



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## INDUSTRY 4.0 V OBLASTI VÝROBNÍCH STROJŮ

INDUSTRY 4.0 FOR PRODUCTION MACHINES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Procházka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D.

BRNO 2017



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Jakub Procházka</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Industry 4.0 v oblasti výrobních strojů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Rozvoj technologií jako senzorka, augmenty realita, cloud a další s rozvojem vysokorychlostního připojení vede k novým požadavkům na zpřesnění predikování „chování“ strojů a strojních zařízení. Tento směr je u výrobních strojů a strojních zařízení nazýván jako INDUSTRY 4.0, Cyber physical systém (CPS). V rámci bakalářské práce bude představen koncept INDUSTRY 4.0 pro výrobní buňku obsahující CNC obráběcí stroj, průmyslový robot a kontrolní pracoviště. Dále budou vytipovány technologie, které by mohly být v rámci INDUSTRY 4.0 dále nasazeny do výrobní buňky.

### **Cíle bakalářské práce:**

1. Popis konceptu INDUSTRY 4.0.
2. Vytipování technologií vhodných pro zavedení do výrobní buňky.
3. Možnosti zavedení těchto technologií.

### **Seznam doporučené literatury:**

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

WECK, Manfred. Werkzeugmaschinen. 8. neu bearb. Aufl. Berlin: Springer, 2006. ISBN 3-540-225-2-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Předmětem této bakalářské práce je přiblížit vizi konceptu Industry 4.0 v oblasti výrobních strojů. První část je věnována shrnutí světových národních iniciativ reagujících na měnící se podobu dnešního průmyslu. Následuje vysvětlení základních principů a technologií umožňujících vizi uskutečnit. Druhá část je věnována návrhu implementace konceptu do výrobní buňky obsahující CNC obráběcí stroje, průmyslové roboty a kontrolní pracoviště. V této části jsou shrnuty přínosy plynoucí z nasazení popisovaných technologií a také překážky, bránící dosažení cílů vize.

## **ABSTRACT**

The task of this bachelor thesis is to explain the vision of the concept Industry 4.0 in the area of production machines. First part is dedicated to summarize national initiatives in the world which are reacting to the changing conditions of nowadays industry. In this part are also explained basic principles and technologies which allow to make the vision possible. The second part is dedicated to design a workcell with implemented solutions of the concept. This workcell includes CNC machine tools, industrial robots and the control station. There are also summarized benefits of implementing described technologies and obstacles which are standing in the way of achieving the goals of the vision.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Internet věcí, Industry 4.0, kyber-fyzikální systémy, návrh výrobní buňky, provozní optimalizace, autonomní výroba

## **KEYWORDS**

Internet of Things, Industry 4.0, cyber-physical systems, workcell design, operational optimisation, autonomous manufacturing



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PROCHÁZKA, J. *Industry 4.0 v oblasti výrobních strojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D..



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing., Dipl.-Ing Michalu Holubovi, Ph.D. za věnovaný čas, rady a přátelský přístup při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za umožnění studia na vysoké škole a jejich neochvějnou podporu v jeho průběhu.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing., Dipl.-Ing Michala Holuba, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Procházka Jakub



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>INDUSTRY 4.0</b> .....	<b>17</b>
2.1	Vznik pojmu Industry 4.0 a jeho obdoby ve světě .....	17
2.1.1	Evropské iniciativy .....	17
2.1.2	USA .....	19
2.1.3	Asijské iniciativy .....	19
2.2	Základní principy Industry 4.0 .....	21
2.2.1	Internet věcí – Internet of Things (IoT) .....	22
2.2.2	Kyber-fyzikální systémy - Cyber-physical Systems (CPS) .....	26
2.2.3	Big Data .....	28
2.2.4	Cloud Computing .....	31
2.2.5	Rozšířená realita – Augmented Reality .....	32
2.2.6	Aditivní výroba – Additive Manufacturing .....	34
<b>3</b>	<b>KONCEPT INDUSTRY 4.0 PRO VÝROBNÍ BUŇKU</b> .....	<b>37</b>
3.1	Definice výrobní buňky .....	37
3.2	Popis výrobní buňky .....	38
3.2.1	Virtuální návrh výrobní buňky .....	38
3.2.2	Sběr dat .....	42
3.3	Přínosy využívání senzorických dat .....	43
3.3.1	Rekonfigurabilita .....	43
3.3.2	Dostupnost .....	43
3.3.3	Prediktivní údržba .....	44
3.3.4	Predikce poruch .....	44
3.3.5	Vzdálený servis .....	44
3.3.6	Provozní optimalizace .....	45
3.4	Kritická místa konceptu .....	45
3.4.1	Bezpečnost systémů .....	45
3.4.2	Vysokorychlostní internetové sítě .....	46
3.4.3	Nástroje pro zpracování dat .....	46
3.4.4	Cloudová řešení .....	46
3.4.5	Další překážky .....	47
<b>4</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>53</b>



# 1 ÚVOD

Každá ze třech předcházejících průmyslových revolucí znamenala markantní změnu jak ve způsobu výroby, tak i ve způsobu života naprosté většiny lidí, kterých se revoluce týkala. U čtvrté průmyslové revoluce tomu nebude jinak. Již od konce 18. století byly nové objevy impulzem k přechodu od ruční výroby k tovární strojní velkovýrobě. Důvodem byla zvyšující se poptávka, možnost zkvalitnění výrobků, zvýšení celkové efektivity výroby, ulehčení těžké manuální práce a s ní související zlepšení životní úrovně. Postupně se přes rozmach mechanických výrobních zařízení s parním pohonem, zavedení hromadné výroby s užitím elektrické energie a využití výpočetní techniky spolu s elektronickými systémy dostáváme do současnosti, kdy je snaha výrobní prostředí formovat za pomoci nových technologií, jako jsou například počítačové simulace, cloudové výpočty, rozšířená realita nebo analýza velkých dat. Bude uskutečněn také přechod k novým obchodním modelům, jež dokážou využívat nových technologií, v krátkých časech se adaptovat a tím dosáhnout požadované flexibility, efektivity a konkurenceschopnosti.

Industry 4.0 je reakcí na již probíhající změny v průmyslu a ekonomice způsobenými zaváděním informačních technologií a umělé inteligence do výroby, snahou o propojení výrobních zařízení do kyber-fyzikálních systémů a dopad těchto změn je tak enormní, že jsou označovány za čtvrtou průmyslovou revoluci. Pojem Industry 4.0 se objevuje v mnoha odborných časopisech, v programech většiny velkých firem, jeho části začínají pronikat už i do odborné literatury, ale přesto nemá jednotnou definici. To je způsobeno především rychlým a nezadržitelným vývojem nových technologií a rozdílnými národními pohledy na jeho řešení. Pod různými názvy jsou tyto koncepty prezentovány světovými průmyslovými velmocemi. Všechny sdílí podobné vize, ale každá z nich se zároveň zaměřuje na odlišné konkrétní cíle, stanovené s ohledem na historický vývoj průmyslu a aktuální pozici na trhu. Společnými cíli však zůstává výroba, která bude efektivní, ohleduplná k životnímu prostředí a velmi přizpůsobivá požadavkům zákazníků.



## 2 INDUSTRY 4.0

### 2.1 Vznik pojmu Industry 4.0 a jeho obdoby ve světě

První ucelené zveřejnění vizí a základních principů konceptu Industry 4.0 bylo uskutečněno v roce 2011 na Hannoveruském veletrhu jako logická reakce na již probíhající změny v průmyslu, jež jsou považovány za počátek čtvrté průmyslové revoluce. Oficiálně byla však tato německá národní platforma pod názvem „Industrie 4.0“ představena na stejném místě v roce 2013 a okolní svět převzal pojem Industry 4.0 jako mezinárodní označení pro trendy a iniciativy v průmyslové oblasti současnosti a blízké budoucnosti. Na nastupující změny reagují národní iniciativy po celém světě. I když se vize liší prioritami a konkrétními cíli, základní myšlenka zůstává stejná. Zjednodušeně se jedná o optimalizaci výrobních procesů použitím masivní integrace s využitím nových technologií, automatizace a informačních systémů [1].

#### 2.1.1 Evropské iniciativy

##### Německo

Jak bylo již předestřeno, Německo se chopilo pomyslných otěží publikováním své národní platformy Industrie 4.0. Ve své iniciativě očekává budoucnost průmyslu a věří, že má velice dobré předpoklady k udávání tempa celosvětového vývoje v průmyslové oblasti. K jejímu vypracování přispělo mnoho expertů zastupujících výzkumné, akademické a soukromé sféry, kteří byli rozděleni do několika pracovních skupin. Tyto skupiny se zabývaly konceptem chytré továrny, životním prostředím, ekonomickými dopady, dopady na člověka a jeho práci a také technologickým faktorem tohoto konceptu. Dospěly k názoru, že pozornost je potřeba zaměřit na následující oblasti: standardizace a referenční architektura, zajištění technologických předpokladů vize, řízení složitých systémů, kybernetická bezpečnost, reorganizace trhu práce, vzdělávání a právní rámec [2]. Platforma Industrie 4.0 je podporována dalšími výzkumnými a vývojovými iniciativami. Ty se zabývají například podporou malých a středních podniků v zavádění nových digitálních technologií nutných k optimalizaci obchodních procesů a nabídce nových produktů a služeb nebo podporou vývoje autonomních systémů. Z těchto iniciativ jsou to Mittelstand 4.0, Smart Service World a Autonomik for Industrie 4.0 [3].

Hlavními myšlenkami vize jsou přechod od systémů vestavěných k systémům kyberneticko-fyzikálním, provozování Internetu věcí a služeb a docílení konceptu chytré továrny, tedy i maximální optimalizace výroby [4]. Udávání tempa ve vývoji se v zastoupení soukromých firem chopil Siemens, Kuka, Volkswagen, Bosch, Arburg a další. Tyto firmy si momentálně utváří svoje vlastní modely chytré výroby a jako stěžejní krok k naplnění národní iniciativy se tedy jeví standardizace a navázání spolupráce mezi nimi.

##### Česká republika

Česká republika zveřejnila v roce 2016 dokument „Iniciativa Průmysl 4.0“ s dlouhodobým cílem udržení a posílení konkurenceschopnosti v době nástupu čtvrté průmyslové revoluce. Obsahem je především informování o potřebných změnách v českém průmyslu směrem k chytré budoucnosti a z technologického hlediska se jedná o stejné cíle jako u vize německé.

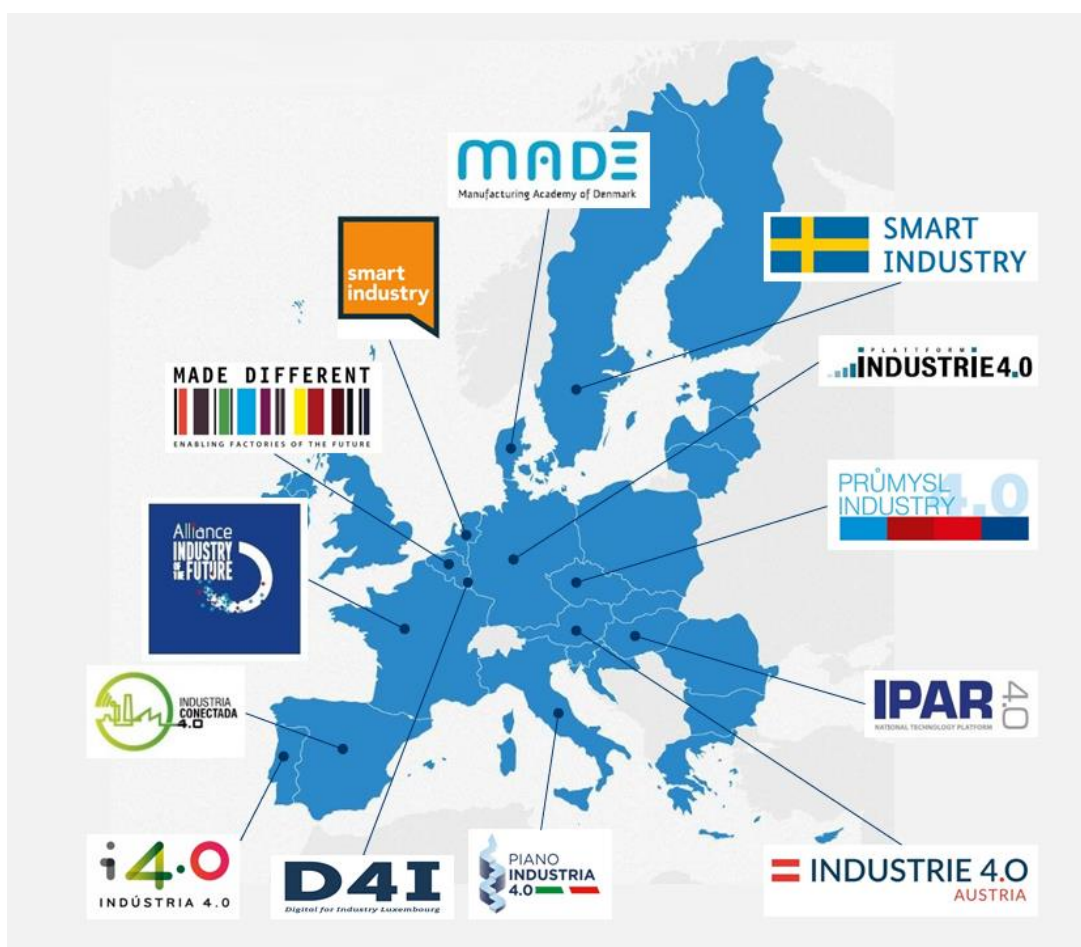
Tím poukazuje na blízkou průmyslovou a obchodní provázanost dvou sousedících zemí. Ostatně většina jmenovaných německých firem má své pobočky v ČR [1].

### Francie

Další významnou iniciativou je také francouzská Industrie du Futur, spuštěná v roce 2015, která zdůrazňuje pět oblastí nutného rozvoje pro budoucí průmysl: rozvoj nových technologií (rozšířená realita, aditivní výroba atd.), vzdělávání, podpora malých a středních podniků, mezinárodní spolupráce v oblasti standardizace a propagace programu. Francie si stanovila hlavní oblasti, kam bude chtít svým programem cílit. Jsou to oblasti nových zdrojů energie a materiálů, správy dat, digitální bezpečnosti, inteligentních přístrojů, ekomobility, konceptu chytrého města, dopravy zítřka, zdravotnictví budoucnosti a zdravého stravování [1].

### Další státy

Evropa se stává jedním z hlavních dějišť průmyslového pokroku a nikdo nechce stát v pozadí. K březnu 2017 spustilo svoji národní iniciativu již 13 členských zemí EU, jež jsou i s názvy svých iniciativ přehledně zobrazeny na Obr. 2.1. Dalších 9 států svoje iniciativy připravuje. Evropská komise do iniciativ podporujících digitalizaci malých a středních podniků (SMEs) již investovala stovky milionů EUR. Výhledově je plánovaná dotace až 5 miliard EUR zajištěná výzkumným a inovačním programem Horizon 2020 [3].



Obr. 2.1 Mapa národních iniciativ zemí Evropské unie [5]

## 2.1.2 USA

### Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC)

Výbor, který dostal za úkol řešit zavedení systémů chytré výroby, byl založen v roce 2010. Do návrhu řešení se zapojilo 75 expertů ze soukromých společností a akademických, vládních a laboratorních institucí, kteří se shodli, že dalším krokem změny průmyslu v USA bude širší využívání simulačních technologií ve výrobních procesech. Vyčleněním částky 500 miliónů USD administrativou Baracka Obamy byla nastartována spolupráce společností, univerzit a různých sdružení, která vede k budování zaoceánské vize. SMLC byla oficiálně ustanovena jako nezisková platforma v roce 2012. Mezi její cíle patří transformace průmyslového sektoru k propojeným, informacemi řízeným prostředím nebo také otevření prvního průmyslového trhu s aplikacemi využitelnými pro optimalizaci výroby [5].

### Manufacturing USA

Barack Obama odstartoval v roce 2011 na doporučení svých poradců z oblasti vědy a techniky program Advanced Manufacturing Partnership (AMP). Ten se zabýval hledáním možností spolupráce mezi akademickými, vládními a soukromými sférami v oblasti průmyslu, sloužící k rozvoji a investování do nových technologií. Snaha byla také probudit inovační aktivitu. Na tento program navázal AMP 2.0, zaměřený na vytvoření vysoce kvalifikovaných pozic, které dají možnost kvalitního zaměstnání střední třídě. Tyto pozice jsou nutností k zavádění nových technologií a cesta k nim vede také přes transformaci současného vzdělávání. Pokračovatelem dvou předchozích programů se stal v roce 2014 program Manufacturing USA. Ten má za úkol rozvíjet a šířit moderní technologie a postupy do výroby [6].

### Industrial Internet Consortium

V roce 2014 vznikla v USA další platforma „Industrial Internet Consortium“. Byla založena pěti nadnárodními společnostmi za účelem propojení akademické, vládní a komerční sféry z důvodu urychlení rozvoje, rozšíření užívání a aplikaci technologií průmyslového Internetu věcí (IIoT). Sdružení se věnuje vytvoření vizí a standardů, které povedou k zajištění vzájemné propojitelnosti a bezpečnosti systémů. V současné době čítá sdružení více než 200 členů a hlavním zájmem jsou momentálně oblasti energetiky, zdravotní péče, dopravy, chytrých měst a průmyslové výroby. Onou hlavní myšlenkou je všechny tyto oblasti optimalizovat prostřednictvím připojení na IoT [7].

## 2.1.3 Asijské iniciativy

### Čína

V roce 2015 byla státní radou prezentována iniciativa Made in China 2025, která má nasměřovat Čínu k pozici průmyslové velmoci číslo jedna v rámci několika desetiletí. Jejím cílem je zvýšení efektivity a integrace průmyslu. Čína plánuje zvednout podíl lokálně vyrobených dílů a materiálů ve svých výrobcích na 40% do roku 2020 a na 70% do roku 2025. Dalším krokem je také vytvoření 40 inovačních center a čínská vláda do projektu investuje v částkách stovek miliard EUR. Iniciativa se v mnohém shoduje s německou vizí Industrie 4.0 a plán vyzdvihuje 10 prioritních oblastí: IT technologie a jejich využití ve

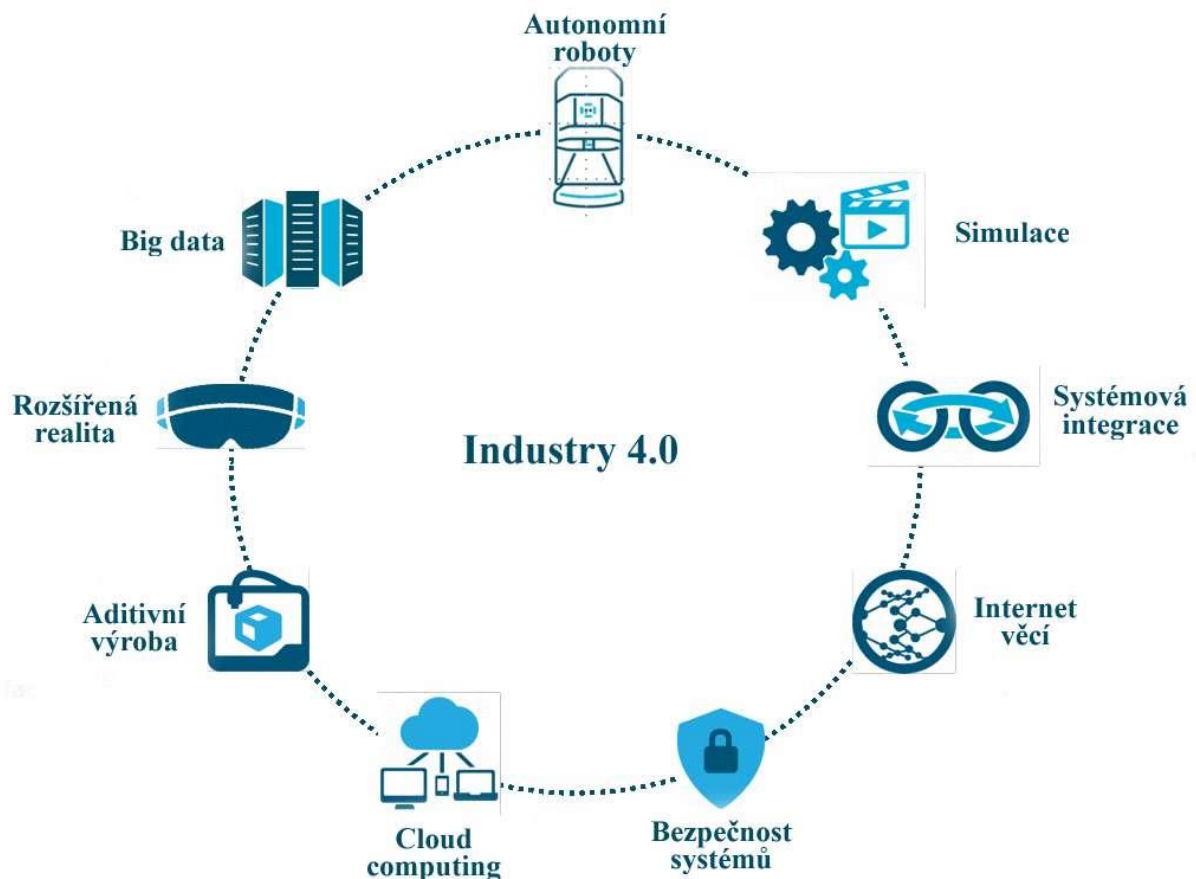
výrobě, automatizované výrobní stroje a roboty, moderní vybavení v leteckém průmyslu, námořní dopravě, a železničních dopravních prostředcích, ekomobilita, energetická zařízení, moderní vybavení v zemědělství, nové materiály a biofarmacie. Čína chce také upřednostnit kvalitu před kvantitou a věnovat se i ekologickým řešením v průmyslu [8].

### Indie

Indie patří mezi světové lídry ve vývoji IT technologií a s ním souvisejícím IoT, který se snaží aplikovat do průmyslu. Iniciativa Make in India má vizi postavení sta chytrých měst na jejím území. První takové je již v procesu budování v Bengaluru a je dotováno firmou Boeing. Německý Bosch odstartuje implementaci chytré výroby ve svých čtrnácti pobočkách v Indii v roce 2018 [9]

### Jižní Korea a Japonsko

V Jižní Koreji byl její vládou v roce 2014 spuštěn program Manufacturing innovation 3.0. Ten se zabývá především budováním chytrých továren, které odpovídají ostatním zahraničním vizím. V Japonsku se program Industrial Valuechain Initiative věnuje od roku 2015 také obdobným principům jako v evropských vizích. Důraz byl ze začátku kladen zejména standardizaci a spolupráci firem všech velikostí, která implementaci změn usnadní [10].



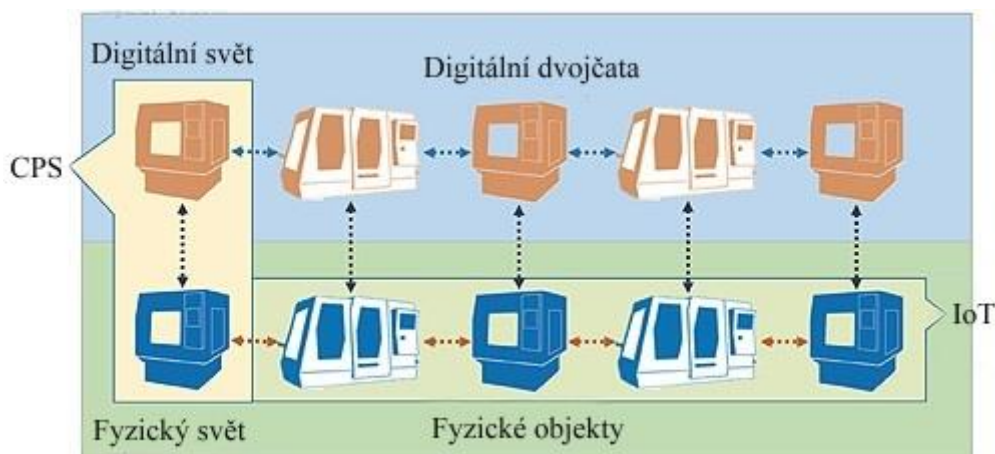
Obr. 2.2 Technologie měnící současný průmysl [11]

## 2.2 Základní principy Industry 4.0

Aby se mohly vize Industry 4.0 uskutečnit, je potřeba provést vertikální a horizontální integraci, která umožní nové možnosti v řízení celých podniků a autonomně se řídících systémech. S touto masivní integrací souvisí také nárůst objemu vyprodukovaných dat a jejich potřebná analýza v co nejkratších časech. Využitelnost velké většiny dat je v současnosti poměrně nízká, ale postupem času se najdou řešení, kdy bude možné data z různých zdrojů efektivně kombinovat, analyzovat a používat právě k autonomnímu řízení. V oblasti ukládání a analýzy dat se v současnosti setkáváme s pojmy, jako jsou „Big Data“ a „cloud computing“. Integrace bude provedena především prostřednictvím Internetu věcí (IoT) a kyber-fyzikálních systémů (CPS).

U těchto pojmů často vzniká určitá významová nejednoznačnost, kdy jejich interpretace závisí na subjektivním úhlu pohledu. Z hlediska využití senzorů, internetu a propojování do sítí se může zdát, že IoT a CPS jsou jeden a tentýž pojem. Kyber-fyzikální systémy jsou často nazývány Internetem věcí z marketingových důvodů pro netechnickou veřejnost. Ovšem není tomu tak, alespoň co se technologického hlediska týče, a proto je nutné v první řadě vysvětlit rozdíl mezi nimi.

K odlišení jejich významů je vhodné vysvětlení zobrazením na Obr. 2.3. IoT je založen na propojení fyzických objektů navzájem mezi sebou či mezi sebou a cloudem pomocí různých komunikačních protokolů. Na IoT se postupně připojuje velké množství objektů, do kterých je možné implementovat chytré senzory, jež dokážou vyprodukovat obrovské množství dat. CPS je charakterizován jako reálný objekt ve spojení s jeho digitálním, identicky se chovajícím dvojčetem (Digital twin), jež ho zastupuje v kybernetickém světě. Pomocí CPS je možné data komplexně analyzovat a dokázat je využít ke zpětnému řízení fyzických objektů. Vize Industry 4.0 spojuje IoT a CPS do jednoho systému, kde budou jednotlivé CPS o velikostech jednoho přístroje, stroje či dokonce celého podniku schopné spolupracovat s ostatními CPS a využívat tak většího množství informací k zpřesnění řízení fyzických objektů. IoT může být tedy chápán jako prostředek umožňující toto propojení uskutečnit a vše povede k vizi chytré továrny, kde bude spousta procesů řízena autonomně [12].



Obr. 2.3 Souvislost IoT a CPS [12]

- **Horizontální integrace:** Je integrací napříč hodnotovým řetězcem. Jejím úkolem je propojit všechny procesy počínající zadáním požadavku dodavateli, dodáním potřebných dílů dopravní firmou do skladu, pokračující přes výrobu a distribuci až k následnému servisu. Díky tomuto provázání celého hodnotového řetězce se otevírá možnost zvýšení efektivity podniku. Obrovskou výhodou této integrace je rychlý přístup k reálným informacím, např. o skladových zásobách. Podniky budou mít možnost efektivněji plánovat výrobu, zredukovat skladové zásoby, optimalizovat logistické trasy a také optimalizovat svoje vlastní výrobní postupy. Tato integrace bude silně závislá na kvalitě vysokorychlostního internetu a míře jeho dostupnosti [1].
- **Integrace inženýrských procesů:** Je označována také jako end-to-end integrace. Jedná se o případ horizontální integrace, který je zúžen především na rámec výrobního podniku a zahrnuje integraci inženýrských procesů od hrubého zadání přes design, vývoj, testování, plánování výroby, samotnou výrobu až po servis či recyklaci produktu. Tato integrace bude možná pomocí různých čipů, čárových kódů nebo chytrých senzorů a umožní ještě větší optimalizaci výrobních procesů na základě požadavků zákazníka [1,2].
- **Vertikální integrace:** Je integrací napříč hierarchií podniku. Dochází zde k propojení informačních systémů s řídicí technikou a automatizací. V budoucím podniku nebudou výrobní procesy pevně předdefinované, naopak budou díky informačním systémům schopné pružně reagovat na aktuální požadavky a tvořit postupy samostatně pro každou situaci zvlášť. Každý prvek bude komunikovat s prvky ostatními a takto bude docházet k vyšší flexibilitě a možnosti rekonfigurace výrobního procesu. Budou kladeny zvýšené nároky na operátory výroby, kteří budou muset porozumět dopadům tohoto přístupu na provoz výrobních systémů [2].

### 2.2.1 Internet věcí – Internet of Things (IoT)

Pojem „Internet of Things“ byl poprvé použit již v roce 1999 britským technologickým průkopníkem Kevinem Ashtonem k popsání systému fyzických objektů připojených k internetu pomocí senzorů. Tento pojem použil k ilustraci využitelnosti RFID<sup>1</sup> čipů. Dnes má Internet věcí ve světě mnoho různých definic popisujících scénáře, v kterých se připojení na internet vztahuje na různé objekty, senzory a zařízení každodenního užití. Myšlenka připojení těchto objektů na síť, kde budou moci navzájem komunikovat, zde byla již od konce 70. let minulého století. Pokrok v bezdrátových technologiích v 90. letech pak umožnil tuto myšlenku realizovat a rozšířit do výroby. Tyto první aplikace komunikace mezi objekty (M2M) avšak byly založeny na připojení k malým sítím vytvořeným za určitým účelem nebo se speciálními standardy, namísto připojení k sítím založeným na internetovém protokolu (IP) a jeho standardech. Prvním zařízením (mimo počítače) využívajícím IP protokol byl v roce 1990 toustovač, který mohl být prostřednictvím internetu zapínán a vypínán. Od této doby byl odstartován vývoj a výzkum propojování chytrých objektů pomocí internetu. Díky tomuto kroku je IoT v dnešní době tak populárním tématem. Vývoj způsobil snížení nákladů, celosvětové akceptování IP protokolu a miniaturizaci potřebných zařízení. Dále proběhl také

---

<sup>1</sup> Radio Frequency Identification (RFID) jsou technologie sloužící k identifikaci, lokalizaci a počítání zboží za využití radiofrekvenčních vln. Data uložená na RFID čípech lze číst a zapisovat pomocí RFID čteček, odkud jsou okamžitě odesílána k zpracování v reálném čase. Tento způsob identifikace nazýváme na systém čárových kódů a v kontrastu s ním je možné rozpoznat více položek v krátkém čase bez nutnosti vizuálního kontaktu a zásahu člověka. Dochází tedy ke zvýšení přesnosti, rychlosti a efektivity logistických, skladových, výrobních a obchodních procesů [13].

nástup cloudových výpočtů a nových možností analýzy dat. Připojení objektů do celosvětové sítě se proto jeví jako krok umožňující nové možnosti v mnoha oblastech. Bohužel různorodost oblastí podněcuje také odlišné chápání a definice pojmu IoT [14].

Americká společnost Gartner popisuje IoT jako síť propojující fyzické objekty, jež obsahují vestavěnou technologii umožňující analýzu stavů, komunikaci či interakci s okolním prostředím [15]. Oxfordský slovník nabízí definici, kde IoT znamená propojení výpočetních zařízení obsažených v objektech každodenního užití na základě internetu a umožňuje jim odesílat a přijímat data [16]. U těchto dvou příkladů je zřejmé, že zatímco v Oxfordském slovníku je propojení objektů definováno na základě internetu, definice společnosti Gartner<sup>2</sup> ho popisuje pouze jako síť a tím je interpretace rozšířena o komunikační modely nepoužívající internet.

Stejným způsobem jako samotná definice IoT se liší i množství odhadovaného počtu k němu připojených zařízení v roce 2020. Jako nejreálnější se jeví odhad společnosti Gartner z února roku 2017, který předpokládá 20,4 miliard připojených zařízení oproti 6,4 miliardám z roku 2016 [17]. Kvůli této skutečnosti se objevila nutnost vylepšení internetového protokolu. Internet Protocol Version 6 (IPv6) byl spuštěn v roce 2012 a postupně tak nahrazuje starou verzi IPv4, která by nedokázala pokrýt potřeby budoucnosti. Hlavním rozdílem je, že IPv6 používá 132 bitové IP adresy oproti 32 bitovým IPv4. Tím byl počet možných IP adres navýšen ze 4,3 miliard na  $3,4 \cdot 10^{38}$  [2].



Obr. 2.4 V budoucnosti je očekáváno připojení desítek miliard zařízení [18]

### **Komunikační modely IoT**

V roce 2015 prezentoval výbor Internet Architecture Board (IAB) dokument RFC 7452 sloužící jako průvodce sítěmi chytrých objektů. Ten popisuje čtyři běžně používané komunikační modely. Jsou jimi přímá komunikace mezi zařízeními samotnými, mezi zařízením a cloudem, mezi zařízením a bránou a back-end komunikační model [19].

<sup>2</sup> Gartner je přední americkou společností zabývající se výzkumem a poradenstvím v oblasti informačních technologií.

- **Komunikace mezi zařízeními (Device-to-Device)**

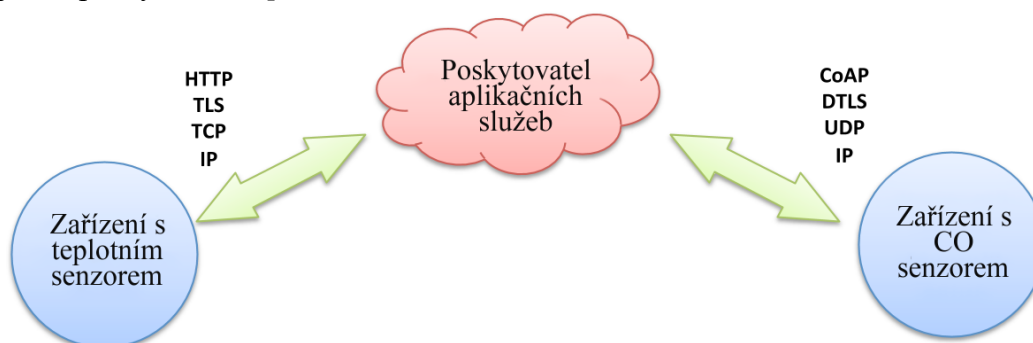
Tento komunikační model reprezentuje dvě nebo více zařízení, která spolu navzájem komunikují a jsou propojena přímo, namísto přes zprostředkovávající server. Tato zařízení dokážou komunikovat na základě mnoha typů sítí zahrnujícími i IP síť nebo internet, ale častěji využívají protokoly jako Bluetooth<sup>3</sup>, ZigBee<sup>4</sup> nebo Z-Wave<sup>5</sup>, které umožní právě ono přímé propojení ilustrované na Obr. 2.5. Tento komunikační model je běžně používán u automatizačních systémů v domácnostech, jež používají malé datové balíčky informací ke komunikaci mezi zařízeními. Typickými příklady jsou žárovky a jejich vypínače, termostaty a zámky dveří. Aplikací je například rozsvícení požadovaného osvětlení při odemčení zámku dveří. Problémem těchto komunikačních protokolů je fakt, že nesplňují společné standardy a nejsou tedy navzájem kompatibilní. To nutí uživatele k výběru zařízení používajících pouze jeden z nich [19].



Obr. 2.5 Bezdrátová komunikace mezi zařízeními od různých výrobců [19]

- **Komunikace mezi zařízením a cloudem (Device-to-Cloud)**

V tomto komunikačním modelu je zařízení připojeno na internetovou cloudovou službu, jež slouží jako server poskytující služby a vzájemnou výměnu dat. Tento přístup využívá výhod již existujících komunikačních mechanismů jako Ethernet nebo Wi-fi připojení k uskutečnění propojení mezi zařízením a IP sítí, která se poté připojí přímo na cloud, což je zobrazeno na Obr. 2.6. Může být však využíváno řady dalších protokolů na obrázku uváděných. Tento komunikační model umožňuje uživateli vzdálený přístup a navíc také možnost samostatné aktualizace zařízení. I u této komunikace však nastávají problémy, pokud nejsou zařízení a cloudové služby od stejného poskytovatele [19].



Obr. 2.6 Komunikace mezi zařízeními a cloudem [19]

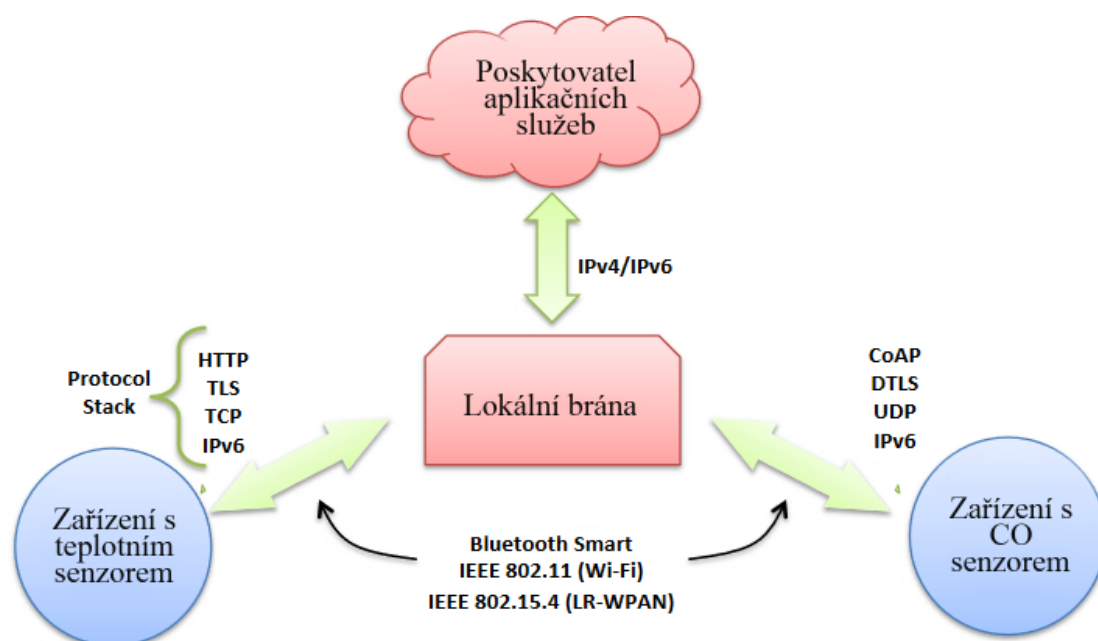
<sup>3</sup> Bluetooth je komunikační protokol s vysokou úsporou energie při komunikaci na malou vzdálenost. Proto je tato technologie vhodná pro nejrůznější chytré senzory, které jsou schopny komunikovat se zařízeními typu tablet nebo chytrý telefon (chytré hodinky, senzory monitorující srdeční činnost atd.)

<sup>4</sup> Zigbee byl vytvořen pro průmyslové aplikace s dosahem až několik stovek metrů a nachází využití především v automatizaci budov, průmyslové výrobě a zdravotnictví

<sup>5</sup> Z-Wave se pyšní vysokou úrovní zabezpečení a používá jinou frekvenci než ostatní komunikační technologie. Využití nachází především v konceptu chytré domácnosti (dálkové ovladače, kouřová čidla atd.)

- **Komunikace mezi zařízením a bránou (Device-to-Gateway)**

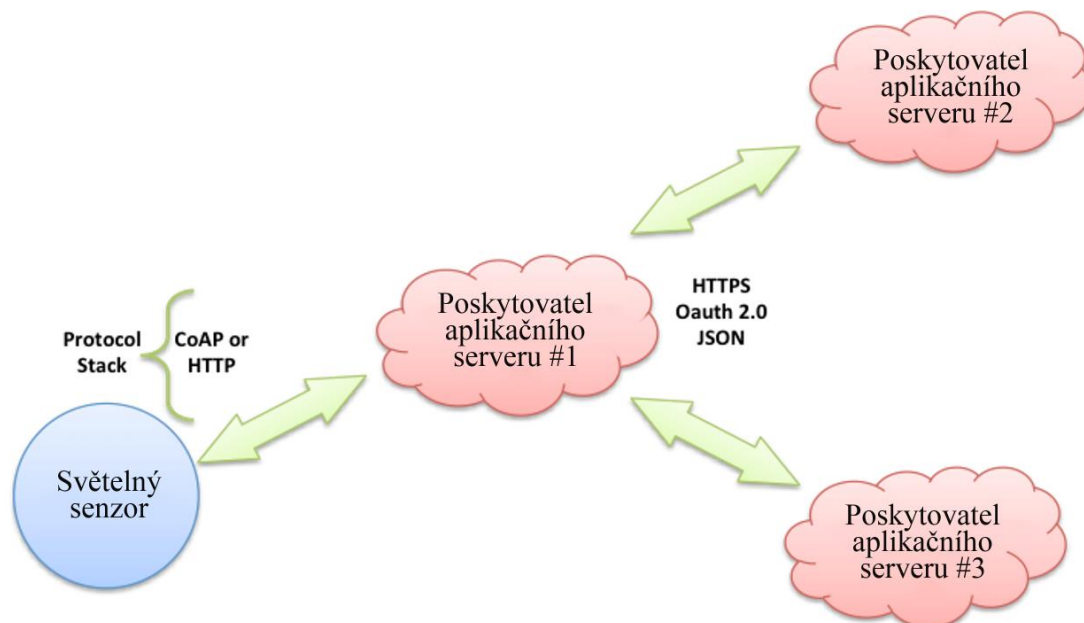
V tomto komunikačním modelu využívá zařízení k připojení ke cloudu navíc bránu (síťový uzel), která slouží jako prostředník mezi zařízením a cloudem. Brána poskytuje možnost propojení sítí s různými komunikačními protokoly. Tento síťový uzel může být například chytrý telefon používající aplikaci, která komunikuje se zařízením a předává data na cloud. Schéma této komunikace je na Obr. 2.7. Konkrétním příkladem jsou tak například různé monitorovací zařízení z oblasti sportu, která se právě přes aplikaci v chytrém telefonu dokážou připojit ke cloudu. Tímto komunikačním modelem lze odstranit i nekompatibilitu zařízení, jež využívají různé komunikační protokoly (Zigbee, Z-Wave). Je vytvořena speciální brána, která dokáže komunikovat s oběma protokoly a zároveň i s cloudem. Pomocí aplikace ve svém chytrém telefonu má potom uživatel přístup ke všem svým zařízením, ať komunikují na základě kteréhokoliv protokolu. Jinými slovy, přístup se používá k připojení nových chytrých zařízení do sítí se zařízeními, která s nimi přirozeně nedokážou komunikovat. Stinnou stránkou jsou vysoké náklady na vývoj těchto bran [19].



Obr. 2.7 Komunikace mezi zařízeními a cloudem přes lokální bránu [19]

- **Back-end komunikační model (Back-End Data-Sharing)**

Tento model umožňuje uživateli odesílat data na cloud a následně analyzovat data z chytrých objektů v kombinaci s daty z jiných zdrojů. Tento přístup je rozšířením jednoduché komunikace mezi jedním zařízením a cloudem. V tomto případě se otevírá možnost sloučit data z různých zařízení do jednoho cloudu (v případě jednoduché komunikace mezi cloudem a zařízením jsou tato data od ostatních izolována) a umožnit tak rychlejší a snadnější analýzu komplexnějších dat [19].



Obr. 2.8 Back-End komunikační model [19]

Internet věcí najde využití v mnoha oblastech. Následující výčet shrnuje ty základní.

- Zdravotnictví – vzdálený přístup k monitorovacím zařízením stavu pacienta v reálných časech
- Domácnost – bezpečnostní systémy, vzdálené řízení připojených zařízení
- Kanceláře – bezpečnostní systémy, optimalizace využití energie
- Továrny – optimalizace výrobních procesů, predikce poruch
- Dopravní prostředky – predikce poruch, komunikace s dopravní infrastrukturou
- Města – monitorování životního prostředí, úspora energie, autonomní řízení plynulosti dopravy, směřování k projektu chytrého města

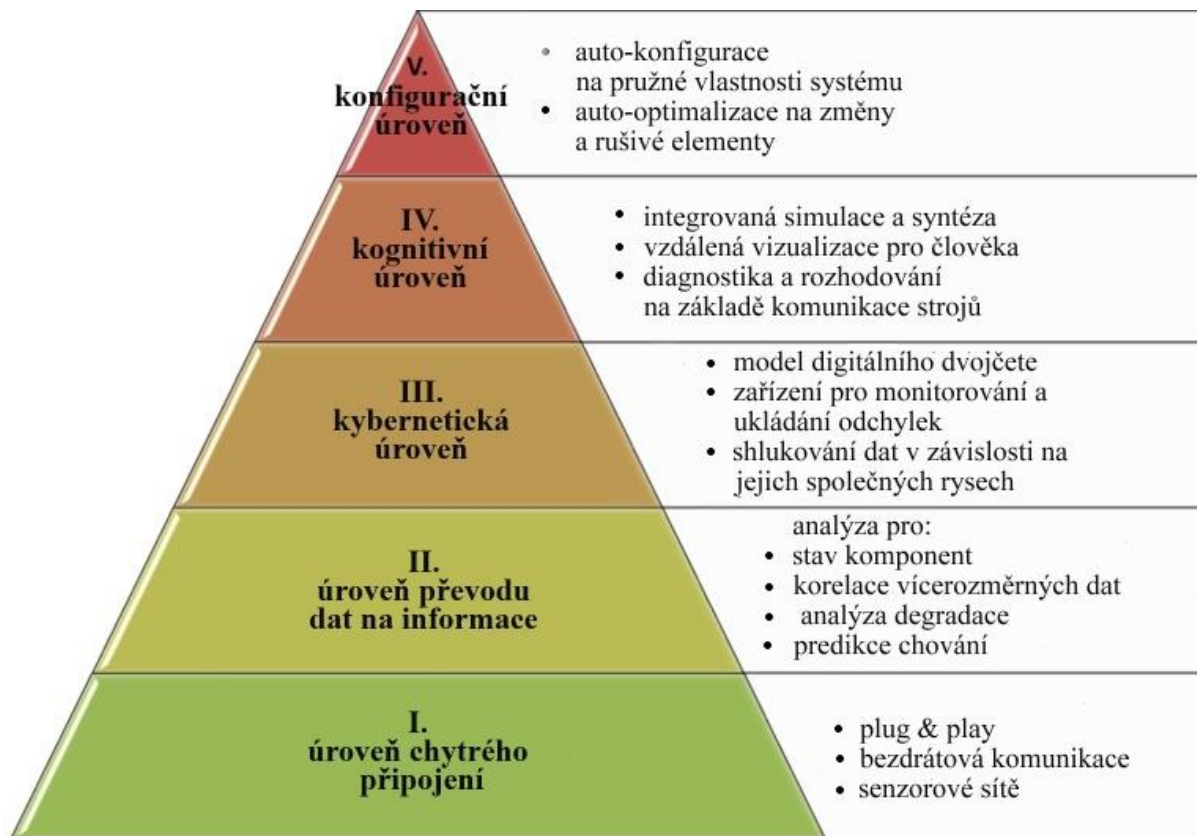
Jako hlavní problémy provozování IoT se jeví kybernetická bezpečnost, spolehlivost, otázka soukromí, problémy standardizace a kompatibility různých zařízení na něj připojených.

### 2.2.2 Kyber-fyzikální systémy - Cyber-physical Systems (CPS)

Kyber-fyzikální systémy jsou kombinací mechanických, elektronických a softwarových komponent, které jsou schopné pružně reagovat na dynamické změny, poskytovat zpětnou vazbu pro řízení objektů a vyměňovat data s informačními systémy a dalšími CPS. Jsou tedy schopné autonomního chování a v budoucích prozozech budou hrát tyto systémy klíčovou roli v optimalizaci celého hodnotového řetězce. Základní myšlenkou je ze systémového pohledu integrace autonomních subsystémů do složitých distribuovaných systémů a to zejména zásluhou umožnění efektivní komunikace každého integrovaného prvku s prvky ostatními. Komunikace probíhá dle potřeby, vzájemným dohadováním, koordinací a spoluprací autonomních subsystémů. Aby tato komunikace byla možná, je potřeba, aby všechny prvky autonomní jednotky byly jasně definované, integrované a schopné komunikovat. Jinými slovy, aby byly připojené na IoT. Mezi tyto prvky tak musíme zařadit nejen výrobní úseky, stroje a jejich nástroje, ale také roboty, transportní prostředky, dávky vstupního materiálu a samotné výrobky, jež o sobě ponosou informace i v nedokončeném stavu. Zásluhou této integrace dochází k decentralizaci řízení a zániku nutnosti centrálního hierarchického řízení, což znamená přechod od vestavěných systémů k systémům kyberneticko-fyzikálním, jež

zajišťují propojení reálného světa se světem virtuálním. Zde se budou uplatňovat metody auto-optimalizace, auto-konfigurace, auto-diagnostiky, strojového vnímání a inteligentní podpory dělníka. Prvotně však musí být tento kyber-fyzikální systém vytvořen [1], [4].

Architektura 5C (Connection, Conversion, Cyber, Cognition, Configuration) na Obr. 2.9 definuje možnost vytvoření CPS v několika úrovních. Ty směřují od zapojování senzorů pro získávání dat přes jejich zpracování a digitalizaci až po autonomní optimalizace a přizpůsobení se změnám vnějších vlivů [20].



Obr. 2.9 Architektura 5C [20]

**I. úroveň chytrého připojení:** Získat přesná a spolehlivá data od strojů a jejich komponent je prvním krokem k nasazování kyber-fyzikálních systémů. Data mohou být získána přímo od senzorů nebo z podnikových informačních systémů, jako jsou ERP či MES. Důležitý je výběr vhodných typů senzorů a bezproblémová bezdrátová metoda k převodu dat na centrální server. V tomto směru je možné vybírat z velkého množství komunikačních protokolů.

**II. úroveň převodu dat na informace:** Samotná data nemají velkou hodnotu a pomocí různých nástrojů a metod je z nich smysluplné informace nutné teprve dostat. V posledních letech byl výzkum zaměřen na vývoj algoritmů především pro účely monitorování stavu zařízení, jeho degradace a predikci dalšího chování.

**III. kybernetická úroveň:** Kybernetická úroveň hraje roli centra informačního dění v této architektuře. Informace je do ní shromažďována z každého připojeného stroje k formování sítí těchto strojů. Tyto velké objemy informací musí být poté pomocí vhodné analýzy zpracovány k poskytnutí lepšího vhledu na stav individuálního stroje. Tato analýza poskytuje možnost porovnávání chování jednoho stroje vzhledem

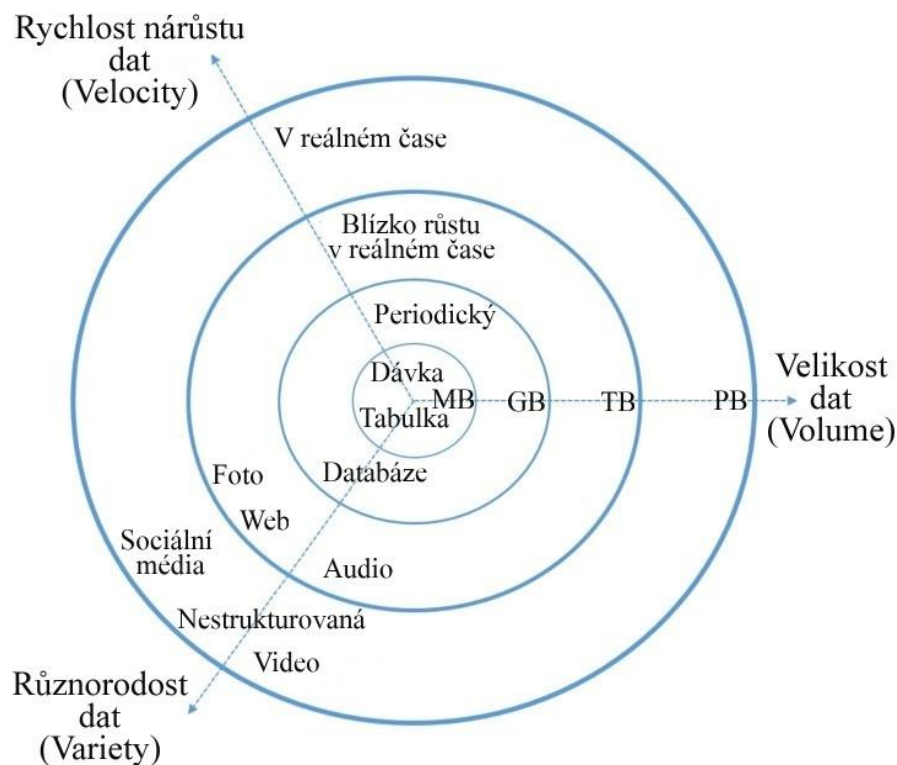
k ostatním strojům ze sítě. Podobnosti mezi chováním strojů nebo historickým chováním tohoto jednoho stroje je možné využít pro predikci jeho budoucího chování.

**IV. kognitivní úroveň:** Tato úroveň umožňuje získané znalosti z předchozí úrovně důsledně prezentovat expertům pro podporu správných rozhodnutí. Na základě těchto informací a znalostí je možné optimalizovat proces údržby. Je nutné, aby informace byly pro člověka co nejvíce srozumitelné a přehledné.

**V. konfigurační úroveň:** V této úrovni je možné využít výstupy z kybernetického prostoru v prostoru fyzickém. Stroje se dokážou samy rekonfigurovat a přizpůsobit vnějším vlivům [20].

### 2.2.3 Big Data

Samotný název napovídá, že se jedná o velké objemy dat, které jsou v dnešní době každodenně produkovány obrovským množstvím senzorů, chytrých telefonů, sociálními sítěmi, finančními transakcemi a dalšími zdroji. Tento objem dat stále vzrůstá a odborníci z firmy IBM hovoří o jeho odhadované velikosti v roce 2020 jako o 40 zettabajtech ( $4 \times 10^{22}$ ) uložených na discích (pro lepší představu by tato data zaplnila 40 miliard pevných disků o velikosti 1 TB) a s dalším exponenciálním růstem do budoucna. V roce 2020 se také očekává nárůst tohoto objemu o 2,8 kvintiliónů ( $2,8 \times 10^{18}$ ) bajtů denně. Jednotnou definici pojem Big Data postrádá, ale většina těchto definic má společný základ ve třech „V“, ilustrovaných na Obr. 2.10, která neumožňují konvenční způsoby zpracování dat. Jsou jimi velikost (volume), rychlost nárůstu (velocity) a různorodost dat (variety). K těmto třem základním „V“ se potom přidávají také další, jako např. věrohodnost (veracity) nebo doba jejich platnosti (validity). To znamená, že data mohou být příliš velká, složitá, rychle se měnící, nepřiliš strukturovaná či neúplná a stejně tak mohou nabývat různých formátů od textového po multimediální. V blízké budoucnosti budou strojově uložená data zvětšovat svůj poměr



v celkovém uloženém objemu, což bude způsobeno zejména chytrými senzory. Aby však data získala hodnotu, je potřeba je uložit, analyzovat a této analýzy následně dokázat využít [20].

Jedním z problémů je způsob, jak ukládat Big Data, aby s nimi bylo možné následně efektivně pracovat. Ve většině případů je dopředu těžké odhadnout, jaká bude struktura sbíraných dat či jakou rychlostí jejich objem poroste. Nejpoužívanějším způsobem tohoto ukládání a správy dat byly v posledních letech tradiční databázové systémy. Z těch jsou nejoblíbenějšími relační databáze, které vycházejí z principu relace reprezentovanou jako tabulka s řádky a sloupci. Tyto databázové systémy jsou charakteristické trvalým ukládáním dat na jeden server (výkonný uzel), řízením souběžného přístupu více uživatelů k němu nebo společnými dotazovacími jazyky sloužícími pro přístup k těmto datům. Pokud nastane potřeba uložit větší objem dat, stačí u těchto relačních databází zvýšit kapacitu serveru. Zálohování probíhá na dalším záložním serveru, kde jsou data duplikována. Big Data však dosahují takových vlastností, že běžné databázové systémy je nejsou schopné rozumně zpracovat, a proto se momentálním řešením stávají například tzv. „NoSQL“ databáze [21].

### NoSQL databáze

Tento pojem má více definic, ale v současnosti je vnímán jako hromadné označení databázových systémů, které začaly vznikat pro efektivní zpracování Big Data na začátku nového tisíciletí. Tyto databázové systémy jsou často vyvíjeny interně pro specifické potřeby gigantů, jako jsou Google či Amazon, nebo jsou vyvíjeny různými start-upovými projekty či open source komunitami. Mezi hlavní výhody patří flexibilní škálovatelnost, kdy je ke zpracování konkrétní úlohy využito její distribuce v rámci množiny uzlů (cluster<sup>6</sup>), která se v případě větší náročnosti na výkon může rozšířit o další uzly. Tento způsob horizontální škálovatelnosti je výhodný i z ekonomického hlediska. Díky rozšiřitelnosti clusteru o další uzly, na které můžeme ukládat data, není potřeba klást na tyto počítače speciální požadavky. Dalším kladnou stránkou je také flexibilní datový model, kdy tyto databáze nevyžadují určení žádného databázového schématu. NoSQL databáze však mají také své mínusy, mezi které můžeme zařadit například otázku standardizace přístupu k datům. V relačních databázích je přístup zajištěn standardizovaným SQL jazykem, avšak v NoSQL si každý databázový systém zavedl svůj vlastní dotazovací jazyk a programovací rozhraní, což klade požadavky na pokročilé programátorské znalosti. Těchto odborníků je ovšem v současnosti bohužel stále nedostatek. Vznik NoSQL databází však nyní neznamená zánik těch relačních. Ty stále mají spoustu vhodných využití a navíc jsou léty prověřené z hlediska stability, spolehlivosti a standardizace. V blízké budoucnosti však budou pravděpodobně vytlačovány s tím, jak se budou NoSQL zdokonalovat [21].

Předchozí text pojednával o databázových systémech, které jsou nejčastěji používány pro zpracování dat způsobem, u kterého se předpokládá, že uložená data jsou aktualizována v závislosti na čase a dotazy jsou vyhodnocovány v reálném čase na reálných, měnících se datech. V kontrastu s nimi je možné uvést datové sklady, které pracují s velkými objemy uložených dat (např. historickými), na kterých se provádí rozsáhlé analytické úlohy. Pro tento typ úloh se NoSQL technologie stávají také vhodným řešením z důvodu jejich možnosti distribuovaného zpracování velkých objemů dat. Tato data jsou získána extrakcí z ERP systémů, sociálních sítí atd. Následně projdou procesem čištění, kdy se odstraní nebo transformují data nevyhovující požadovaným vlastnostem. Následuje ho sjednocovací proces, kdy dochází k integraci dat z různých zdrojů a nakonec probíhá fáze načtení, kdy dojde k

<sup>6</sup> Pojem cluster je v tomto významu chápán jako množina síťově propojených počítačů.

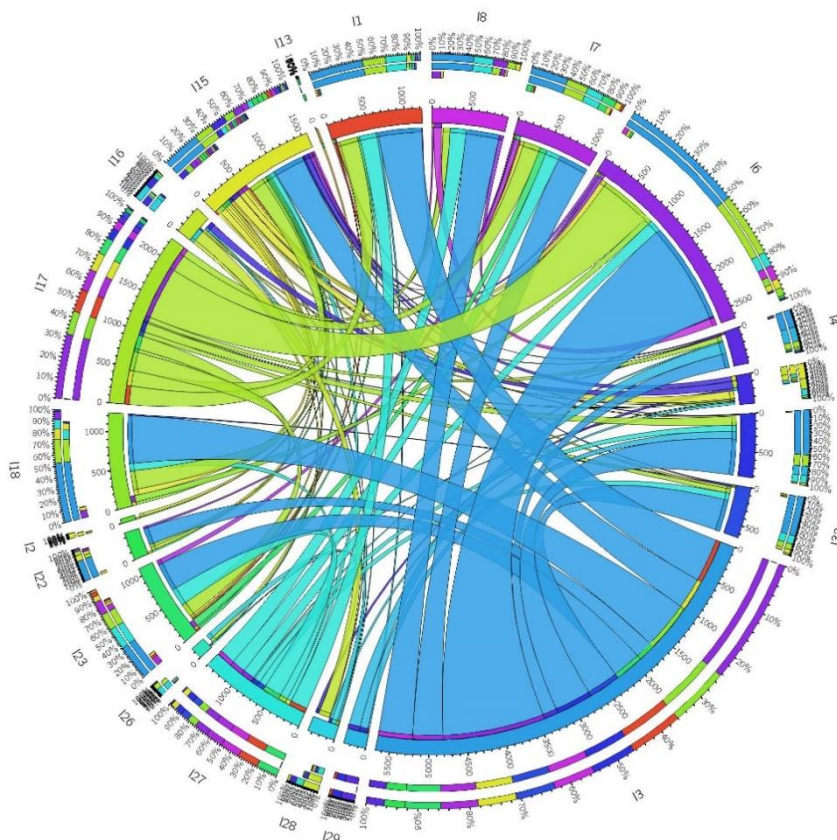
jejich uložení v datovém skladu v několika datových vrstvách rozčleněných do schémat, která odpovídají určitým analyzovaným oblastem [21].

Analýzou Big Data je možné využít mnohem více dat najednou, kombinovat je z různých zdrojů a tím získat kvalitnější výstup s možností optimálního řešení. Objevují se zde možnosti přesnější predikce a včasných upozornění na problémové stavy, kterým prostřednictvím vhodné vizualizace mohou porozumět i méně kvalifikovaní pracovníci. V současnosti zůstává velká část přijatých dat stále nevyužita.

### Vizualizace Big Data

Další otázkou a výzvou je také vizualizace dat, která umožňuje porozumět tomu, co se v nasbíraných datech skrývá. Základním typem zobrazování dat je například křivka ukazující naměřené hodnoty v závislosti na čase a umožňující přehledné sledování měřené vlastnosti. Na poli vizualizace dat je v současnosti mnoho technik, jako jsou sloupcové či koláčové grafy, teplotní mapy, síťové mapy a další. Jejich použití závisí na obsahu těchto dat a moderní vizualizační software již dokáže sám navrhnout vhodný typ vizualizace [21].

Problémem u vizualizace Big Data je jejich objem. Vzhledem k jeho velikosti je možné zobrazit vždy jen část skutečných dat (např. průměr z každých několika položek). Proto je nutné dále specifikovat, kterou další část chceme zobrazit v dalším kroku nebo zda nás daná zobrazená oblast zajímá detailněji. Tímto způsobem zobrazování však může dojít ke ztrátě důležitých informací. Nutností v oblasti moderní vizualizace je odstranění zkreslení a nežádoucích chyb (redukce šumu). Největším problémem vizualizace Big Data je však skutečnost, že data jsou navzájem často propojena a nelze je rozdělit na menší samostatné části, které lze zobrazit tradičními metodami. S tím souvisí, že často je možné zobrazit jenom



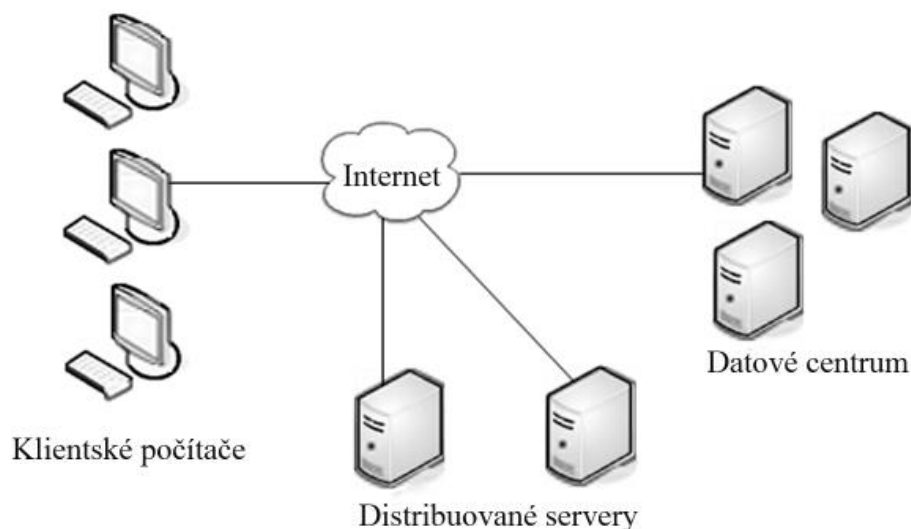
Obr. 2.11 Vizualizace návštěvnosti webových stránek od společnosti Circos [23]

část grafu z důvodu nedostatečně rychlých algoritmů pro velké grafy. Dalším omezením pro zobrazování velkého množství dat může být i rozlišení dané obrazovky, díky kterému již na ní není možné zobrazit více informací. Mezi nejznámější vizualizační nástroje současnosti patří Tableau, Many Eyes či Gephi. Většina z nich však nedokáže zpracovávat Big Data na rozdíl od nástrojů Hunk, Circos nebo Watson Analytics. Obr. 2.11 ilustruje, jak mohou vizualizovaná Big Data vypadat, v tomto případě se jedná o nástroj Circos. V tomto případě jsou vizualizována data návštěvnosti webových stránek [21].

## 2.2.4 Cloud Computing

Tento pojem opět poskytuje celou řadu definic z různých úhlů pohledu. Společnost Gartner definuje cloud computing jako způsob poskytování výpočtových kapacit škálovatelných IT prostředků, které jsou zajišťovány formou služby prostřednictvím internetových technologií [15]. Jiná definice hovoří o metodě poskytování IT ve formě služby, kdy zákazník platí jen za to, co právě využívá [23]. Vznik tohoto pojmu mají na svědomí společnosti, jako jsou Google, Amazon, IBM a další lídři v IT oblasti, které začaly pozorovat jistou přeplněnost podniků počítačovou infrastrukturou a možnost počínající stagnace trhu s informačními technologiemi. Na konferencích se proto ujal názor, že by měly být IT nabízeny jako služby a otěži se ujmou právě tyto společnosti. Cloud computing je v síťových schématech označován jako metafora internetu, zobrazovaná obláčkem [24].

Mezi hlavní komponenty cloudu patří klienti, datová centra a distribuované servery, což je ilustrováno na Obr. 2.12. Klienty můžeme rozdělit na mobilní (smartphony), tenké (počítače bez interních pevných disků, kdy zpracování dat zajišťuje server) a tlusté (běžný počítač připojený pomocí webového prohlížeče). Z investičního, energetického a bezpečnostního hlediska jsou momentálně nevhodnějšími tenci klienti. Datová centra jsou servery sloužící k hostování předplacených aplikací. Mohou být realizována například ve stejné budově jako klienti, ale také kdekoli jinde na světě, kde se k nim můžeme připojit prostřednictvím internetu. Distribuované servery si můžeme představit jako servery rozptýlené po celém světě, jež zajišťují vyšší pružnost v poskytovaných službách a jejich bezpečnost. Pro uživatele není z hlediska funkčnosti rozdíl, zda jsou tyto servery umístěny pohromadě v sousední budově nebo odděleně a v různých koutech světa. Hlavní výhodou je, že pokud by došlo k výpadku v jednom místě, je možné využívat přístupu k službě nadále ze serveru jiné lokality [25].



Obr. 2.12 Tři základní komponenty cloud computingu [25]

Mezi služby, které cloud computing poskytuje, řadíme software (Saas – Software as a Service), platformu (PaaS – Platform as a Service) a hardware (HaaS – Hardware as a Service). Pokud hovoříme o softwaru, koncový uživatel může využívat aplikace, o jejichž správu a aktualizace se stará poskytovatel. Pro tyto poskytovatele je tento koncept zajímavý z hlediska trvalých příjmů, kdy uživatelé platí za jejich využívaný software kontinuálně a ne jednorázově. Z pohledu zákazníka patří k výhodám úspora nákladů a přístup odkudkoliv, kde se lze připojit k internetu. PaaS poskytuje prostředky, které jsou potřebné k vytváření aplikací a internetových služeb bez nutného stahování a instalace softwaru. Dále je navržena pro používání více uživateli současně, otevírá se tedy možnost spolupráce izolovaných vývojových týmů. Problémem těchto služeb je interoperabilita a přenositelnost mezi poskytovateli, kdy se tyto úkony stávají velice nákladnými, případně nemožnými. HaaS poskytuje pronájem služeb jako je paměť, místo na serveru nebo úložný prostor [25].

Nespornou výhodou cloud computingu je ekonomické hledisko. Koncový uživatel není nucen kupovat drahý hardware nebo software, ale naopak si ho vzdáleně pronajme a zaplatí pouze za služby, které využil. Potenciál cloudu navíc není omezen výkonností lokálních či vzdálených počítačů a umožňuje uživateli použití hardwarových prostředků, které by si například nemohl dovolit zakoupit z hlediska návratnosti investice. Za náklady na servery, údržbu a aktualizaci softwaru je odpovědná poskytující firma. Tím se pro uživatele snižuje výše investičních a také provozních nákladů. Využívané aplikace jsou připravené pro okamžité použití, aniž by bylo nutné je instalovat. Další ze základních myšlenek a výhod je také vzdálený přístup k aplikacím a datům odkudkoliv za pomoci internetového připojení. Připojení prostřednictvím internetu je však zároveň i nevýhodou. Jeho nestabilita či úplná absence je v tomto případě limitujícím faktorem. Další nevýhodou může být také otázka bezpečnosti dat, kdy je na každém, zda je ochoten podstoupit jisté riziko odcizení citlivých a cenných informací. V souvislosti s cloudem vznikají i legislativní problémy, kdy například poskytovatel a koncový uživatel sídlí v různých zemích s různými právními normami [24].

### 2.2.5 Rozšířená realita – Augmented Reality

Tato technologie pracuje na principu obohacení reálného obrazu světa o virtuálně vytvořené textové, audiovizuální či grafické objekty. Jejím stěžejním prvkem je kamera snímající fyzické prostředí, jehož digitální obraz dokáže přenést na obrazovku zobrazovacích zařízení,



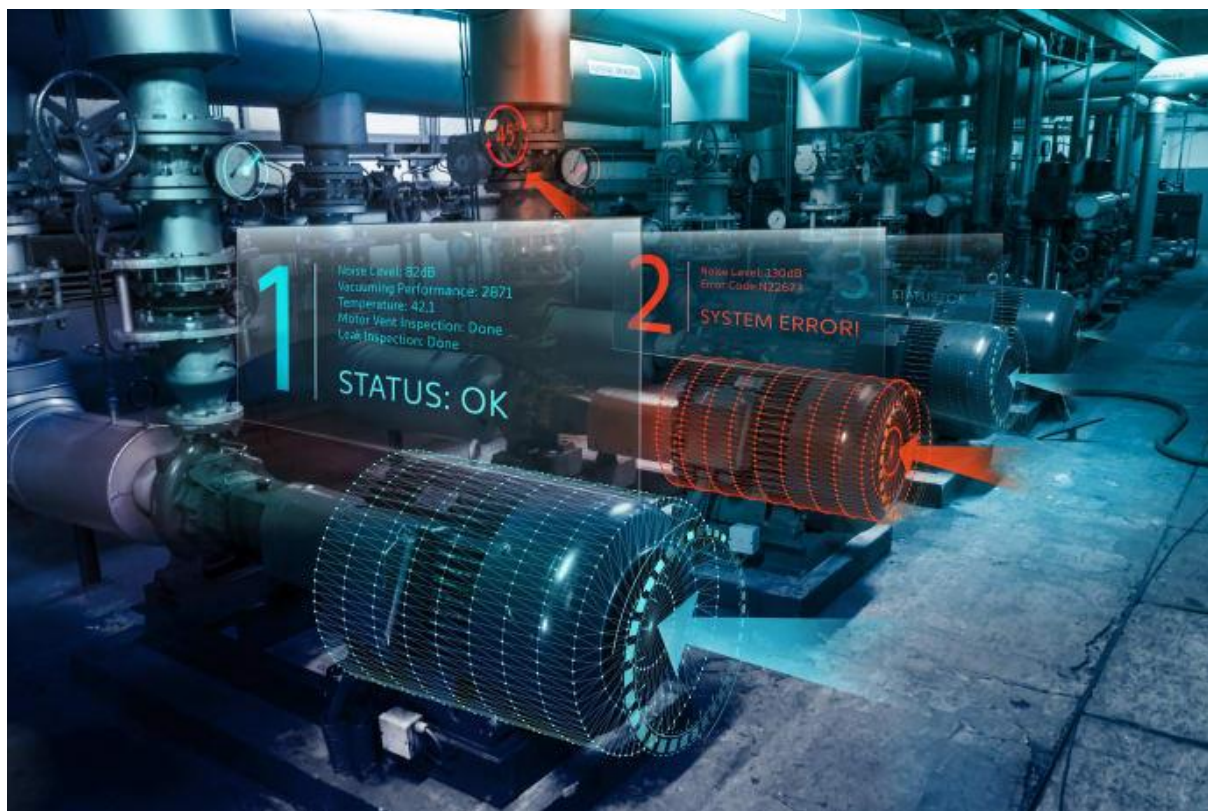
Obr. 2.13 Rozšířená realita jako turistický průvodce [27]

jako jsou tablet nebo chytrý telefon. Zde může být obraz doplněn o další virtuální informace a objekty uložené v databázi. Největším problémem rozšířené reality je však orientace v prostoru a určení polohy uživatele. Řešení tohoto problému je možné více způsoby. Například chytrý telefon je schopen pomocí senzorů, jako jsou gyroskop, akcelerometry a GNSS, určit polohu a směr, který kamera snímá [1].

Prostřednictvím připojení k internetu poté může vyhledat v online databázi virtuální objekt v tomto směru dostupný a následně ho zobrazit uživateli. Velice důležité je zde využití výpočetně náročných algoritmů strojového vidění, které dokážou na základě určitých charakteristických znaků objektu reálného světa identifikovat kam, a jak se má virtuální obraz přesně zobrazit. Další možností k zjištění lokace může být také Internet věcí, kdy jsou snímáné objekty schopné podat informaci o své poloze. Tento způsob využití je vhodný například jako turistický průvodce viz Obr. 2.13 [1], [26].

Pro zjednodušení orientace v prostoru a určení polohy uživatele vzhledem k požadovanému umístění virtuálního objektu se může použít také tzv. marker, což je speciální obrázek (většinou jednoduchý piktogram), který kamera snímá a prostřednictvím aplikačního softwaru je možné vyhodnotit jeho polohu a orientaci vůči uživateli. Na základě této detekce je zobrazovací zařízení schopné umístit do digitálního obrazu doplňující virtuální objekty a informace. Obecně největší slabinou je při této metodě nedostatečné rozlišení kamery a její optika, vzhled markeru a nevhodné světelné podmínky pro jeho snímání. Z těchto důvodů se používají co možná nejjednodušší černobílé piktogramy [26].

Na reálné prvky je například možné zobrazit výstupy analýz z různých simulačních programů nebo zobrazit jejich aktuální stav na základě přístupu zařízení k reálným datům, což umožňuje okamžitou a přehlednou diagnostiku strojů. Na Obr. 2.14 je možné vidět hlášení chyby druhého motoru, kdy hluchnost přesáhla limity a je navrženo možné řešení problému.



Obr. 2.14 Diagnostika stavu přístrojů pomocí rozšířené reality [28]

Využití je možné zejména při servisu či montáži, kdy je možnost zaměstnat i méně kvalifikovanou pracovní sílu, která je pomocí rozšířené reality naváděna krok po kroku, jak daný úkol provést. Technologie rozšířené reality je určena především pro zefektivnění částí průmyslových procesů, které nemůžou být automatizovány a kde hraje roli lidská práce [1].

Většina dnešních aplikací rozšířené reality je uzpůsobena pro video see-through princip využívající digitalizace obrazu reálného světa. Druhým a rychle se rozvíjejícím principem je optical see-through, využívající průhledové brýle, které umožňují promítání virtuálních prvků přímo do prostředí reálného světa. Pracují na způsobu přidávání vizuálních informací přímo do cesty, kterou prochází obraz reálného světa k očím uživatele. Jejich zlepšenou verzí se v budoucnosti stanou inteligentní kontaktní čočky, avšak prozatím není ani vývoj samotných průhledových brýlí dotážen k dokonalosti [1].

Dalšími využitími rozšířené reality jsou například logistické a skladové operace, navigace při servisu či chytrá recyklace výrobků. Rozšířená realita se uplatňuje také ve výuce, reklamě či například vojenském výcviku. Jelikož je rozšířená realita stále poměrně nevyzrálou technologií, spousta efektivních využití bude teprve navržena [1].

### **2.2.6 Aditivní výroba – Additive Manufacturing**

Aditivní technologie, často označované více používaným pojmem 3D tisk, pracují na principu přidávání materiálu ve vrstvách s jejich postupným vytvrzováním. Čím jsou tyto vrstvy tenčí, tím přesnějšího požadovaného tvaru je možné dosáhnout. Aditivní technologie zahrnují několik různých metod, z nichž některé spoléhají například na spékání prášků pomocí laseru. Tyto prášky mohou být různého chemického složení, zrnitosti či fyzikálních vlastností. Podle užití metody se využívají fotopolymery, termoplasty, papíry napuštěné zpevňovací hmotou a pro strojírenství nejdůležitější – kovové prášky. Nejpoužívanější jsou kovové prášky na bázi nerezové oceli, titanu či slitině bronz-nikl [29].

Například metodou SLS (Selective Laser Sintering) je možné vytvářet vytavitelné modely a formy z různých materiálů, pomocí nichž je součást následně odlita nebo je možné součásti tisknout přímo z materiálů kovových. Tato metoda pracuje na nanášení vrstev prášku s jeho následným vytvrzováním pomocí laseru jen na určitých souřadnicích. Když je jedna vrstva vytvrzena, nosná deska se o tloušťku této vrstvy sníží, pomocí válečku je nanášena další vrstva prášku a pokračuje se ve vytvrzování této vrstvy. Tento proces se opakuje, dokud není vyhotoven celý výrobek. Metodou využívanou ve strojírenství může být také DMLS (Direct Metal Laser Sintering), kdy je kovový prášek nanášen tryskou přímo na požadované umístění a ihned spékán laserem. Další metody umožňují vytvrzování fotopolymerů pod hladinou nebo nanášení tenkých vrstev plastu či papíru s následným ořezáváním do požadovaného tvaru vrstvy. Každá z metod má své výhody i nevýhody a její výběr závisí na požadovaných vlastnostech a využití vyrobené součásti [29].

Aditivní způsob využívá k naprogramování výroby virtuálních CAD modelů. Tento model je nahrán do stroje, který ho dokáže optimálně rozvrstvit pro výrobu a naprogramovat dráhy nástrojů [29].

Hlavní výhody aditivních technologií jsou [1], [29]:

- Možnost tvorby tvarově složitých součástí, přičemž je tato součást vyrobena jako jeden kus. Tím vzniká možnost dosažení lepších fyzikálních vlastností a úspora času nutného ke kompletaci součásti u tradiční výroby.

- Úspora nákladů a životního prostředí je možná prostřednictvím bezodpadové výroby součástí, kdy je přebytečný prášek znovu používán.
- Vyroběním modelu lze snadněji nalézt chyby ve výrobní dokumentaci, ověřit vyrobitelnost, prezentovat výrobek zákazníkům a ověřit vhodnost pro sériovou výrobu.
- Lze ušpóřit čas při fázi návrhu i samotné výrobě hotové součásti.
- Je možné zlepšit plánování z hlediska potřebného materiálu a výrobních prostředků.
- Za využití moderních IT technologií je možná vzdálená správa digitalizované výroby.
- Je možná flexibilita výrobního procesu na individuální požadavky zákazníka, aniž by bylo nutné stroj hardwarově složitě rekonfigurovat či zdlouhavě softwarově připravovat.

Cílovým stavem aditivních technologií z pohledu Industry 4.0 je jejich autonomní fungování s možností vzdáleného přístupu. Je nutné jejich propojení hardwaru a softwaru s logistickými systémy, systémy pro plánování výroby a kontrolními systémy do jednoho ekosystému [1].

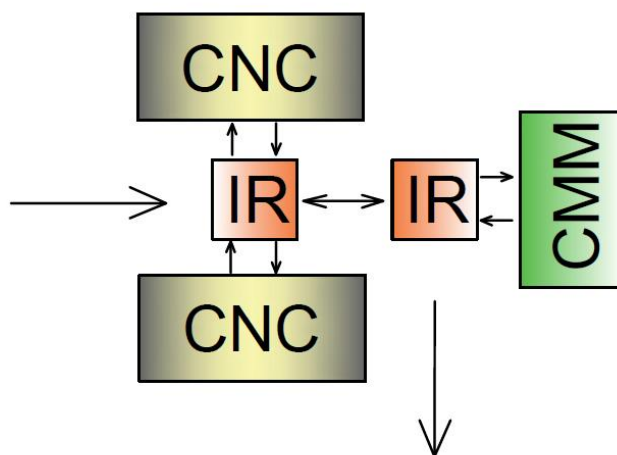


## 3 KONCEPT INDUSTRY 4.0 PRO VÝROBNÍ BUŇKU

### 3.1 Definice výrobní buňky

Výrobní buňka je definována jako uskupení strojů, které jsou k sobě uspořádány na základě produkce výrobků majících společné znaky, jako je výrobní postup, zákazník, velikost či tvar výrobku. Hlavním odlišením od tradičního továrního uspořádání je, že stroje ve výrobní buňce zastřešují různorodé technologické operace potřebné k dokončení výrobku přímo ve výrobní buňce na rozdíl od tradičního způsobu, kdy byly v továrně stroje rozděleny do úseků definovanými určitou technologickou operací a docházelo tak k dávkové výrobě. Výrobní buňky umožňují kontinuální tok jednoho kusu a tím i snížení potřebných skladových zásob, průběžných časů výroby a rychlejší reakci na odhalení chyb a časových ztrát. Výrobní buňky mohou být uspořádány různými způsoby, do tvarů písmen U, L, S a dalších [30].

Pokud se jedná o vlastní návrh buňky pro tuto závěrečnou práci, bude předpokládáno, že uspořádání na Obr. 3.1 je po provedení podrobné procesní analýzy na virtuálním modelu buňky navrženo jako nejoptimálnější řešení pro výrobu obecně definovaného výrobku na obecně definovaných obráběcích strojích. Výrobní buňka obsahuje dva CNC<sup>7</sup> obráběcí stroje, dva průmyslové roboty (IR<sup>8</sup>), kteří výrobní buňku obsluhují a CMM<sup>9</sup>, který kontroluje kvalitu předchozích souborů operací ihned po jejich provedení. Pozornost nebude věnována hodnocení tohoto uspořádání, ale možnostem výroby při implementaci technologií Industry 4.0.



Obr. 3.1 Zjednodušené schéma činnosti výrobní buňky

<sup>7</sup> CNC (Computer Numerical Control) obráběcí stroj je počítačem číslicově řízený stroj uzpůsobený pro práci v automatickém cyklu mající možnost automatické výměny nástrojů nebo obrobků. Mezi dvě základní operace třískového obrábění patří soustružení (pohyb koná obrobek) a frézování (pohyb koná nástroj). V dnešní době se uplatňují multifunkční obráběcí centra, která mají schopnost provádět různé druhy třískových operací (soustružení, frézování, vrtání, broušení) [26].

<sup>8</sup>IR (Industrial robot) je typ robota, který je upraven pro potřeby průmyslové výroby. Jeho paže jsou uzpůsobeny pro činnosti, jako je manipulace s materiálem, svařování atp.

<sup>9</sup> CMM (Coordinate Measuring Machine) je stroj měřící geometrické charakteristiky součástí a slouží jako kontrolní pracoviště. Měří na principu určení základního bodu v prostoru, od něž se měří požadované vzdálenosti ve třech navzájem kolmých osách. Toto měření je uskutečněno sondami, které mohou být mechanické, optické, laserové a další. V současnosti lze tyto sondy kombinovat a dochází tak k multi-senzorovému měření [26].

## 3.2 Popis výrobní buňky

Již samotný obrobek, který je určený k výrobě produktu s individuálními požadavky, ponese například prostřednictvím RFID tagu odkaz do informačního systému podniku, vedoucí k řídicímu programu každého stroje ve výrobní buňce.

Při vstupu do výrobní buňky je obrobek uchopen manipulačním robotem a přiložen k RFID čtečce. Zde je pomocí této technologie přečten, tím je jasně identifikován, a tak je zároveň načten požadovaný výrobní postup. Tímto způsobem de facto budoucí produkt řídí svoji výrobu. Následně první robot přemístí a upne obrobek do určeného výrobního stroje – prvního CNC obráběcího stroje. Ten zároveň obdrží svůj NC program z CAM aplikace, který si dokáže obráběcí stroj vyvolat opět prostřednictvím cloudu. Tento program je nutný pro správné řízení drah nástrojů obráběcího stroje.

Před samotným procesem obrábění je však nutné obrobek zarovnat na požadovanou pozici. Tento úkon může být proveden pomocí dotykové měřicí sondy dostupné v zásobníku nástrojů. Následuje samotné obrábění, které může zahrnovat více druhů operací za předpokladu multifunkčního obráběcího centra. Po splnění zadaného úkolu je obrobek vyjmut a umístěn do palety, automaticky detekující jeho přítomnost prostřednictvím optických snímačů. To vyvolá akci druhého manipulačního robota, jenž obrobek, který je pro něj prozatím neznámý, uchopí a opět přiloží k RFID čtečce pro jeho identifikaci a načtení požadovaného programu dalšího kroku – tentokrát měřicího CMM stroje. Tento stroj může pracovat na různých principech, od mechanického měření sondou přes optické až k laserovým metodám. Na tomto pracovišti je provedeno kontrolní měření, které určí, zda obrobek odpovídá požadavkům po první části obrábění. Tato data jsou zároveň odesílána k podrobné analýze a její výsledky ukládány do historie obrobku. Při kladném hodnocení kontrolního měření je obrobek přemístěn do palety prvního robota, který toto vložení detekuje.

Ten již mezitím obsluhoval další obrobek, proto je nutné, aby byl aktuální obrobek znova přečten RFID čtečkou. Díky tomu je znovu rozpoznán a robot je instruován k dalšímu kroku – tentokrát vložení a upnutí do druhého CNC obráběcího stroje. Zde se bude jednat o technologicky odlišné operace, kterých nebyl první obráběcí stroj schopen. Po dokončení obrábění je obrobek opět podroben kontrolnímu měření na měřicí stanici. Pokud produkt odpovídá finálním požadavkům zákazníka, může být umístěn na dopravník či mobilního robota, který obdobným přečtením RFID kódu výrobku dokáže zajistit expedici.

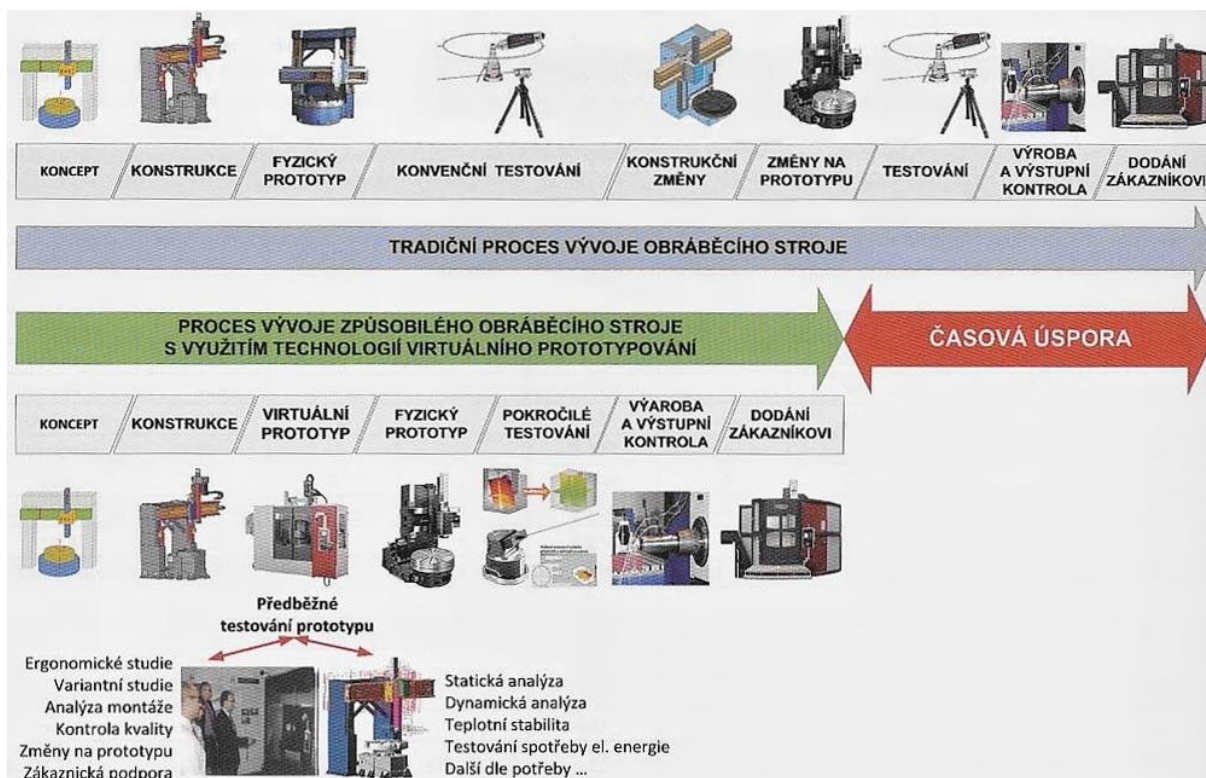
Jak si lze všimnout, dva výrobní stroje jsou obsluhovány jedním manipulačním robotem a zároveň je možné, že nastane situace, kdy budou do přepravky druhého robota umístěny výstupy obráběcích operací v současný moment. Proto je nutná synchronizace procesů již ve fázi virtuálního plánování výroby a jejím kladným produktem je lepší časové využití obou robotů. V případě, že spolehlivá synchronizace nebude možná, je nutné do výrobní buňky přidat další dva roboty a jedno kontrolní pracoviště.

### 3.2.1 Virtuální návrh výrobní buňky

Jedním z předpokladů pro výrobu budoucnosti je využití virtuálních modelů reálných prvků výroby pro různé operace, jako je samotný návrh, simulace, řízení či následná projekce stavů reálných prvků na něj. Dohromady tyto virtuální a fyzické prvky výroby tvoří kyber-fyzikální systém, který je oním mnohokrát skloňovaným propojením digitálního a fyzického světa. Ve vizi Industry 4.0 jsou často virtuální modely označovány pojmem „digitální dvojčata“. Ta jsou počítačovým simulačním modelem identického reálného prvku a rozlišujeme digitální

dvojčata produktu, procesu, zařízení a systému. Digitalizace tak probíhá napříč celým hodnotovým řetězcem a slučuje všechny tyto procesy, stroje, a výrobky do jednoho velkého systému, kde spolu mohou komunikovat. Digitální dvojčata vznikají zároveň s návrhem a po celou dobu životnosti své fyzické verze jsou s ní úzce provázané, přičemž slouží jako její reprezentace ve virtuálním světě. Tato kapitola bude popisována na příkladu obráběcího stroje, ale vztahuje se i na ostatní objekty výrobní buňky. Ostatně tyto úkony probíhají u každého prvku výrobní buňky zvlášť, ale finálním produktem je virtuální prototyp výrobní buňky jako celku.

Virtuální prototyp obráběcího stroje je počítačový simulační model fyzického stroje, u kterého lze snadno měnit technické parametry a rychlým způsobem následně zjišťovat změny v jeho chování. Na rozdíl od konvenčních metod vývoje obráběcího stroje je možné tento proces opakovat mnohem četněji. Hlavními výhodami oproti tradičnímu procesu vývoje jsou úspora času a finančních prostředků, nehledě na cestu k vytvoření digitálního dvojčete stroje, které bude hrát další roli v konceptu chytré továrny. Na Obr 3.2 je zřetelně reprezentována časová úspora virtuálního navrhování. U tradičního testování je vytvořen koncept, který je následně zkonstruován a přenesen do podoby fyzického prototypu. Následuje zdlouhavé a finančně náročné testování, které odhalí nedostatky související s následující nutností konstrukčních změn fyzického prototypu. Tento proces je opakován, dokud nejsou výsledky dostatečně uspokojivé. Následuje samotná výroba s výstupní kontrolou a dodáním stroje zákazníkovi. V kontrastu s tímto tradičním vývojem je uveden vývoj s využitím virtuálního prototypování. Koncept s konstrukcí jsou shodnými kroky, avšak následující krok, kdy je vytvořen virtuální prototyp namísto fyzického, je zásadní změnou. Na virtuálním prototypu je možné provádět různé zátěžové simulace k určení vlastností, jež se více či méně blíží vlastnostem budoucího reálného stroje. Mezi tyto simulace patří např. statická a dynamická analýza, analýza teplotní stability nebo testování spotřeby elektrické energie. Po nalezení



Obr. 3.2 Rozdíl mezi tradičním a moderním procesem vývoje obráběcího stroje [26]

uspokojivého řešení se teprve vyrobí fyzický prototyp, na kterém dojde k finálnímu testování. Následně je stroj vyroben a dodán zákazníkovi [26].

Virtuální modely jsou uplatňovány zejména pro dva cíle. Jsou jimi návrh nového stroje nebo identifikace problémů již existujícího stroje. Vytvoření nového stroje je velice složitou operací vyžadující rozsáhlé znalosti při používání vstupních informací a také rozvinuté modelovací schopnosti. Při předpokladu, že hlavním produktem výroby je obrobek, jsou u něj důležité výstupní hodnoty, jako je přesnost obrobku, jakost povrchu, produktivita výroby a jeho cena. Tyto výstupní hodnoty mohou být ovlivněny i nepatrnou změnou vstupních parametrů, kde se jedna změna na vstupu může týkat více změn na výstupu [26].

Pokud je řeč o identifikaci problémů již existujícího fyzického stroje a následné tvorbě jeho virtuální podoby, můžeme tento proces rozdělit na několik kroků. V prvním kroku je reálný stroj analyzován z hlediska jeho chování v závislosti na působení vnějších vlivů. O tomto chování jsou formulovány otázky, které následně slouží jako cíle zkoumání. V dalším kroku je vytvořen konceptuální model (CAD model), který spočívá v rozkladu stroje na jeho jednotlivé součásti a posuzování nutnosti jejich reálných vlastností (např. zda je potřebné modelovat pružné chování určitých komponent). Tento proces vede k postupnému nahrazování reálných prvků prvky ideálními, z kterých je možné vytvořit výpočtový model, pro který platí zákony mechaniky. To se děje buď náhradou jednoho reálného objektu více ideálními prvky, nebo naopak zjednodušením složité reálné soustavy do jednoho ideálního objektu, který má jasně popsané vlastnosti. Výsledný model by měl být jenom tak složitý, jak je nezbytně potřebné pro splnění daného účelu. Dalším krokem je simulování požadovaného zatížení na vytvořeném matematickém modelu a hledání odpovědí na prvotní otázky. To se v dnešní době děje v různých simulačních programech a po nalezení vhodné optimalizace je možné poznatky aplikovat zpětně na reálný stroj [26].

Počítačovou simulací je rozuměn virtuální experiment s matematickým modelem, který je vložen do softwarového programu k těmto experimentům určeného. Pomocí simulačních programů lze hledat optimální řešení analyzovaných problémů a děje se tak opakovanou změnou vstupních parametrů s následnou analýzou výsledků. Možným využitím je optimalizace obchodních procesů (predikce nákladů blížících se reálným nákladům na výrobu), plánování a řízení výroby (řízení celopodnikových zdrojů či dílenské řízení výroby), logistiky (minimalizace skladových zásob), projektování výrobních strojů (predikce chování stroje v provozu, různé analýzy a projektování změn) a také analýzy výrobních systémů (zjištění dostupnosti požadovaných kapacit, „co když“ analýzy) [26].

### **Modelovací techniky**

V současnosti již CAD/CAM/CAE aplikace pro kvalitní inženýrskou práci ve výrobní oblasti stojí neodlučitelně při sobě a některé programy tak nabízí všechny tři fáze od návrhu modelu, jeho simulaci až po vytvoření programu potřebného pro činnost CNC strojů. Tímto příkladem může být například Catia. V současnosti spěje navrhování a technická dokumentace směrem k trendu bez nutnosti tisku 2D výkresů. Pokud je této dokumentace potřeba, může být dosažena prakticky odkudkoliv ve své digitální podobě prostřednictvím cloudu [26].

- **CAD (Computer Aided Design)** programy jsou základní modelovací technikou pro vytvoření konceptuálních modelů. Kromě samotného vymodelování objektu jsou moderní CAD aplikace vybaveny řadou podpůrných nástrojů pro inženýrskou práci. V této fázi je možné modely zjednodušit a následně je použít pro optimalizaci základních parametrů stroje. Tato optimalizace je u obráběcích strojů s paralelní

kinematikou velice důležitá, protože jsou citlivé na jakkoliv malé změny hodnot geometrických parametrů. Simulace kinematiky a dynamiky může být provedena buď pomocí nástroje přímo v CAD prostředí, nebo může být v případě složitějších mechanismů exportována v podobě geometrického modelu do prostředí CAE aplikací. Jako nejvyužívanější CAD aplikace k tvorbě modelů ve strojírenství můžeme jmenovat aplikace Autodesk Inventor, SolidWorks, Catia nebo Solid Edge [26].

- **CAE (Computer Aided Engineering)** programy umožňují usnadnění inženýrské analýzy za možnosti náročnějších simulací.

**MKP (Metoda konečných prvků/Finite element method – FEM)** je numerickou metodou pro simulaci tepelného šíření a chování pod statickým a dynamickým zatížením objektu (napětově-deformační analýza). Dynamická analýza umožňuje vyšetřovat mechanické soustavy zahrnující poddajná tělesa a oproti statické zahrnuje i působení setrvačných sil. Jak může název napovědět, metoda MKP pracuje na principu rozložení spojitého kontinua do konečného počtu prvků, kdy jsou zjišťované hodnoty požadovaných veličin odečítány v jednotlivých uzlových bodech těchto prvků. Typickým užitím MKP je hledání místa, které má při určitém zatížení nejmenší bezpečnost (je nejvíce zatěžováno) a kontrola navržených částí strojů. Pro řešení dynamických problémů je možno využít modální (popis kmitavých vlastností), harmonické (kmitání ve frekvenční oblasti soustavy), transientní (výpočet přechodových dějů) a teplotní analýzy, která slouží k výpočtům teplotních dilatací majících vliv na geometrickou přesnost obráběcího stroje. Mezi zástupce užívaných programů patří ANSYS či MARC [26].

**MBD (Multibody Dynamics)** umožňují vyšetřovat soustavy tuhých a poddajných těles, která jsou navzájem spojená kinematickými vazbami a pružně tlumícími členy, což jsou jinými slovy například právě obráběcí stroje. MBS je vhodný zejména pro dynamické testování celého stroje, kde jsou při simulaci sledovány technické parametry, jako jsou rychlosti, posunutí či silové a momentové působení na tuto soustavu. Do MBD je možné importovat tuhá tělesa v podobě CAD modelů a doplnit je poddajnými tělesy či obecnými strojními součástmi jako jsou ložiska, ozubená kola či elektrické pohony. Simulink či ADAMS jsou softwarové programy určené k řešení MBD [26].

- **CAM (Computer Aided Manufacturing)** aplikace se používají jako software k počítačovému návrhu programu pro CNC obráběcí stroje. Tento software je schopen při znalosti konkrétního stroje navrhnout program na základě CAD modelu výrobku. Programem se rozumí dráhy nástrojů, jejich výměna atd. Používanými programy jsou např. SolidCAM, Pro/ENGINEER či Catia [26].

### Co-simulační techniky

Tyto techniky, založené na spolupráci řešiče ADAMS a MATLAB/Simulink, jsou vhodné pro vývoj mechatronických soustav, za něž můžeme považovat například roboty, manipulátory, automobily, ale také CNC obráběcí stroje a další. Mechatronická soustava se skládá z vlastní mechanické soustavy, senzorů, aktuátorů, řídicího systému a uživatelského rozhraní. Je vytvořen CAD model mechanické soustavy, který je následně importován do prostředí ADAMS, kde se z něj stane model dynamický přiřazením funkčních vazeb a silového zatížení. Tento model je poté předán do prostředí MATLAB/Simulink, kde je navržen řídicí systém stroje. Ten může být obdobně jako samotný model podroben

virtuálnímu zprovoznění a při následném uvedení do reálného provozu se již jedná pouze o velice jemné odlaďování [26].

### 3.2.2 Sběr dat

Prvním předpokladem jsou citlivé senzory, které dokáží monitorovat stav stroje v reálném čase a získávat tak potřebné informace o jeho aktuálním stavu a provozu z krátkodobého i dlouhodobého hlediska. Obráběcí stroj je sledován desítkami senzorů, které zaznamenávají provozní parametry všech jeho důležitých částí. Pro příklad jsou uvedeny senzory snímající teploty, vibrace, deformace, mazání, chlazení, rychlosti otáček, posuvů a další. Monitorovat lze nástroje, ložiska, polohové vodící systémy, pohony posuvů, včetně atd. Jelikož v současné době stále dochází k zpřesňování sensorického měření, dochází také ke zvyšování přesnosti obrábění. Obecně také platí úměra, že čím více dat ze zvětšujícího se množství senzorů nasbíráme, tím přesnější je možná jejich analýza, která sice nabývá na složitosti, ale objevují se zde větší možnosti její komplexnosti. Pro senzory budoucnosti budou rozhodující trendy jejich miniaturizace, snižování spotřeby energie a snižování ceny. Velkou budoucnost má sensorika v oblasti optických metod namísto postupně zastarávajících metod elektromechanických. Dále jsou to také metody strojového a robotického vidění související právě s optikou. [26].

CNC obráběcí stroj je prostřednictvím senzorů, poskytujících data v reálných časech na cloud, fakticky připojen k IoT. Zároveň však musí být vybaven prvky fyzického řízení, jako jsou aktuátory a pohony, které ho na základě těchto analyzovaných dat vykonávají.



Obr. 3.3 Sensorika CNC obráběcího stroje firem DMG Mori a Schaeffler [31]

### 3.3 Přínosy využívání senzorických dat

#### 3.3.1 Rekonfigurabilita

Ve výrobě budoucnosti bude hrát jednu z hlavních rolí možnost adaptability na individuální požadavky zákazníka. Výrobní buňky proto musí nabízet určitou modulárnost a škálovatelnost konfigurací, umožňující splnit potřeby na výrobu budoucího produktu. Nejvyšší úrovní této přizpůsobivosti je jednodusová výroba vysoké kvality, jejíž produkty nebudou časově náročnější na výrobu než produkty dnešní masové výroby [4]. Tomu také musí odpovídat minimální čas nutný k její rekonfiguraci z hlediska hardwaru i softwaru. Při přijímání objednávky od zákazníka je možné pomocí vertikálně integrovaných informačních systémů ověřit dostupnost výrobních kapacit pro tuto individuální výrobu a naplánovat ji pomocí virtuálního modelování. Pokud má zákazník specifické požadavky, vše může být řešeno online spoluprací prostřednictvím cloudu při tvorbě modelu produktu. Pokud si zákazník navrhne celý produkt sám a výrobní podnik bude schopen rekonfigurovat svoji výrobní buňku pro jeho potřeby, bude možné využít výrobních kapacit jako služby. To znamená, že zákazník zaplatí pouze za využití těchto kapacit a dosáhne naprosto individuálně optimalizovaných produktů výroby.

Rekonfigurace výrobních strojů sloužící k modifikování jednoho produktu do více verzí je ve fázi přípravy snadnější a rychlejší než rekonfigurace pro úplně nový produkt. Je to způsobeno především rozsahem úkonů nutných k této modifikaci. To je ale řeč pouze o fázi přípravy a plánování. Ta je prováděna pomocí virtuálního modelování. Pokud se však jedná přímo o akt rekonfigurace, ta by měla být možná ve shodných časech. Pokud se jedná o hardwarovou rekonfiguraci, je nutné, aby moderní výrobní stroje byly již konstruovány jako multifunkční. Musí tedy nabídnout také vysokou modulárnost svých komponent, které mohou být autonomně vyměňovány v rychlých časech. Multifunkční CNC obráběcí centra jsou poté schopná prostřednictvím velké zásoby nástrojů a možnosti provádění řady různých obráběcích operací provést většinu, ne-li všechny výrobní operace, nutné k dokončení požadovaného produktu na jedno upnutí. Hardwarová stránka rekonfigurace souvisí s tou softwarovou. Potřebné informace k rekonfiguraci obou těchto stránek získá stroj pomocí komunikace s obrobkem. Ten mu poskytne odkaz do datového úložiště, kterého je stroj schopen prostřednictvím komunikace s cloudem dosáhnout a získat tak podobu svojí požadované konfigurace a NC programu. Tato komunikace je neustávající, proto je stroj schopný reagovat i na změny provedené v poslední možnou chvíli.

#### 3.3.2 Dostupnost

Dostupnost jde ruku v ruce s přizpůsobivostí. Dříve hrála v rozhodování při nákupu roli převážně nejnižší cena. V budoucnosti to však bude hlavně časová dostupnost a možnost přizpůsobení požadavkům. Časová dostupnost bude výsledkem nasazení Industry 4.0 v tom smyslu, že autonomní výrobní buňka svou efektivností předčí možnosti výroby v zemích třetího světa a dojde k navrácení výrobních procesů do blízkosti klientů. Tento děj je nazýván jako „reshoring“ [1]. Krátké vzdálenosti a monitorování skladových zásob dodavatelů pomocí IoT jsou z hlediska dostupnosti rozhodujícím faktorem a umožní tak v některých případech zkrátit výrobu specifických produktů i na jeden den. Prostřednictvím analýzy velkých objemů dat bude možné radikálně omezit skladovací zásoby a udržovat jen množství potřebné pro pokrytí poptávky. Ihned po schválení výroby daného kusu dokáže integrovaný informační systém výrobce autonomně rozhodnout o nejoptimálnější možnosti objednávky materiálu či součásti na základě analýzy dat dostupných od svých dodavatelů.

S tímto tématem souvisí také dostupnost náhradních dílů nutných k výměně při poruše stroje. V tomto ohledu se může v budoucnu využívat výhod aditivní výroby. Nebude potřeba udržovat velké skladové zásoby náhradních dílů. Namísto nich budou uložena pouze data nutná pro výrobu – v tomto případě CAD model. Na jeho základě proběhne rychlá příprava aditivní výroby daného dílu, tisk a odeslání zákazníkovi.

### **3.3.3 Prediktivní údržba**

Prediktivní údržba je jedním z hlavních způsobů, jak může být efektivita výrobního procesu zvýšena. Princip je založen na myšlence, že stroj by neměl být opravován zbytečně brzy, dokud ještě plní svoji funkci, ani zbytečně pozdě, kdy již došlo k jeho selhání a nucenému zastavení. Ideálním časem údržby se jeví například plánovaná odstávka (pokud je před časem selhání) nebo menší vytíženost stroje, kdy je z ekonomického hlediska stroj nejvýhodnější zastavit. Aby bylo možné tuto informaci ideálního času údržby zjistit, je nutné kontinuální monitorování výrobního procesu, odesílání dat na cloud a vhodná analýza těchto dat vedoucí k predikci poruch. Souběžně je nutný přístup do informačních systémů sloužících pro plánování a řízení výroby, odkud může být zjištěna informace nejvhodnějšího času pro provedení údržby před samotným selháním stroje v důsledku predikované poruchy. Do tohoto systému je poté tato údržba naplánována. Prediktivní údržba tak umožňuje spolehlivé plánování a maximalizuje pracovní dostupnost výrobního stroje.

### **3.3.4 Predikce poruch**

Samotná predikce poruchy stroje může být provedena například na základě vibrační diagnostiky, kterou dříve vykonával specialista, jenž ji na základě zkušeností dokázal provést. V moderním pojetí dokáže tohoto člověka zastoupit software a výpočetní algoritmy pro vyhodnocování dat, jež jsou zároveň schopné zpracovat mnohem větší objemy a dosáhnout přesnějších výsledků. Data ze senzorů jsou v reálných časech dostupná na cloudu, kde může softwarový nástroj provádět jejich analýzu. Možnosti této analýzy budou dále posouvány novými metodami z problematiky analýzy Big Data. Umístěním přímo v cloudu je zároveň možné využít mnohem vyšších výpočetních kapacit než mimo něj. Stejně jako vibrační diagnostika může fungovat diagnostika na základě dilatace teplot nebo jiných dalších faktorů, které se odchyľují od požadovaných či predikovaných hodnot. Komplexní analýza však nezahrnuje pouze data z tohoto jednoho výrobního procesu. Algoritmy pro analýzu dat aktuální data porovnají i s historickými daty z provozu výrobního stroje a dokonce i daty podobných výrobních strojů pracujících v odlišných geografických lokalitách.

Výstup z této analýzy je vhodně vizualizován do grafické podoby a přístupný pomocí jakéhokoliv zobrazovacího zařízení (tablet, počítač, chytrý telefon). V tomto výstupu se dokáže zorientovat i méně kvalifikovaný pracovník, který zde přehledně uvidí aktuální stav stroje, historii růstu problému, jeho původ a predikci do budoucna.

### **3.3.5 Vzdálený servis**

Implementací senzorů do samotných produktů a strojů se otevírají nové možnosti v dálkové diagnostice strojů a vzdáleném servisu. Jak již bylo řečeno v kapitole 3.2.1 – digitální dvojčata zůstávají se svým fyzickým zařízením provázána po celou dobu jeho životnosti. To znamená, že výrobce bude mít přístup k aktuálním datům svého produktu i během využívání zákazníkem. V souvislosti s výrobní buňkou je možné hovořit například o výrobním stroji. Ten je možné servisovat z hlediska hardwaru i softwaru. V současnosti je nutnost pravidelného servisu od výrobce pro uspokojivý chod stroje. Myšlenka vzdáleného

servisu vychází z poznání, že největším specialistou na diagnostiku chování a konstrukční provedení stroje je samotný výrobce. Ten na základě přístupu k provozním datům stroje a následné predikci poruch dokáže servis provádět pouze v nutných případech.

Pokud je chyba vyhodnocena jako softwarová, dokáže ji technik vyřešit pomocí aktualizace tohoto softwaru. Může se jednat například o chybu v řídicím systému stroje. Pokud je na základě predikce poruch vyhodnocena jako hardwarová (jedná se například o predikovanou poruchu určité komponenty v blízkém časovém období) musí být provedena její oprava či výměna. Dříve by musel výrobce posílat zákazníkovi technika, který by prvotně musel vyřešit důvod selhání stroje a následně provést fyzickou výměnu vadné komponenty. Dálková diagnostika však umožní technikovi detekovat problém s předstihem a následně instruovat i méně kvalifikovaného technika zákazníka prostřednictvím metod rozšířené reality k servisu stroje.

### 3.3.6 Provozní optimalizace

Decentralizace řízení hraje hlavní roli v provozní optimalizaci. Každý prvek začleněný do výroby bude schopný komunikovat s prvky ostatními (obrobek se strojem, stroj se strojem, stroj s vyšším řídicím systémem atd.) a tato komunikace povede k autonomnímu chování těchto decentralizovaných systémů. Zároveň je komunikací podpořena flexibilita a rychlejší rozhodování.

Za použití pokročilých analytických metod je možné v nashromážděných datech nacházet nové možnosti z hlediska zvyšování kvality a rychlosti celého výrobního procesu. Poté, co jsou data o zatěžování nástrojů a obrobků shromážděna, následuje první stupeň analýzy – zjišťování co se stalo. Druhým stupněm analýzy je hledání příčin a třetím stupněm je predikce. Na základě této predikce následuje její využití pro rozhodování v prospěch nejlepšího řešení. Tento systém vede k provozní optimalizaci.

Dalším trendem je snižování energetické náročnosti strojů, využívajících pouze nutného množství energie pro splnění požadovaného úkolu. Příkladem může být monitorování teplot důležitých částí obráběcího stroje a jejich chlazení, které je řízeno autonomně. Probíhá pouze při výchylných teploty od požadovaných hodnot a není tak potřeba kontinuálního chlazení, které je zbytečně předimenzováno.

## 3.4 Kritická místa konceptu

### 3.4.1 Bezpečnost systémů

S rozsáhlou digitalizací a připojováním velkého množství zařízení na IoT bohužel souvisí také otázka bezpečnosti systémů. S počtem připojovaných zařízení roste také počet kybernetických útoků na kritické infrastruktury a důležité informační systémy, ale i útoků menších rozsahů za účelem poškození konkurence či vydírání. V průmyslu musí být zajištěna datová a komunikační bezpečnost od nejnižší úrovně až po systémovou bezpečnost na úrovni podniků. Většina malých a středních firem však má s touto bezpečností problém. Sítě jsou z tohoto důvodu často provozovány pouze interně a jsou izolovány od okolního světa. Pro umožnění komunikace jakýchkoliv dvou entit napříč celým řetězcem bude teprve potřeba vyvinout strategie, architektury a standardy. Zároveň zde však nastává i rozpor mezi ochranou osobních dat a jejich sběrem pro opakované použití v rámci celého integrovaného řetězce [1].

V průmyslové oblasti musí mít podniky nepřetržitý přehled o svém kyberprostoru a zajistit důkladnou analýzu připravenosti na kybernetické útoky. Nutná je centralizace systému

pro správu citlivých dat. To umožňují například cloudová řešení. Centralizace v tomto případě zajišťuje možnost vyššího zabezpečení v tom smyslu, že je snazší kontrolovat jeden systém než datová úložiště na různých místech jako jsou notebooky a pracovní stanice. Tato zařízení umožňují stahovat a ukládat soubory na svoje pevné disky, na kterých nejsou data ve velkém množství případů ani šifrována. Šifrování dat a komunikace je poté další možností, jak zamezit úniku citlivých informací. Ani cloudová řešení však zatím nejsou dokonalá, proto je bezpečnostní opatření nutné stále vyvíjet, což se může dít také pomocí důkladné analýzy bezpečnosti a jejího testování pomocí cíleně spouštěných útoků [1], [24].

S IoT aktuálně souvisí problematika DDoS (distributed denial of service) útoků. Pomocí botnetů (sít' infikovaných zařízení speciálním softwarem) dokáže útočník vysílat enormní množství požadavků na internetovou službu nebo stránku, která se pod takovým náparem buď zpomalí, zneprístupní nebo celkově zhroutí. Riziko z pohledu IoT je právě nedostatečné zabezpečení sítí chytrých zařízení. Ty často nejsou aktualizovány a stávají se tak lehkým terčem pro útočníky. Propojením velkého množství takto infikovaných zařízení do botnetů není problém napadnout ani kritické infrastruktury (informační systémy a služby, které svojí nedostupností mohou ohrozit zdraví občanů či bezpečnost státu). Pachatelé tyto útoky používají především k vydírání a díky rozptýlenosti útoku je není možné vystopovat [24], [29].

S bezpečností lze také spojit otázku spolehlivosti autonomních systémů. Jejich provozní spolehlivosti bude na základě decentralizovaných systémů řízení velice obtížné dosáhnout a objevuje se zde možnost chybovosti či selhání takových systémů. Při jejich zavádění bude potřeba velké obezřetnosti.

### **3.4.2 Vysokorychlostní internetové sítě**

Předpokladem pro neustálou komunikaci je rychlý a hladký tok dat. Bez něj se ztrácí i možnost úspěšného automatizovaného provozu a průběh tohoto toku je závislý na možnosti vysokorychlostního internetu. Při jeho nedostupnosti není možné sdílení dat napříč dodavatelským řetězcem. V ČR je značná absence těchto vysokorychlostních sítí problémem a jejich výstavba byla pozdržena vládou odkládáním schválení Národního plánu rozvoje sítí nové generace. Na konci roku 2016 však byl tento plán nakonec schválen a Ministerstvo průmyslu a obchodu dostalo za úkol vypracovat akční plán k provedení nedotačních opatření [1], [32].

### **3.4.3 Nástroje pro zpracování dat**

Analýza dat a hledání hodnotných informací v nich je středobodem snah vedoucích k umožnění autonomního chování. Prostřednictvím velkého množství senzorů je dostupné obrovské množství dat, ta ale nemají žádnou hodnotu, pokud z nich není možné získat užitečné informace. V současnosti jsou vyvíjena různá databázová řešení pro zpracování tohoto množství dat, které klade nové nároky na dříve osvědčené technologie. Většina přijatých dat však zůstává v současnosti stále nevyužita a je nutné pokračovat ve vývoji účinných algoritmů schopných tato data zpracovat v reálných časech s co nejlepšími výsledky [21].

### **3.4.4 Cloudová řešení**

Technologie cloud computingu jsou v dnešní době stále využívanější, ale zároveň stojí téměř prakticky na počátku svého vývoje. Na světovém trhu je velká spousta společností, které cloudové řešení nabízí a jejich možnosti a rizika se liší případ od případu. Nedokonalosti

těchto řešení obnáší v lepším případě pouze nevyužití plného potenciálu cloudových technologií. V horším případě jsou to bezpečnostní rizika. Myšlenka cloud computingu se opírá také o rychlý tok dat a absence vysokorychlostního internetu je opravdovou překážkou. Z hlediska bezpečnosti je v současnosti, v souvislosti s nevyspělostí technologie, doporučováno cloudová uložiště pro citlivá data spíše nevyužívat [25].

### 3.4.5 Další překážky

Pro globální nasazení myšlenek se stává velkou překážkou také chybějící standardizace například v oblasti komunikace. V rámci podniků jsou často zaváděny interní komunikační standardy, které pro jejich účely dobře poslouží. Ve vizi Industry 4.0 je však nutné komunikaci rozšířit do globálnějšího měřítko v souvislosti s propojením celého hodnotového řetězce. Často vznikají komunikační standardy, pro které přitom existuje nadnárodní ekvivalent [1].

Výzkum a vývoj nových technologií probíhá stále nezděržitelně vysokým tempem. To je na jednu stranu dobře, na druhou stranu však způsobuje nedostatek kvalifikované pracovní síly. Vzdělávací systémy musí najít způsob jak tento problém vyřešit. Celoživotní vzdělávání se stane takřka nutností a i školní systémy bude potřebné v souvislosti s myšlenkami Industry 4.0 modifikovat směrem k větší interdisciplinaritě.

Další překážkou je samotná neznalost či chybná interpretace konceptu. Otázkou zůstává, zda se jeho propagaci a pomoci při implementaci má věnovat stát či bude situace ponechána na vlastní iniciativě firem.

Snad každá z technologií využívaných v konceptu Industry 4.0 je technologií relativně mladou, a proto obsahuje problematická místa a nedokonalosti řešení. Až při dosažení jejich očekávaných vlastností a potenciálu bude možné vizi uskutečnit.



## 4 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl především popis konceptu Industry 4.0 v oblasti průmyslové výroby, výtípkování jeho stěžejních technologií a možnosti jejich zavedení do výrobní buňky. Myšlenky konceptu jsou však tak rozsáhlé a různorodé, že zdaleka přesahují rozsah této bakalářské práce a zasahují, či v blízké době budou zasahovat, do běžného života většiny lidí v mnoha oblastech. Jasně ohraničení koncept postrádá a jeho přesnější definice bude možná nejspíše až ze zpětného pohledu.

Hlavní myšlenkou konceptu ve výrobní oblasti je co nejefektivnější využití dat pro možnosti optimalizace všech procesů z hledisek energetické náročnosti, rychlosti, přesnosti a přizpůsobivosti. Rychlý vývoj v oblasti informačních, komunikačních a automatizačních technologiích tento cíl značně přibližuje. Velká pozornost je věnována technologiím, jako jsou internet věcí, cloud computing, analýza Big Data, umělá inteligence a pro výrobní oblast nejdůležitější a se všemi ostatními související kyber-fyzikální systémy. Na základě těchto technologií je možný vývoj i v dalších oblastech jako například rozšířená realita či aditivní technologie. Propojením a zdokonalením všech těchto technologií by měla být dosažena vize chytré továrny, která je schopná svého autonomního řízení. Než bude této vize dosaženo, bude potřeba technologie Industry 4.0 nasazovat a zdokonalovat v rámci dílčích řešení menšího rozsahu.

V druhé části bakalářské práce je popsán koncept autonomně se chovající výrobní buňky, která těží z přínosů technologií popisovaných v první části. Výrobní i kontrolní měřicí stroje jsou obsluhovány průmyslovými roboty a dokážou pomocí přístupu k potřebným datům celý proces výroby řídit bez zásahu člověka. Jsou zde popsány jak očekávané přínosy vize, tak i překážky její implementaci bránící.

Po konceptuální stránce je vize Industry 4.0 takřka dokonalá, avšak prozatímní nedokonalost mladých technologií a absence kvalifikovaných pracovníků schopných myšlenky implementovat do výroby svých podniků znamená, že přechod na Industry 4.0 v dnešní prezentované podobě není očekáván během dalších dvou dekad. Důležitý je ale aktivní přístup a účast na postupném zdokonalování technologií a myšlenek vize.



## 5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAŘÍK, Vladimír et al. *Iniciativa Průmysl 4.0* [online]. 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [2] KAGERMANN, Hennig et al. *Securing the future of German manufacturing industry. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 – Final report of the Industrie 4.0 Working Group.* [online]. 2013 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Material\\_fuer\\_Sonderseiten/Industrie\\_4.0/Final\\_report\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf)
- [3] European countries join forces to digitise industry. In: *European Commission Research and Innovation* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-countries-join-forces-digitise-industry>
- [4] Hello Industrie 4.0. *KUKA.* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/-/media/kuka-corporate/documents/press/industry-4-0-glossary.pdf>
- [5] *Smart Manufacturing Leadership Coalition* [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://smartmanufacturingcoalition.org/about/history>
- [6] Manufacturing USA - the National Network for Manufacturing Innovation. *Manufacturing.gov* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.manufacturing.gov/nnmi/>
- [7] *Industrial Internet Consortium* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.iiconsortium.org/index.htm>
- [8] KENNEDY, Scott. Made in China 2025. In: *CSIS* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.csis.org/analysis/made-china-2025>
- [9] Towards Smart Manufacturing: Industry 4.0 and India. *Make in India* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.makeinindia.com/article/-/v/towards-smart-manufacturing-industry-4-0-and-india>
- [10] What is IVI? *Industrial Value Chain Initiative* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://iv-i.org/wp/en/what-is-ivi/>
- [11] MELANSON, Anthony. What Industry 4.0 Means for Manufacturers. *Aethon* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.aethon.com/industry-4-0-means-manufacturers/>
- [12] Big future for cyber-physical manufacturing systems. *Design World* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.designworldonline.com/big-future-for-cyber-physical-manufacturing-systems/#>
- [13] Co je RFID. *RFID portal* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid\\_obecne](http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne)
- [14] ROSE, Karen, Scott ELDRIDGE a Lyman CHAPIN. *The Internet of Things: An overview: Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.internetsociety.org/sites/default/files/ISOC-IoT-Overview-20151022.pdf>
- [15] *Gartner IT Glossary* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/it-glossary/>

- [16] *Oxford Dictionaries* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: [https://en.oxforddictionaries.com/definition/internet of things](https://en.oxforddictionaries.com/definition/internet%20of%20things)
- [17] Gartner Says 8.4 Billion "Things" Will Be in Use in 2017. In: *Gartner* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3598917>
- [18] *Softobiz* [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.softobiz.com/services/iot-development-india/>
- [19] TSCHOFENIG, H. et al. *Architectural Considerations in Smart Object Networking. Tech. No. RFC 7452. Internet Architecture Board*, [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>
- [20] LEE, Jay, Behrad BAGHERI a Hung-An KAO. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters* [online]. Elsevier, 1501, 3, 18-23 [cit. 2017-05-26]. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001. ISSN 2213-8463.
- [21] HOLUBOVÁ, Irena, Jiří KOSEK, Karel MINAŘÍK a David NOVÁK. *Big Data a NoSQL databáze*. Praha: Grada, 2015, 288 s. ISBN 978-80-247-5466-6.
- [22] Big data, real world data – where does text analytics fit in. In: *Linguamatics* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.linguamatics.com/blog/big-data-real-world-data-where-does-text-analytics-fit>
- [23] SUVEE, Davy. Circos: An Amazing Tool for Visualizing Big Data. In: *Dzone* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://dzone.com/articles/circle-through-your-google>
- [24] LACKO, Ľuboslav. *Osobní cloud pro domácí podnikání a malé firmy*. Brno: Computer Press, 2012, 270 s. ISBN 978-80-251-3744-4.
- [25] VELTE, Anthony T, Toby J VELTE a Robert C. ELSENPETER. *Cloud computing: praktický průvodce*. Brno: Computer Press, 2011, 344 s. ISBN 978-80-251-3333-0.
- [26] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [27] GRANT, Emma. Who are the top players companies in the Augmented Reality space? In: *Quora* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: [https://www.quora.com/Who-are-the-top-players-companies-in-the-Augmented-Reality-space?\\_escaped\\_fragment\\_=n=18](https://www.quora.com/Who-are-the-top-players-companies-in-the-Augmented-Reality-space?_escaped_fragment_=n=18)
- [28] Reflekt One 2.0: First "IoT Ready" Augmented Reality Platform For Industry 4.0. In: *Reflekt One Augmented Reality Platform* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.re-flekt.com/industrial/>
- [29] *Aditivní technologie: metody Rapid Prototyping* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto\\_bak/cv\\_STV\\_04\\_Aditivni\\_techologie\\_medy\\_Rapid\\_Prototyping.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_techologie_medy_Rapid_Prototyping.pdf)
- [30] TUČEK, David a Roman BOBÁK. *Výrobní systémy*. Vyd. 2., upr. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. ISBN 8073183811.
- [31] DMG MORI Condition Analyser – 60 sensors in the machine monitor the machine status. *DMG Mori: Journal* [online]. 2016 [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: [http://www.dmgmori.com/webspecial/journal\\_2016\\_2/en/condition-analyzer.htm](http://www.dmgmori.com/webspecial/journal_2016_2/en/condition-analyzer.htm)
- [32] Stav kybernetické bezpečnosti v ČR 2016. In: *Kybez: Platforma kybernetické bezpečnosti* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <https://www.kybez.cz/clanky/-/blogs/stav-kyberneticke-bezpecnosti-v-cr-za-rok-2016>

## 6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Mapa národních iniciativ zemí Evropské unie [5] .....	18
Obr. 2.2 Technologie měnící současný průmysl [11].....	20
Obr. 2.3 Souvislost IoT a CPS [12] .....	21
Obr. 2.4 V budoucnosti je očekáváno připojení desítek miliard zařízení [18].....	23
Obr. 2.5 Bezdrátová komunikace mezi zařízeními od různých výrobců [19].....	24
Obr. 2.6 Komunikace mezi zařízeními a cloudem [19].....	24
Obr. 2.7 Komunikace mezi zařízeními a cloudem přes lokální bránu [19].....	25
Obr. 2.8 Back-End komunikační model [19] .....	26
Obr. 2.9 Architektura 5C [20] .....	27
Obr. 2.10 Tři základní „V“ definující Big Data [22].....	28
Obr. 2.11 Vizualizace návštěvnosti webových stránek od společnosti Circos [23]....	30
Obr. 2.12 Tři základní komponenty cloud computingu [25].....	31
Obr. 2.13 Rozšířená realita jako turistický průvodce [27] .....	32
Obr. 2.14 Diagnostika stavu přístrojů pomocí rozšířené reality [28] .....	33
Obr. 3.1 Zjednodušené schéma činnosti výrobní buňky .....	37
Obr. 3.2 Rozdíl mezi tradičním a moderním procesem vývoje obráběcího stroje [26] 39	
Obr. 3.3 Senzorika CNC obráběcího stroje firem DMG Mori a Schaeffler [31] .....	42