

Seminární práce z předmětu VRM-K

# Průmysl 4.0

**Zpracoval:** Jaroslav Junek

**Brno, šk. rok 2021**

## Obsah

<b>Úvod</b> .....	1
<b>Koncept Průmyslu 4.0</b> .....	2
Kyber-fyzický systém (CPS).....	2
5C Architektura .....	3
Aplikace 5C architektury v rámci inteligentní továrny .....	4
Technologie pro realizaci CPS.....	5
Multiagentní systémy .....	5
Holonické systémy.....	6
Virtuální dvojčata .....	7
<b>Závěr</b> .....	7
<b>Použitá literatura</b> .....	8

## Úvod

Pojem revoluce v kontextu průmyslu představuje skokovou změnu od již zaběhlé výroby k něčemu novému. Důvodem je vždy zefektivnění výroby, snížení nákladu a ulehčení práce člověka.

Vše započalo v Anglii v 18. století, kdy Edmund Cartwright v roce 1784 vynalezl mechanický tkací stroj. Tento vynález je považován za počátek 1. průmyslové revoluce, která následně pokračovala i v 19 století, kdy dochází k přechodu z ruční výroby na strojní. Hledají se i nové způsoby jak pohánět stroje. Dochází k implementaci parních strojů, které přejímají zvířecí a lidskou fyzickou práci. Symbolem této doby se stává parní stroj.

Následně dochází ke 2. průmyslové revoluci, jež se datuje od roku 1870. Význačný bod tohoto období spočívá v zavedení pásové výroby firmou Cincinnati.

Od roku 1969 navazuje 3. průmyslová revoluce, jenž se pojí se zavedením automatizace do výroby. Tehdy byl vyroben první programovatelný automat nazývaný PLC (Programmable Logic Controller). Toto relativně malé zařízení umožňuje vykonávat procesy v reálném čase při zachování velké spolehlivosti. Zjednodušeně můžeme říci, že se jedná o "PC", jehož architektura je upravena pro potřeby průmyslového užití.

V současné době se aktivně polemizuje o 4. průmyslové revoluci, tzv. Průmysl 4.0 (Industry 4.0). S tímto konceptem přišla firma Siemens ve spojení s německou vládou, nicméně brzy byl podpořen i dalšími evropskými státy. První představení této ideje proběhlo roku 2013 na veletrhu v Hannoveru. Důvodem vzniku tohoto konceptu je snaha docílit efektivnější a levnější výrobu, která by měla vést k lepší konkurenceschopnosti EU s významnými technologickými velmocemi, jako jsou USA, Čína či Japonsko. Hlavní myšlenkou

Industry 4.0 je vytvoření tzv. "chytré továrny", kde dojde k propojení všech vrstev podniku, které budou schopny vzájemné interakce. Z pohledu výroby se jedná o propojení CPS (kyber fyzických systémů) a jiných systémů, které spolu budou schopny komunikovat – vše bude

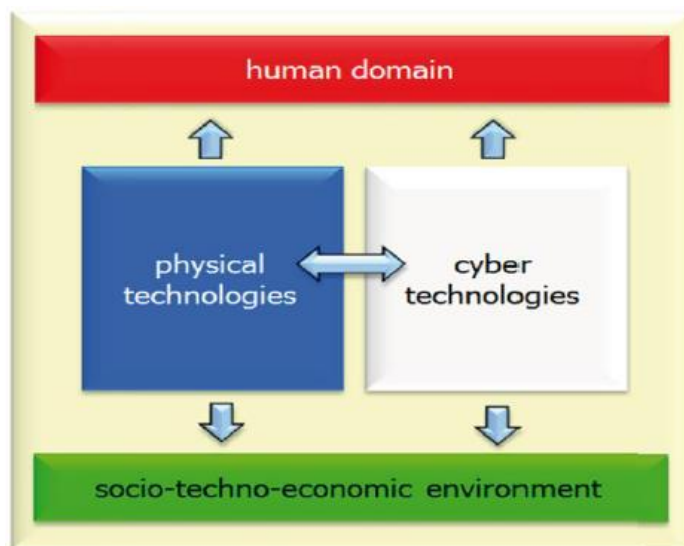
propojeno s IoT a jejich deriváty a data uložena v cloud systémech. Díky této technologii je možný sběr provozních dat po celou dobu životnosti zařízení, což může vyústit k případnému zlepšení vývoje nových či korekci stávajících výrobků

## Koncept Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 mohl vzniknout díky technologickému pokroku v oblasti IT. Veškeré informace jsou v dnešní době v převážné většině v elektronické podobě, což nám dává možnost tyto data dále rychle zpracovávat a sdílet. Toto je stěžejní myšlenka pro vznik tzv. chytré továrny ,kde dochází ke spojení reálného a virtuálního světa. Základními stavebními kameny chytrých továren jsou CPS (kyber-fyzické systémy).

### Kyber-fyzický systém (CPS)

Pojem CPS se poprvé objevil v roce 2006 v USA. Důvodem jeho využití je snaha o zefektivnění, bezpečnost a spolehlivost vyvíjených systémů. Jednou z hlavních vlastností CPS je pružná reakce na dynamické změny, což je vlastně nutnost při práci v reálném čase. Také by měly mít schopnost autonomního učení a vyvozování závěrů ze svého přechozího jednání. Tyto vlastnosti zprostředkovávají agentní systémy. Kyber-fyzické systémy můžeme popsat pomocí kybernetické, fyzické části a rozhraní viz obrázek 1.

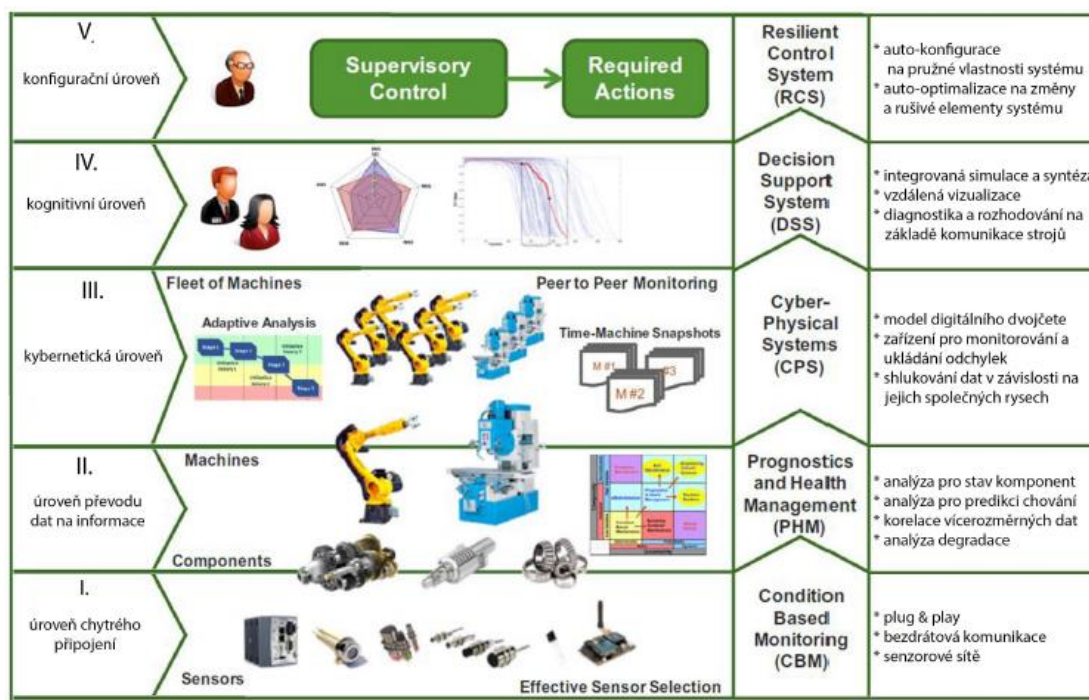


Obr. 1 Struktura CPS

Fyzická část se zabývá fyzikálními jevy, které chceme monitorovat či měnit. Kybernetická část se stará o výpočty a zpracování dat. Rozhraní zajišťuje komunikaci po síti nebo mezi jednotlivými senzory. Tyto systémy tedy propojují virtuální svět s tím reálným a jsou schopny vzájemné interakce mezi sebou. V ideálním případě spolu budou jednotlivé CPS a jiné systémy propojeny schopné předávat si informace a vzájemné interakce mezi sebou.

## 5C Architektura

V předešlé kapitole bylo zmíněno, že CPS je složeno z fyzické, kybernetické části a rozhraní, nicméně se jedná o velice obecné rozdělení pro praktické použití. Z tohoto důvodu je zapotřebí podrobnějšího popisu a k tomu právě slouží 5C architektura. Skládá se z 5 vrstev: chytrého připojení, převod dat na informace, kybernetická, kognitivní a konfigurační úroveň (obr. 2). Nejnížší je využívána ke sběru dat a naopak ty vyšší se zabývají analytickými metodami.



Obr. 2 Vrstvy 5C architektury

### I. úroveň – Chytré připojení

Jedná se o první, nejnížší vrstvu, která slouží ke sběru dat ze strojů nebo jejich částí. Data jsou získávána pomocí snímačů, které by měly být jednoduše integrovatelná do systému např. Plug & Play. Nebo moderních systémů pro řízení výroby, jako jsou MES (výrobní informační systém) nebo SCM (systém řízení dodavatelského řetězce). Nejdůležitějším kritériem je volba správného typu snímače pro konkrétní aplikaci. Neméně důležitou částí je také zajištění bezproblémového, rychlého a bezpečného přenosu dat na server pomocí vhodného protokolu.

### II. úroveň – Převod dat na informace

Tato vrstva se stará o získání validních informací pomocí různých sofistikovaných algoritmů pro konkrétní řešení daného problému. Velice aktuálním tématem se stává monitoring kondice součástí (např. ložiska) v reálném čase, případně předvídání jeho budoucího chování.

### III. úroveň – Kybernetická vrstva

Kybernetická vrstva slouží jako centrální informační bod pro sběr dat z různých strojů, jež jsou k ní připojeny. Díky získání velkého objemu dat můžeme vytvářet hlubší a komplexnější analýzy a následně porovnávat například produktivitu strojů mezi sebou.

#### IV. úroveň – Kognitivní vrstva

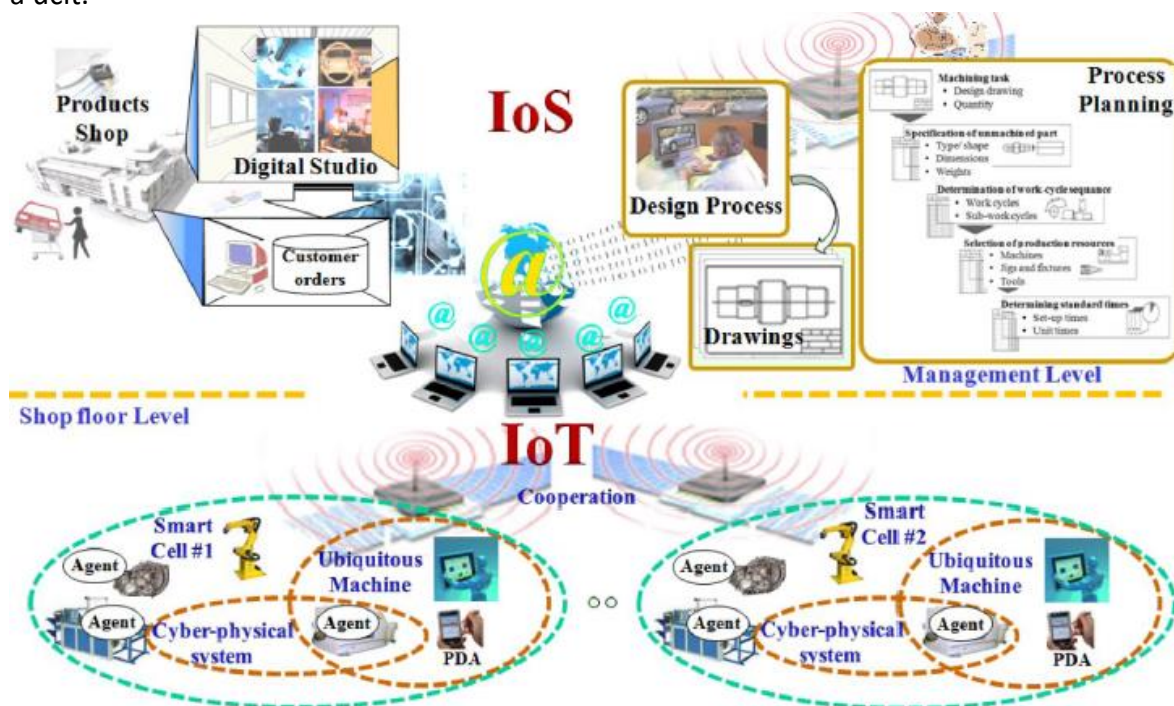
Tato vrstva ze získaných a vypočtených dat z předchozích úrovní zprostředkovává obsluhu vizualizací o aktuálním provozním stavu a o případné možné poruše stroje. Vše by mělo být graficky a intuitivně zobrazeno pro snadnější vyhodnocení rizik a následnému včasnému zásahu obsluhy.

#### V. úroveň – Konfigurační vrstva

Konfigurační vrstva slouží jako zpětná vazba z kybernetického prostoru do fyzického. Stroj je schopen se autonomně přizpůsobit změnám. Tato vrstva dále hraje roli systému řízení odolnosti (RCS), která na základě dat z kognitivní vrstvy umožňuje zavedení preventivních a nápravných opatření.

#### Aplikace 5C architektury v rámci inteligentní továrny

Pro lepší pochopení souvislostí mezi některými termíny bude demonstrace provedena na celkovém schématu inteligentní továrny, viz obr. 3.5. Objednání výrobku na míru je velice snadné – jediné, co je zapotřebí, je přístup k internetu. Na webových stránkách výrobce je možnost nadefinování kýženého výrobku (Shop floor Level) a následně prostřednictvím internetu dojde k přeposlání požadavku do výrobní firmy. Ta na tomto základě je vytvořen plán výroby (Management Level), který následně bude zaslán pomocí internetu věcí (IoT) do jednotlivých strojů CPS. Obě tyto části by se daly zahrnout do internetu služeb (IoS). IoT se využívá jako kanál pro komunikaci s ostatními CPS nebo, jak je v obrázku znázorněno, s inteligentními buňkami (Smart Cell). Vhodné je také zmínit, že komunikace mezi jednotlivými CPS nemusí probíhat pouze prostřednictvím IoT, další možností je např. komunikace pomocí M2M (stroj se strojem). Využití IoT je lepší škálovatelné, z tohoto důvodu je častěji využívána. Pro připomenutí, kyber-fyzický systém je autonomní prvek, který je schopen přizpůsobivého chování, reakce v reálném čase na změny v systému a kooperace s obdobnými entitami. Autonomnost systému je zde zprostředkována pomocí agentních systémů, na jejichž základě je možné, aby se systém mohl sám rozhodovat a učit.



Obr. 3.5 Schématické znázornění inteligentní výroby [25].

## Technologie pro realizaci CPS

Jednou z podstatných technologií v rámci CPS jsou agentní systémy. Ty jsou nasazovány na složité problémy, které by bylo velice obtížné či nemožné vyřešit pomocí standardních nástrojů. Avšak nejedná se o univerzální řešení, v některých případech je vhodnější využít strojového učení, neuronové sítě nebo jejich kombinaci. Agenti jsou autonomní výpočetní entity, které jsou schopné samostatného učení či plánování. Umožňují propojení fyzického a kybernetického světa a jsou schopné reagovat na dynamické změny. Způsob jakým spolupracují, aby vyřešili složitější úlohu, je inspirován z "živočišného" světa.

## Multiagentní systémy

Své kořeny mají multiagentní a agentní systémy v distribuované umělé inteligenci, kde jednotky schopné vyřešit daný cíl jsou označovány jako agenti. Pro pochopení dané problematiky multiagentních systémů je vhodné tedy definovat, co je to agent. Lze ho popsat jako autonomní prvek systému (u multiagentních systémů většinou softwarový), který je schopen jednat tak, aby dosáhl svého definovaného cíle. Prostředí, v kterém se nachází, dokáže monitorovat pomocí senzorů a také s ním dokáže interagovat za pomoci aktuátorů (akční členy) Agent má obvykle schopnost komunikovat s ostatními agenty, vyhodnocovat data a provádět úkony, které se mohou dynamicky měnit. Základní charakteristiky agenta je možné definovat na základě schopnosti odlišného způsobu řešení stejné problematiky pro dosažení daného cíle. Mezi ně řadíme:

### a) Autonomie

Jedná se o vlastnost agenta, který je schopen samostatného rozhodování bez nutnosti interakce s okolím či jinými prvky systému. Možnost komunikace s ostatními agenty je zde zachována (např. sdílení hodnot).

### b) Reaktivita

Schopnost agenta reagovat na změny projevující se v jeho prostředí při zachování dosažení svého cíle. Obvykle má souhrn předem definovaných akcí, z kterých vykoná jednu na základě splnění požadovaných kritérií.

### c) Intencionalita

Agent vytváří své plány a uvažuje nad dlouhodobými plány. Má také schopnost dekompozice složitých problémů a organizaci chování, jak dospět k danému cíli.

### d) Sociální chování

Agenti jsou schopni vzájemné spolupráce shlukování se do skupin za účelem vzájemného prospěchu. Dále shromažďují informace o jednotlivých agentech a jejich "sociálních vazbách" a na tomto základě vytváří vlastní úsudek. Na základě jejich racionality lze agenty dále rozdělit na:

- Reaktivní

Jedná se o nejprimitivnější formu agenta, který za pomoci čidel a aktuátorů přímo reaguje na měnící se situaci bez předešlé znalosti daného prostředí.



- Deliberativní

Schopnost agenta plánovat své budoucí kroky a možnosti ovlivnění prostředí za účelem zisku nějaké výhody. Tento typ agenta není vhodný do proměnlivého prostředí.

- Kognitivní

Jedná se o agenta, jež je schopný se sám učit a na základě svých znalostí vyvozovat logické úsudky či závěry z pozorování okolí.

- Racionální

Jedná se o nejvyšší formu agenta, který je schopen samostatného učení a plánování.

Hlavním myšlenkou multiagentních systémů je spolupráce více agentů, kteří se na základě společného úsilí snaží o vyřešení požadovaného úkolu, jenž by jeden agent nebyl schopen vyřešit. Může však nastat i situace, kdy každý agent pracuje na zcela odlišném problému, nicméně stále může kooperovat s ostatními např. sdílet hodnoty. Multiagentní systém je založený na vzniku decentralizovaných nebo distribuovaných inteligentních jednotek (agentů). Distribuované řešení je rozložení komplexnějšího problému na menší podčásti, na kterých budou jednotliví agenti spolupracovat (tzv. koordinace).

Decentralizované řešení je zaměřeno spíše na individuální cíle agenta, "sociální" vazby mezi jednotlivými agenty jsou menší než-li u předchozího typu. Nicméně z důvodu omezených schopností jednotlivých agentů zde zůstává možnost komunikace s ostatními agenty za účelem vytváření koalic pro dosažení cíle. Jednou z nevýhod tohoto systému je komplikovanost výpočtů a z toho plynoucí určitá časová prodleva systému. Na druhou stranu multiagentní systémy se vyznačují obrovskou spolehlivostí a odolností proti poruchám.

## Holonické systémy

Holonický systém se skládá z holonů poprvé definovaných Arthurem Koestlerem roku 1967. Holon měl sloužit k objasnění funkce sociálních organizací a živých organismů. Termín pochází z řečtiny a je složen ze dvou slov: holos – znamenající celek a on – znamenající část. Obecně bychom tedy mohli uvést, že holon je základním prvkem systému, jež obsahuje dílčí podsystémy, avšak je částí nějakého většího celku. Obsahuje části pro fyzické zpracování a zpracování informací.

V dnešní době je kladen veliký důraz na efektivitu a kvůli tomu se přistupuje k decentralizovanému řízení. V něm je zapotřebí, aby spolu jednotlivé entity spolupracovaly, proto dochází k implementaci holonických systémů. Další výhodou holonů je rychlost vykonávaných úloh, proto jsou používány pro řízení v reálném čase. Rozdíl oproti multiagentním systémům, kde agent je pouze softwarový, je jeho integrace ve fyzickém zařízení. Také je zde umožněno, aby jeden holon pod sebe sdružoval další – jeden holon může být součástí jiného a to i za předpokladu odlišnosti jednotlivých holonů. Spojování více holonů dohromady se nazývá holarchie a lze díky ní dosáhnout vyšší výkonnosti. V některých publikacích se můžeme setkat s označením "holonický agent". Jedná se o rozšíření holonu o vlastnosti agenta, který je schopen fyzické reakce a následným zhodnocením svých akcí.

## Virtuální dvojčata

Jedná se o virtuální reprezentaci fyzického objektu nebo složitějších systémů v průběhu jeho životního cyklu. V dnešní době se touto problematikou zabývá několik velkých firem jako jsou GE, IBM, Siemens a nebo Microsoft. Jedna z možných definic virtuálního dvojčete, v některých zdrojích uváděné i jako digitální dvojče, zní: "Virtuální dvojče je imaginární kopie fyzického zařízení, systému a procesu, která je provázaná s Cloudem. Na ten jsou zasílána provozní data, na základě kterých může docházet k testování a k predikcím budoucího chování systému".

Prvním průkopníkem, který s virtuálními dvojčaty experimentoval, se stal roku 2002 John Vickers z NASA. Zajímal se o provoz, údržbu a opravy systémů, jež se nachází ve vesmíru, a také o snížení nákladů s tím spojených. V roce 2003 byla tato idea použita Michaelem Grivesem, který ji poprvé rozpracoval pro použití v průmyslovém sektoru – firma McLaren ji aplikovala k vytvoření virtuálního dvojčete jejich závodního vozu. Pokud se například testuje systém ABS v automobilu, je na výběr z mnoha variant. Můžeme se použít automobil a vyzkoušet systém v mnoha různých situacích, což určitě není rychlý ani levný přístup. Z těchto důvodů se přešlo k simulacím pomocí softwaru. Jedná se o levnější a efektivnější řešení, které je však závislé na přesnosti matematického modelu daného problému včetně definování počátečních podmínek. Největší nedostatek tohoto přístupu je v tom, že celý model je většinou simulován za ideálních podmínek.

Mezi výhodami virtuálního dvojčete je schopnost práce s daty z reálného zařízení, protože dochází ke získání podrobných dat z provozu v reálných podmínkách.

Hlavní rozdíl mezi virtuálním prototypem a virtuálním dvojčetem je v odlišnostech jejich vytváření. Virtuální prototyp je vytvářen na základě zjednodušeného matematického modelu při uvážení teoretických podmínek, zatímco virtuální dvojče využívá data z reálného světa, tudíž se jedná o přesnější model.

Je důležité také zmínit, že ne vždy je vhodné vytvářet virtuální dvojče. Vždy záleží na složitosti nahrazované entity. Může se stát, že místo zjednodušení a zefektivnění dojde k pravému opaku.

## Závěr

Tato práce demonstruje obecný pohled na průmysl 4.0 a převážně na jeden z jeho hlavních stavebních kamenů, čímž je CPS. Kyber-fyzický systém se skládá ze dvou částí fyzické a kybernetické a slouží k propojení reálného světa s tím virtuálním. Jedná se o autonomní prvek schopný se samostatně rozhodovat a spolupracovat s ostatními CPS. Jeho autonomnost je zprostředkována díky agentním systémům, což jsou softwarové programy.

Tento kyber-fyzický systém je navržen dle 5C architektury sestávající se z 5 úrovní: úroveň chytrého připojení, úroveň převodu dat na informace, kybernetická úroveň, kognitivní a konfigurační úroveň. Je také vhodné zmínit, že tato problematika je v počátečním stádiu vývoje a chápání totožných pojmů ve vědecké sféře a v praxi se zatím jednoznačně neprotnulo.



## Použitá literatura

- [1] Andrea Cejnarová. „Od 1. průmyslové revoluce ke 4.“ In: červ. 2015. url: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumysloverevoluce-ke-4\\_31001.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumysloverevoluce-ke-4_31001.html).
- [2] Antonín Vojáček. „Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0 / Průmysl 4.0 ?“ In: břez. 2016. url: <https://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skryva-podvyrazy-industry-40-prumysl-40.html>.
- [3] CHEN, Hong, 2017. Applications of Cyber-Physical System: A Literature Review. Journal of Industrial Integration and Management [online]. 02(03), 1-28 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1142/S2424862217500129. ISSN 2424-8622. Dostupné z: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2424862217500129>.
- [4] HORVÁTH, Imre, 2012. Cyber-physical systems: Concepts, technologies and implementation principles. Germany: Delft University of Technology, 19-36. ISBN 978-90-5155-082-5.
- [14] LEE, Jay, Behrad BAGHERI a Hung-An KAO, 2015. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters [online]. 3, 18-23 [cit. 2020-06-18]. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001. ISSN 22138463. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221384631400025X>.
- [25] TRAN, PARK, NGUYEN a HOANG, 2019. Development of a Smart Cyber-Physical Manufacturing System in the Industry 4.0 Context. Applied Sciences [online]. 9(16), 25 [cit. 2020-06-17]. DOI: 10.3390/app9163325. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/16/3325>.
- [21] Digitální dvojčata: Technologický trend pro nejbližší budoucnost, ©2020. In: Csas.cz [online]. Praha: Česká spořitelna [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.csas.cz/cs/korporace/articles/digitalni-dvojcata>.
- [22] Co je digitální dvojče a proč je užitečné, 2019. Aiworld [online]. Praha: Internet Info DG, 2.2.2019 [cit. 2020-06-17].
- [23] LEWIS, Karel, 2017. Digital Twin with Watson IoT. In: ibm.com [online]. USA: IBM [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/digital-twin-watson-iot/>.
- [18] BARTOŠÍK, Petr, [2005]. Konference HoloMAS 2005 – holonické a multiagentní systémy. Automa [online]. 2005(2), [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/konference-holomas-2005-holonicke-a-multiagentni-i-systemy-2005\\_02\\_30330\\_3055/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/konference-holomas-2005-holonicke-a-multiagentni-i-systemy-2005_02_30330_3055/).
- [19] VAN BRUSSEL, Hendrik, Jo WYNS, Paul VALCKENAERS, Luc BONGAERTS a Patrick PEETERS, 1998. Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA. Computers in Industry [online]. 37(3), 255-274 [cit. 2020-06-18]. DOI:

10.1016/S0166-3615(98)00102-X. ISSN 01663615. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S016636159800102X>.

[20] Holonické systémy. In: Vendulka.zcu.cz [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://vendulka.zcu.cz/Download/Free/IRS2/01/Holonicke%20systemy.pdf>.