- Upřednostňování dílčích izolovaných technologických řešení pro eliminaci akutních aktuálních problémů (např. využití strojového vidění umožňující nahradit rutinní psychicky náročné činnosti výstupní kontroly) bez jakékoliv perspektivy jejich komplexnějšího začlenění do jednotného operačního prostředí firmy.

2.5.3 Stát a instituce

- Nepředvídatelné podnikatelské prostředí.
- Nepřehledná a administrativně velmi náročná státní podpora zavádění digitálních technologií zejména pro malé a střední firmy.
- Neustále se měnící státní koncepce priorit výzkumu a vývoje s naprostou rezignací na zvyšování konkurenceschopnosti.
- Stále nedostupná bezpečná a provozně spolehlivá veřejná datová infrastruktura umožňující komunikovat s digitálně gramotnými institucemi.
- Místo deklarované snahy o snižování byrokracie neustále narůstající administrativní požadavky na podnikatelský sektor.
- Nevýjasněné směřování vzdělávacího systému.
- Minimální podpora přizpůsobování pracovní síly dramaticky se měnícímu technologickému světu.

2.6 Zdroje

- [1] SPČR (12. 12. 2023) *Průzkum SP ČR: Firmy se bojí kyberútoků, zlepšují proto ochranu svých dat*. Dostupné z: Svaz průmyslu a dopravy ČR: <https://www.spcr.cz/pro-media/tiskove-zpravy/16465>.
- [2] Národní centrum Průmyslu 4.0 (nedatováno). *Analýza českého průmyslu*. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/analyza-ceskeho-prumyslu>.
- [3] Elektrotechnická asociace České republiky (nedatováno). *Hodnocení digitální zralosti firmy*. Dostupné z: <https://www.electroindustry.cz/prima-podpora-clenu/prumysl-4-0/evaluacni-model>.
- [4] Národní centrum Průmyslu 4.0 (nedatováno). *DigiAudit*. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/digiaudit>.
- [5] Fundaci3n Tecnia Research & Innovation (17. 05. 2021). *Digital Maturity Assessment Tool for European Digital Innovation Hub customers* [online]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/newsroom/repository/document/2021-20/JRC_Tecnia_Digital_Maturity_Assessment_questionnaire_DRAFT_170521_kGy5HH3iPpV3PZ9l3XXDKV8cPY_76296.pdf.

- [6] SPČR (12. 12. 2023). *SP ČR ocenil nejlepší projekty v Ceně za Průmysl 4.0*. Dostupné z: Svaz průmyslu a dopravy ČR: <https://www.spcr.cz/pro-media/tiskove-zpravy/16464>.
- [7] *Gaia-X*. Webové sídlo. Dostupné z: <https://gaia-x.eu/>.
- [8] Catena-X (nedatováno). *Catena-X*. <https://catena-x.net/en/>.
- [9] International Federation of Robotics (nedatováno). *International Federation of Robotics*. Dostupné z: <https://ifr.org/>.
- [10] Evropská komise. *Digitální dekáda Evropy* (27. září 2023). Dostupné z: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/cs/policies/europes-digital-decade>.

3

Technologické předpoklady

*Vladimír Mařík, Libor Beránek, Taťána Bujnochová,
Pavel Burget, Tomáš Froněk, Vít Hadáček, Petr Hampl,
Zdeněk Hanzálek, Jan Hirš, Václav Hlaváč, Radek Hofírek,
Tomáš Jochman, Petr Kadera, Zdeněk Kodejš, Petr Kolář,
Miroslav Kuric, Marek Lampart, Alexandr Lazarov,
Martin Macaš, Robert Macháček, Petr Semotam,
Oto Sládek, Boris Šimák, Věra Šmídová, Pavel Václavek,
Vít Vondrák, Luděk Žalud*

3.1 Úvod

3.1.1 Základní technologické vize

Východiska čtvrté průmyslové revoluce pocházejí z nových modelů provádění lidských pracovních aktivit pomocí internetu a z nového socioekonomického chování lidí a lidské společnosti. To vyvolává potřebu přechodu od izolovaně využívané počítačové a robotické podpory výrobních či administrativních úloh k systémům, kde jednotlivé prvky vzájemně komunikují a ovlivňují se. V takových systémech dochází k propojení světa reálných fyzických objektů (strojů, zařízení, robotů, výrobků, lidí) a světa virtuálního, kde může být každá fyzická jednotka v té či oné podobě dostatečně virtuálně reprezentována, zastupována a její chování simulováno softwarovým modulem. To je technologicky umožněno prudkým rozvojem v oblasti komunikačních technologií, informačních a výpočetních technologií, ve sféře metod a technik kybernetiky a umělé inteligence a v oblasti nových materiálů, výrobních technologií a biotechnologií. Iniciativa Průmysl 4.0 je velmi často zaměňována za digitalizaci nebo napojení strojů na internet. To je velmi zjednodušující a silně deformovaný pohled na Průmysl 4.0.

Výrobní celky (včetně obchodních, ekonomických a manažerských jednotek) chápou Průmysl 4.0 ze systémového pohledu jako složité distribuované systémy vzniklé „inteligentní“ integrací dílčích, samostatně operujících částí (autonomních subsystémů). Integrace je zabezpečována především vhodnou komunikací každého s každým dle okamžité potřeby, vzájemným dohadováním, koordinací činnosti a kooperací mezi au-

tonomními subsystémy. V tomto pojetí mizí smysl centrálního hierarchického řízení a veškeré procesy komunikace a koordinace nabývají decentralizovaný charakter. V extrémních případech může celý výrobní systém fungovat bez centrální řídicí autority.

Pro koncepční řešení projektů Průmysl 4.0 je klíčovým aspektem to, že autonomní jednotku v rámci složitého výrobního systému tvoří nejen výrobní úseky, výrobní stroje a jejich nástroje, nýbrž i transportní vozíky a pásy, roboty, ale zejména i výrobky, částečně zpracované výrobky, dávky vstupního materiálu. Za součást výrobního systému jsou považováni i lidé, přičemž někteří z nich nemusí být fyzicky přítomni ve výrobním závodě. Očekává se, že všechny tyto autonomní jednotky spolu mohou nepřetržitě flexibilně komunikovat, vyjednávat, spolupracovat.

V koncepci Průmyslu 4.0 má každý fyzický objekt, systém či proces svůj virtuální obraz, tzv. **virtuální dvojče** či tzv. **agenta**, který existuje ve virtuálním prostoru jako datová a algoritmická řídicí struktura. Tímto způsobem vzniká inteligentní distribuovaná síť různorodých entit napříč celým řetězcem vytvářejícím hodnotu v průmyslových podnicích. Subsystémy (dvojčata/agenti) pracují a chovají se relativně autonomně a paralelně, navzájem dle potřeby komunikují v režimu peer-to-peer. Takže třeba agent částečně opracovaného výrobku usiluje o to, v jistém výrobním kroku kontaktovat agenta strojů, které by mohly realizovat další plánovaný krok výroby. Na základě výměny informací a vzájemného dohadování mezi agenty relevantních strojů je optimálně vybrán stroj pro další operaci. Nyní agent výrobku kontaktuje agenty různých vhodných transportních zařízení, která by mohla přepravit výrobek k vybranému stroji. Na základě vyjednávání, které probíhá dle standardního postupu (protokolu), je vybrán např. autonomní vozík. Nyní je u konce veškeré vyjednávání a výsledek dosavadního vyjednávání ve virtuálním prostoru se přenáší do fyzického prostoru výroby: pro výrobek přijíždí zvolený autonomní vozík, přebírá ho a odváží k určenému stroji pro další operaci. Agent výrobku nyní začíná s vyjednávacím procesem pro další krok operace.

Aby mohlo docházet k silné komunikační a interakční spolupráci i přesto, že některé prvky zapojené do řešení ani neumějí samy komunikovat, mohou být všichni aktéři reprezentováni softwarovými agenty, kteří jednají za ně a místo nich. V rámci umělé inteligence tak vznikla relativně samostatná vědní oblast, zaměřená na chování, komunikaci, reprezentaci znalostí a strojové učení komunity agentů – tedy oblast multiagentních systémů.

V souvislosti se vznikem virtuálních multiagentních systémů postupně vzniká představa o propojení dvou světů – světa reálných fyzických objektů (strojů, zařízení, robotů, výrobků, lidí), kde se vyrábí, balí, transportuje atd., a světa virtuálního, kde může být každá fyzická jednotka v té či oné podobě dostatečně virtuálně reprezentována, zastupována a její chování simulováno softwarovým modulem (dvojčetem či agentem). Již dnes dochází doslova k prorůstání obou světů. Předpokládá se, že prvky fyzického světa mohou být propojeny navzájem prostřednictvím napojení na internet, kde každý takovýto fyzický prvek má svoji individuální IP adresu – pak se hovoří o internetu věcí (Internet of Things – IoT). Softwarové moduly, reprezentující fyzické elementy ve virtuálním prostoru, společně řeší úlohy, koordinují svoji činnost a rozhodují

s využitím služeb, které si navzájem poskytují či které si vyvolávají prostřednictvím internetu služeb (Internet of Services – IoS). I když z hlediska metodického jde o dva internety, IoT a IoS, ve skutečnosti se často fyzicky používá internet jediný s jedinou páteří infrastrukturou v rámci celého výrobního úseku a realizovanou ve formě ESB (Enterprise Service Bus). Pro roboty a lidi je nutno počítat se speciálními rozhraními umožňujícími mobilní komunikaci, a to i na bázi přirozené řeči, vizuální či hmatové informace – dochází tedy k napojení i na třetí typ internetu, internet lidí (Internet of People – IoP). Lidé jsou aktivním prvkem výrobních zařízení a procesů a jsou ve svém uvažování silně ovlivňováni nejen světem fyzickým, ale i virtuálním. Do hry tedy vstupuje ještě třetí svět, svět sociální. V moderním pojetí Průmyslu 4.0 se tak díváme na výrobní procesy jako na trvalou interakci tří světů: světa fyzického, světa virtuálního a světa sociálního. A význam světa sociálního v souvislosti s rozvojem generativních technologií typu ChatGPT a nárůstem stále se zdokonalujících a sofistikovanějších metod strojového učení trvale roste. Umělá inteligence nasazovaná (nejen) v systémech Průmyslu 4.0 mění dynamicky a viditelně i svět sociální.

Propojení internetu věcí, tedy internetu, do něž jsou přímo zapojena různá fyzická zařízení, a internetu služeb, který známe z našeho běžného života a který nám pomáhá třeba rezervovat letenky či lístky do divadla, vedlo ve vizích k vytvoření představy **integrovaného kyberneticko-fyzického prostoru**, v němž jsou už jen nejasné hranice mezi reálnem a virtuálním. Tyto hranice se mohou dle potřeby posouvat, a to dokonce s neostrou hranicí mezi virtuálním a fyzickým světem – část systému tedy lze ještě simulovat, zatímco další část už funguje na fyzickém zařízení – to pomáhá efektivně např. zvládat náběh výroby či změnu architektury výrobního úseku.

Obdobně roste význam spolupráce lidí a strojů a čím dál tím více se prosazují vize „human-centric production“, tedy výroby, jejímž nejdůležitějším aspektem je ohled na člověka (ve výrobě) a jeho potřeb (jako koncového zákazníka v běžném životě). Vznikají tak nová kritéria pro posuzování efektivity a přínosnosti výrobních úseků z širšího pohledu koncepce Průmyslu 4.0.

Cílem činnosti složitých výrobních systémů i poskytovaných služeb je globální optimalizace. Zde se očekává, že umělá inteligence a kybernetika budou přinášet adekvátní řešení, zejména v oblasti učících se, samoučících se, samooptimalizujících se, samodiagnostikujících se, samoopravujících se a samorekonfigurujících se systémů v distribuovaném prostředí. To jsou úlohy mimořádně těžké, teoreticky i výpočetně náročné. Jejich zavádění do průmyslové praxe vyžaduje hodně motivace a odvahy. Globálním cílem veškerého výzkumného úsilí musí být vývoj softwarových prostředí pro kooperaci a systémovou integraci, vývoj modulárních systémů společně s otevřeným katalogem modulů. Tak bude vytvořen základ pro modulární budování plně popsatelných, transparentních, říditelných, kontext vnímajících a samoučících se výrobních systémů.

Umělá inteligence hraje rozhodující roli při budování systémů Průmyslu 4.0, zejména v současné druhé dekádě implementace tohoto konceptu. Umělá inteligence jako vědní disciplína se stala nepostradatelnou průřezovou výzkumnou oblastí, která nenahraditelným způsobem přispívá ke zpracování obrovského objemu dat, k integraci

složitých systémů různorodé povahy, k simulaci a optimalizaci chování, k řízení autonomie složitých systémů i k řízení vhodné interakce strojů a lidí. Umělá inteligence se stala hlavním hnacím motorem i nástrojem rozvoje Průmyslu 4.0, a tím i transformace celé ekonomiky.

Koncept Průmyslu 4.0 je založen na hluboké **průmyslové integraci** prostřednictvím informačních technologií a s ní spojeném zpracování dat v reálném či takřka reálném čase, sdílení informací a kontinuální komunikaci. Hovoříme o **znalostní integraci**. Znalostmi pro potřeby integrace se rozumějí především strukturované znalosti o tom, s kým a o čem ve složitém systému komunikovat a hledat společně optimální řešení. Znalosti bývají obvykle reprezentovány jako rozsáhlé ontologické struktury (popisující např. výrobní zařízení, výrobní postupy či architekturu výrobku) a jsou uchovávány ve složitějších systémech v samostatných jednotkách – agentech, přístupných všem ostatním agentům. Integrace systémů založená na využívání znalostí bývá velmi účinná, kvalitní a vede k optimálním postupům.

3.1.2 Další technologie podporující základní koncept Průmyslu 4.0

Se zavedením protokolu IPv6 v roce 2012 vznikl prostor pro připojování velkého množství nových zařízení k internetu, protože IPv6 k tomu nabízí dostatečný rozsah adres. V průmyslové automatizaci je zhruba v posledních deseti letech vidět odklon od klasických průmyslových sítí, jejichž nástup a masivní rozvoj se projevil v 90. letech 20. století, k průmyslovým sítím založeným na internetu, Ethernetu i k průmyslovým sítím typu IoT (Zigbee, Sigfox apod.). Dnes existuje řada řešení postavených na mezinárodních standardech IEEE a IEC, které jsou otevřené, neustále dále rozvíjené a podporované stále narůstajícím množstvím světových výrobců. Tato řešení průmyslového Ethernetu s komunikací v reálném čase, což je nutná vlastnost pro automatizační řešení řízení průmyslových procesů, umožňují také komunikaci zařízení z okolního světa internetu právě prostřednictvím protokolu IP (zatím tedy IPv4). Již dnes je např. možné spustit webový server na řídicím systému, který vedle toho řídí přesné polohování výrobního stroje s několika pohybovými osami. Čím dál rychleji se ve výrobních procesech prosazuje **komunikace prostřednictvím 5G sítí**, které umožňují dostatečně privátní, ale zejména velmi rychlou komunikaci s mimořádně nízkou latencí. To je velmi výhodné při řízení rychlých procesů v reálném čase.

Dalším prvkem průmyslové integrace je integrace inženýrských procesů. Již v dnešní době existuje poměrně rozsáhlá podpora digitálního návrhu výrobků, vývoje softwaru i procesů služeb ze strany různých, převážně velkých výrobců s celosvětovým záběrem. Existuje řada CAD systémů, které umožňují navrhovat výrobky od fáze prvního nápadu až po fázi komplexní výrobní dokumentace. Existuje také velká škála softwarových nástrojů, které takto navržené výrobky, resp. jejich výrobní dokumentaci,

dále zpracují a rozšíří tak, aby příslušný výrobní stroj, skupina strojů či celá výrobní linka mohly navržený výrobek vyrobit. Existují možnosti, jak takovou výrobní linku navrhnout a nasimulovat pro daný výrobek. Na základě takto navržené linky je možné postavit linku fyzickou už na konkrétním místě v konkrétní výrobní hale. Výrazně se tak zkracuje čas nutný pro uvedení linky do provozu. Při uvádění do provozu se jenom k lince připojí řídicí systém, který ovládá a koordinuje operace dílčích částí linky. Tento postup je možné dále zkrátit, a tak i zlevnit tím, že se provede tzv. virtuální zprovoznění, kdy se řídicí systém připojí k simulované lince a jeho chování se odladí již v této fázi. Ta může probíhat současně s konstrukcí a montáží linky fyzické. Konečné uvedení do provozu víceméně potom spočívá v jemném nastavování parametrů systému, které může např. eliminovat nepřesnosti simulačního modelu, odlišnosti fyzické instalace od sestavené virtuální linky apod.

Koncept Průmysl 4.0 je postaven také na **analýze velkých dat** (Big Data). Za velká data se obvykle považují data v rozsahu petabytů (10^{15} bytů) a více, která přesahují možnosti současných běžných databázových technologií. Zpracování a analýza velkých dat v oblasti průmyslu přináší zásadní inovativní impuls pro uskutečnění vize čtvrté průmyslové revoluce. Jedná se především o obrazová data, ale i o textová a řečová data z internetu, obchodní, lékařská a bezpečnostní data, různé zdroje signálů a měření, ale i kombinovaná multimodální data, která jsou typická např. pro systémy autonomního řízení aut, zábavní průmysl a média, finanční sektor, dopravu nebo prodej výrobků.

Robotizace průmyslu **autonomními či kolaborativními roboty** coby součást konceptu Průmysl 4.0 je jednou z metod, která cílí na zvýšení produktivity práce. Vliv robotizace na zvyšování produktivity se nebude omezovat jen na strojírenství. Rozvoj robotizace bude třeba současně podpořit budováním potřebné infrastruktury na všech úrovních.

S rostoucími požadavky na sofistikované procesy, které jsou pilířem iniciativy Průmysl 4.0, rostou i nároky na kvalitu **elektronické komunikace a komunikační infrastruktury**. Průvodním jevem automatizace procesů je především nárůst nepersonální komunikace, spojený s obsluhou velkého počtu senzorů a spolupracujících zařízení, a dále přenosem a zpracováním velkých objemů dat. Obecným požadavkem jsou proto spolehlivé a bezpečné vysokorychlostní komunikace, a to prostřednictvím pevných i bezdrátových sítí.

Jedním z pilířů konceptu Průmysl 4.0 je také sběr a vyhodnocení dat z různých zdrojů ať již z oblasti internetu věcí (IoT), z firemních informačních systémů či přímo z výrobních strojů či dokonce komunikace typu stroj-stroj (Machine2Machine). Tato data jsou ukládána do **datových úložišť** a mohou být zpracovávána pomocí **cloudových výpočtů**. Základní vlastností cloudu je to, že se jedná o sdílené zdroje (HW, SW), u nichž je možná vysoká škálovatelnost. Tyto zdroje jsou uživateli přístupné podle jeho potřeby odkudkoliv a kdykoliv pomocí připojení přes internet a uživatel platí jen za ty zdroje, které využívá. Ke sběru, uchování dat, zpracování a zálohování mohou podniky použít veřejná datová úložiště sdílená a dostupná komukoliv, soukromá úložiště provozovaná přímo nebo třetí stranou, ale pouze pro potřeby daného podniku, nebo mohou

také použit tzv. hybridní model, který je kombinací veřejného a soukromého úložiště. Posledním modelem nasazení je komunitní cloud, kde je infrastruktura sdílena několika podniky, které může spojovat oblast zájmu nebo bezpečnostní politika.

Ruku v ruce s rozvojem informatických infrastruktur a řešení se otevírají v rámci konceptu Průmysl 4.0 další možnosti díky rozvoji nových **strojírenských technologií**, jakými jsou např. aditivní či hybridní obrábění, laserové technologie a další, které přinášejí další zrychlení a zefektivnění výroby.

Klíčovou technologií, která umožní změnu výrobních postupů a přinese výrazné zvýšení flexibility, je **aditivní výroba**. ASTM International Committee definuje aditivní výrobu jako proces spojování materiálu dle 3D digitálních dat, nejčastěji vrstvu po vrstvě.⁶ Aditivní výroba (AM) je oficiální termín dle ASTM a ISO, ovšem označení „3D tisk“ je častěji používaným synonymem. Aditivní technologie schopné zpracovávat kovy, plasty a keramiku představují flexibilní, široce uplatnitelné výrobní systémy pracující přímo s 3D digitálními daty. Systém práce se vstupními daty umožňuje multioborové využití na úrovni jak prototypové výroby, tak uživatelsky přizpůsobených (kustomizovaných) dílů a finálních produktů. Technologie umožňuje vyrábět tvarově složité výrobky, které mohou kombinovat více funkcí nebo nahrazovat celé sestavy jediným dílem. Z hlediska obsluhy nevyžadují AM technologie vysokou časovou dotaci na přípravu výroby, příprava dat je poloautomatická a samotná výroba je v podstatě autonomní. Současné AM výrobní systémy jsou již napojeny na internet v rámci IoT. Jasná identifikace v síti umožňuje distribuovat výrobní data automaticky a koncentrovat i služby do jednoho celku. Virtuální navrhování (virtual prototyping) je poměrně často skloňovaným pojmem v oblasti vytváření a přenosu „nejen“ výrobních dat. Stejně tak pojem „Electronic Product Definition (EPD)“ reflektuje potřebu generovat 3D data nejen z hlediska geometrie, ale i z hlediska technologických postupů, meta-dat a systémové a výrobní integrace. Oblast IT pro aditivní technologie reaguje na potřebu nového přenosového formátu prostřednictvím „3MF Consortium“. Konsorcium pracuje na novém typu digitálního formátu, jenž má za cíl umožnit načítání dat různými 3D tiskárnami a výrobními platformami, eliminovat problémy současných formátů a umožňovat uživatelům navrhovat díly s důrazem na funkci a nikoli na technologická omezení, jak je tomu u konvenčních technologií.

Charakteristickým prvkem konceptu Průmysl 4.0 je propojení fyzického a virtuálního světa. Rozšířením lidského vnímání světa o nové informace, které nejsme schopni dostatečně rychle či dokonce vůbec rozpoznat, se zabývá oblast **rozšířené reality** (AR – Augmented Reality). Hlavní doménou AR je přidávání vizuálních informací, tj. obohacení zrakových vjemů. Doplnkovým informačním kanálem je zvuk, obvykle v navigačních systémech a výukových aplikacích. Přidávání dalších informací, např. hmatových nebo čichových, není pro AR typické a objevuje se spíše v aplikacích virtuální reality. Rozšiřující vizuální vjemy mají v jednoduchých AR systémech charakter

6 Additive fabrication, additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, freeform fabrication.

textových popisů umístěných kdekoli v zorném poli, v pokročilých systémech je virtuální rozšíření vizuálně bohaté (2D, 3D) a je umístěno přesně do prostoru sledovaných objektů nebo je dokonce překrývá a nahrazuje.

Potřeba vzájemné interakce člověka a stroje nebo strojů mezi sebou klade velké nároky na sofistikované **senzory**. Sensorika, jakožto obor zahrnující metody a nástroje měření a snímání fyzikálních veličin, v širším pojetí také obrazové a spektrální informace a též detekce chemického složení látek, je nezbytnou, dalo by se říct klíčovou součástí všech systémů průmyslové automatizace. Víze a cíle konceptu Průmyslu 4.0 představují změnu paradigmatu v průmyslové výrobě, kvalitativní skok, který bude také na poli sensoriky znamenat přijetí zcela nových metod, konceptů a řešení. Výzkum a vývoj nových snímačů, senzorů, měřicích a zobrazovacích metod probíhá jednak v podobě dílčích vylepšení, zvláště v přesnosti. Změny v oboru, které by představovaly skutečné posuny paradigmatu a přinesly by nové koncepty, lze shrnout takto:

- **snímání a měření tvarů a dimenzionálních veličin** – i na průmyslové úrovni (nejen laboratorní, metrologické) se stává stále více doménou světla a optických metod a elektromechanické snímače polohy, délky, rozměrů a tvarů lze považovat za zastarávající,
- **strojové a robotické vidění** – klíčovými problémy jsou optika a optoelektronika snímání obrazů ve 3D a pak zpracování a rozpoznávání obrazové informace,
- **masivní nástup optovláknových snímačů** – optovláknové snímače jsou schopné měřit řadu veličin, mechanických, napětí, tlak, vibrace, ale i chemických aj., a navíc elegantně řeší i problém přenosu měřené informace (vlákem),
- **biochemické metody, tzv. biosenzory** – ty se stále více prosazují v oblasti analýzy chemického složení,
- **možnosti prediktivní diagnostiky a údržby** na základě internetového propojení a komunikace mezi relativně autonomními senzory.

Vlastní myšlenkové, filozofické i teoretické jádro pro budování systémů Průmyslu 4.0 však představují **kybernetika a umělá inteligence**. Tyto disciplíny poskytují klíčové technologie pro řešení systémů Průmyslu 4.0. Jedná se jak o teoretické principy organizace, řízení, rozhodování a učení se ve složitých systémech strukturovaných jako soubor volně sdružených autonomních podsystémů, tak i o praktické nástroje a postupy k integraci autonomních systémů, pro automatické řízení výrobních strojů, organizaci inteligentní komunikace a zabezpečování stability globálních řešení. Čím dál tím více se začínají i v rámci Průmyslu 4.0 prosazovat generativní technologie typu GPT (General Pre-Trained Transformer).

Předešlý výčet technologií a vědních oborů není zdaleka konečný. V procesu implementace Průmyslu 4.0 budou své uplatnění nacházet dosud nevyužité technologie a budou vznikat technologie nové. Jednou z technologií, ke které perspektivně vzhlížíme, je kvantové počítání, které je zatím „v plenkách“, ale očekávají se od něj významné pozitivní přínosy.

3.1.3 Testbedy a výzkumné ekosystémy

Pro potřeby výzkumu, vývoje a transferu moderních průmyslových řešení jsou budovány a rozvíjeny specializované laboratoře ve stavebnicovém uspořádání, tzv. **testbedy**, v nichž lze na základě požadavku ověřovat jednotlivé stroje, jejich kooperaci v dílčím či kompletním výrobním úseku, zkoušet aplikace metod umělé inteligence v semireálném prostředí podobném průmyslové realitě. Takovéto testbedy evropského rozměru vznikly v rámci EU projektu RICAIP na CIIRC ČVUT Praha, CEITEC VUT Brno a na VŠB TU Ostrava. Testbedy jsou vzájemně propojeny pomocí 5G internetu nejen mezi sebou, ale i s testbedy DFKI a ZEMA v Saarbrückenu. Testbed na ČVUT se rozkládá na ploše 2600 metrů čtverečních a obsahuje desítky robotů nejrůznějšího typu, transportní systém Montrac, automatizované transportní vozíky, plnohodnotný 5G komunikační systém, unikátní výrobní stroje, včetně obráběcích strojů pro aditivní a subtraktivní výrobu, laserovou svářečskou stanici s výměnnými hlavicemi, 3D tiskárny, systémy počítačového vidění a virtuální reality. Testbed je trvale doplňován o nejnovější hardwarové a softwarové produkty. Již dnes slouží testbedy v České republice českým i evropským podnikům pro realizaci složitých výrobních úloh.

Pro potřeby aplikovaného výzkumu, ale i pro potřeby transferu technologií musí být testbedy **součástí širších výzkumných ekosystémů**. Takový ekosystém byl úspěšně vybudován a je dále rozvíjen např. v CIIRC ČVUT, kde se v jediném výzkumném prostoru propojují výzkumné týmy základního i aplikovaného výzkumu, setkávají špičkoví teoretici evropské či světové úrovně se zkušenými a schopnými aplikátory, a to v nejrůznějších technologických oblastech potřebných pro Průmysl 4.0. Jedná se o odborníky např. v umělé inteligenci, robotice, 3D tisku, aditivním obrábění, laserovém sváření i úpravě povrchu, dále pak informatici se specializací na cloudové výpočty, edge computing, počítačovou bezpečnost či jazykové modely. Nechybějí specialisté na nejrůznější metody strojového učení a konstrukci vysoce distribuovaných řídicích a výrobních systémů, schopných pracovat v reálném čase. Jsou zde i matematici, tvůrci složitých výpočetních distribuovaných systémů i odborníci na standardizaci. Velmi důležitá je přímá návaznost tohoto institutu na evropské výzkumné infrastruktury formou účasti ve 4 ze 6 evropských center excelence v oblasti umělé inteligence a robotiky (VISION, ELISE, TAILOR, EUROBIN), aktivní účasti v konsorciích CLAIRE (sdružení evropských laboratoří v oblasti AI), ELLIS (evropská organizace pro výzkum strojového učení) či zastoupení ve standardizačních konsorciích IDSA a GAIA-X. Tím dostala činnost CIIRC skutečně evropský rozměr.

Obdobné ekosystémy se úspěšně budují na CEITEC VUT Brno a VŠB TU Ostrava, a to za významné podpory evropského projektu RICAIP (Research and Innovation Center for Advanced Industrial Production) financovaného z programu Teaming.

Naše i zahraniční zkušenosti ukazují, že **jedině takovéto široce formované, personálně dobře vybavené výzkumně-vývojové ekosystémy se silnými mezinárodními vazbami a se schopností transferu znalostí a technologií** pomocí takových nástrojů, jako jsou Národní centrum Průmyslu 4.0, Národní centrum kompetence Kybernetika

a umělá inteligence, EDIHy či inkubátory start-upů, **mohou konkrétně přispět průmyslu, českému i evropskému, k realizaci konceptů Průmyslu 4.0.**

3.1.4 Energetické aspekty

Informatické systémy, tedy systémy pracující ve virtuálním prostoru nul a jedniček, zejména však systémy umělé inteligence, spotřebovávají čím dál více energie. Uchovávání a zpracování 1 terabytu dat v datových skladech vyžaduje v průměru 2 MWh energie ročně. Průměrně složitý algoritmus umělé inteligence, založený na hlubokém učení neuronových sítí s průměrným souborem zpracovávaných dat, spotřebuje stovky až tisíce kWh. Natrénování jazykového modelu pro systém GPT-3 spotřebovalo 1 284 MWh elektrické energie. Největší je však spotřeba systémů blockchainových. Jen pro dokreslení: Roční spotřeba energie pro těžení v rámci systému virtuální měny Bitcoin je vyšší než roční výroba elektrické energie v ČR, pro Ethereum je větší než roční výroba energie v Irsku. Celková spotřeba elektrické energie pro provozování všech typů informatických systémů dosahuje řádu procent celosvětové výroby, v roce 2030 bude představovat nejméně 10 % celosvětové produkce.

V našich podmínkách se musíme orientovat na energeticky úsporné zpracování dat: na zpracování co nejbližze zdroji (egde computing), na uchovávání jen výsledků zpracování, zejména metodami umělé inteligence a reprezentativních vzorků dat, co nejbližze zdroji místo dlouhodobého uchovávání velkého objemu nezpracovaných dat. Musíme optimálně distribuovat výpočetní procesy do míst s levnou energií (např. noční proud nebo přebytky FTE). To však vyžaduje další budování obnovitelných zdrojů a baterií, což znamená zvyšování objemu výrobních procesů, které jsou energeticky náročné a nešetrné k životnímu prostředí. Je třeba začít porovnávat metody umělé inteligence a strojového učení i z hlediska energetických nároků. Je tedy nezbytné uvažovat o energetické náročnosti virtuálního světa.

Na druhé straně, bez umělé inteligence nebudeme moci nikdy energetickou soustavu a energeticky náročné výrobní linky optimálně rekonfigurovat a optimalizovat. Zpráva IEA (Mezinárodní energetické agentury) ukazuje, že systémy řízení spotřeby energie založené na umělé inteligenci mohou v budoucnu snížit spotřebu ve špičce až o 10 % a celkovou spotřebu energie až o 15 %. Současně bude umožněno vyhnout se náhlým výpadkům proudu.

V budoucnu se očekává, že technologie umělé inteligence budou neustále zlepšovat fungování tradičního energetického průmyslu a balancovat energetickou spotřebu strojů tím, že budou poskytovat lepší analýzu dat, efektivnější výrobu a distribuci energie, sníženou závislost na neobnovitelných zdrojích energie a pokročilé strategie nakládání s odpady. A nepokryjí náhodou ty očekávané úspory z nasazení umělé inteligence ten očekávaný nárůst spotřeby elektrické energie ve virtuálním světě?

3.2 Vybrané technologie Průmyslu 4.0

3.2.1 Systémová integrace

Znalostní systémová integrace je základem, který umožňuje sbližování digitálních technologií s fyzickými procesy. Holistický přístup spočívá v tom, že spolu různé systémy, stroje a procesy hladce komunikují a spolupracují, což v konečném důsledku přináší efektivitu a flexibilitu v průmyslových provozech. Ve své podstatě je Průmysl 4.0 závislý na propojení a integraci různých komponent ve výrobním prostředí. Tato integrace zahrnuje kyberneticko-fyzikální systémy, internet věcí (IoT), cloud computing, analýzu velkých objemů dat a zahrnuje i umělou inteligenci (AI). Tyto technologie se sbližují a vytvářejí ekosystém, v němž nepřetržitě proudí data, která umožňují inteligentní rozhodování, optimalizují procesy a zvyšují výrobní produktivitu. Spojení těchto technologií umožňuje vytvářet „chytré továrny“, kde jsou stroje vzájemně propojeny, autonomně komunikují a přijímají decentralizovaná rozhodnutí. Například senzory zabudované ve strojích shromažďují v reálném čase údaje o výkonnostních ukazatelích, které jsou následně přenášeny a analyzovány v cloudu. Algoritmy umělé inteligence tato data zpracovávají a předpovídají potřeby údržby, optimalizují výrobní plány nebo dokonce přizpůsobují výrobní procesy v reakci na měnící se požadavky nebo podmínky.

Tato integrace ve výrobním prostředí má tři základní pilíře:

1. **Vertikální integraci výrobních systémů** se rozumí informační provázání podél hierarchické a řídicí struktury podniku. Rámcem vertikální integrace je primárně samotný výrobní podnik. V oblasti vertikální integrace se setkávají dvě klíčová znalostní odvětví řídicí techniky a automatizace s odvětvím vývoje informačních systémů.
2. **Horizontální integrace** podél dodavatelského řetězce propojuje všechny články dodavatelско-odběratelského hodnototvorného řetězce od dodavatelů přes výrobce až po distribuci koncovému zákazníkovi a následný servis. Sdílení informací a dat napříč dodavatelským řetězcem zvyšuje flexibilitu celého procesu, optimalizuje výši zásob a výrazně snižuje výrobní náklady, ale zároveň silně závisí na vysoké dostupnosti a kvalitě infrastruktury vysokorychlostního internetu.
3. **Integrace všech inženýrských procesů**, která je specifickým příkladem horizontální integrace, se odehrává z významné části v rámci výrobního podniku. Jedná se o integraci všech inženýrských procesů v rámci celého životního cyklu produktu. Od samotného plánování životního cyklu, přes hrubé zadání, design, vývoj, realizaci, testování, verifikaci až po poprodejní služby. Integrace inženýrských procesů je základním nástrojem pro získávání zpětné vazby a řízení hlavních procesů zajišťujících optimalizovanou dodávku dle individualizovaných zákaznických požadavků.

Dosažení bezproblémové integrace systémů v rámci Průmyslu 4.0 je však možná největší výzvou, spojenou se zaváděním konceptů Průmyslu 4.0. Zásadním problémem se stává interoperabilita, protože různé stroje a systémy od různých výrobců často využí-

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy Průmysl 4.0 - Základ ekonomické transformace ČR.
Pokud se Vám ukázka líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.