

# Training factories s principy Industry 4.0 v průmyslovém inženýrství

Miroslav Malaga<sup>1</sup>, Zdeněk Ulrych<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Univerzitní 8, 306 14, Plzeň, Česká republika

[malaga@kp.v.zcu.cz](mailto:malaga@kp.v.zcu.cz)

[ulrych@kp.v.zcu.cz](mailto:ulrych@kp.v.zcu.cz)

**Anotace:** Příspěvek je rešerší článků, zveřejněných hlavně v databázích Web of Science (WoS) a Scopus, zaměřených na využívání hardwarových modelů používaných pro tvorbu digitálních dvojčat, nebo např. pro ověřování nových algoritmů, optimalizaci procesů a algoritmů, vzdělávání studentů a pracovníků apod. Tyto training factories často využívají průmysloví inženýři, proto je součástí i popis průmyslového inženýrství a průmyslového inženýra včetně legislativního omezení, které má na vztah průmyslového inženýra a tématu training factories nezanedbatelný dopad.

## 1 Úvod

Technické vzdělání je souborem znalostí z mnoha odvětví a specializací s vysokou mírou jejich provázanosti. U technického vzdělání se široce multioborovým vzděláním, jako je průmyslové inženýrství, je klíčová na tuto provázanost důraz a dosáhnout synergie propojením těchto multioborových znalostí a dovedností. Tato potřeba ještě narůstá v době čtvrté průmyslové revoluce, která rapidně zvyšuje požadavky na komplexní technické vzdělávání. Takto vzdělaný člověk má, a i do budoucna bude mít, pro společnost vysokou hodnotu a bude mít předpoklady pro to, aby obstál v čím dál tím složitějším a na znalosti náročnějším průmyslovém světě včetně vztahu průmyslového inženýra k learning factories.

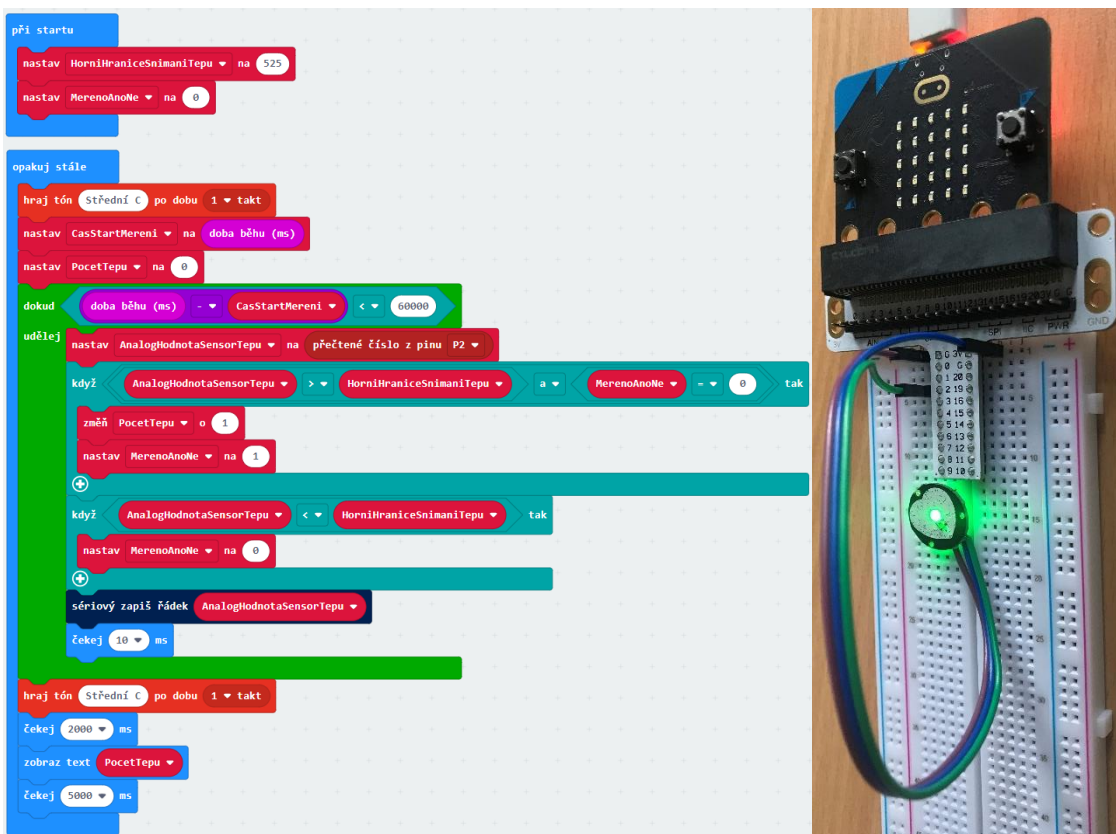
## 2 STEM pro hardwarové modely

V rámci technického vzdělání se stále ve větší míře prosazuje koncept STEM, který vznikl v USA v 90. letech minulého století pro označení integrovaného vzdělávání v oborech přírodní vědy (Science), techniky (Technology), technologie (Engineering) a matematiky (Mathematics) [1][2][3][4][5], kdy vzdělávání v těchto oborech neprobíhá separátně, ale v rámci projektů kombinujících potřebné znalosti z více oborů. Přestože tento koncept není žádnou novinkou, je v dnešní době dále rozvíjen a rozšiřován. Jako příklady lze uvést např. STEAM (A – Arts, schopnost tvořit, formulovat, prezentovat) [6][7][8].

Kromě využití v technickém vzdělávání se nástroje vytvořené na konceptu STEM čím dál tím častěji a stále ve větší míře využívají v profesním životě průmyslových inženýrů a technicky zaměřených pracovníků, včetně akademiků, kdy slouží např. pro řízení, sběr dat, vyhodnocování dat nebo pro levné a jednoduše nahraditelné lokální servery (např. postavené na počítačích z rodiny Raspberry Pi) či pro tvorbu digitálních dvojčat, prototypů apod. Tyto produkty jsou zároveň využívány technicky zaměřenými uživateli pro jejich „bastlení“, tedy např. pro vlastní řešení chytrých domácností [9] apod.

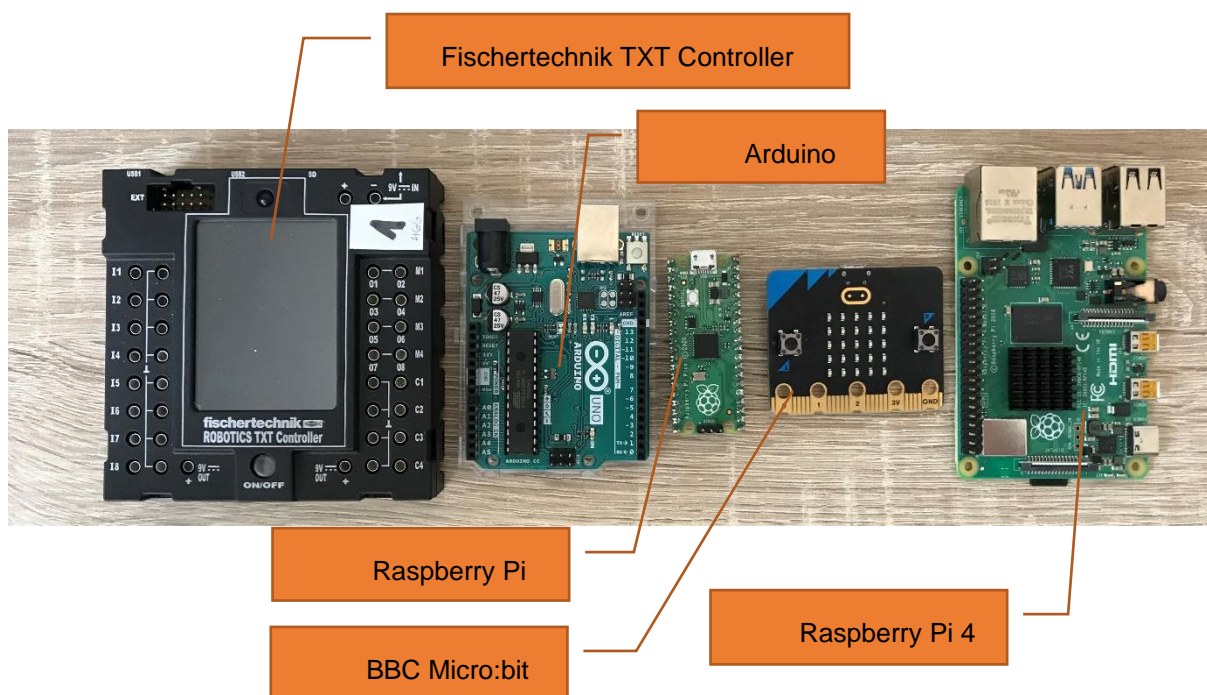
Pojem „bastlení“ se využívá jako český výraz pro v anglickém jazyce používané označení „tinkering“, vychází z německého „basteln“ a česky je mu blízké slovo „kutit“ [10]. Bastlíři bývají velmi technicky zdatní a často jsou schopni získat na svá řešení i patenty, ale nejsou profesionály a bastlení je pro ně hlavně koníčkem [11]. Jako příklad komplexních stavebnic lze uvést Lego MINDSTORMS [12][13], stavebnici Fischertechnik [14], českou stavebnici MERKUR [15] nebo pro malé děti např. SmartLab Toys [16].

Příkladem samostatných mikrokontrolerů je velmi rozšířený vzdělávací jednodeskový počítač BBC Micro:Bit [17], počítače z rodiny Raspberry Pi [18], Arduino [19] a jeho klony nebo Edison robot [20]. Lze je pořídit jak samostatně, tak i v různě bohatých setech od různých dodavatelů, často doplněných postupy pro vytvoření základních projektů, jež využívají doplňky z daného setu. Většinu těchto stavebnic a počítačů lze programovat pomocí vizuálních programovacích jazyků/prostředí na bázi jazyka/prostředí SCRATCH (<https://scratch.mit.edu>) - v některých případech i přímo ve SCRATCH a pak je téměř vždy dostupné programování v Pythonu, C/C++ a např. u BBC Micro:Bit i JavaScriptu. Je tedy možné zvolit si způsob programování vlastních modelů podle aktuálních schopností a potřeb a postupně se propracovat hlouběji k „dospělým“ programovacím jazykům jako je např. Python nebo C/C++. Ukázka snímání tepu zaměstnanců za pomoci řídicí jednotky BBC Micro:Bit naprogramované pomocí grafického programovacího jazyka pro learning factory je na následujícím obrázku, viz Obrázek 1, na základě tohoto snímání tepu by mohly být rozdělovány úkoly pracovníkům (hlídání vytíženosti).



Obrázek 1 - Ukázka zkušebního modelu pro snímání tepla pracovníků pro learning factory s využitím BBC micro:bit [zdroj Autor]

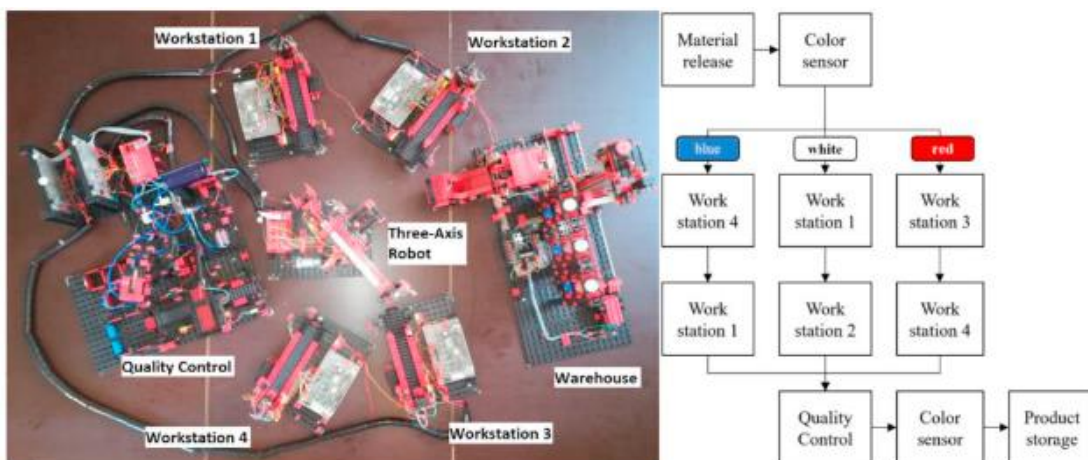
Ukázka řídicích jednotek je na následujícím obrázku, viz Obrázek 2.



Obrázek 2 - Řídící jednotky (mikrokontrolery a mikropočítače) [Zdroj: Autor]

### 3 HW modely a jejich využívání v rámci konceptu Industry 4.0

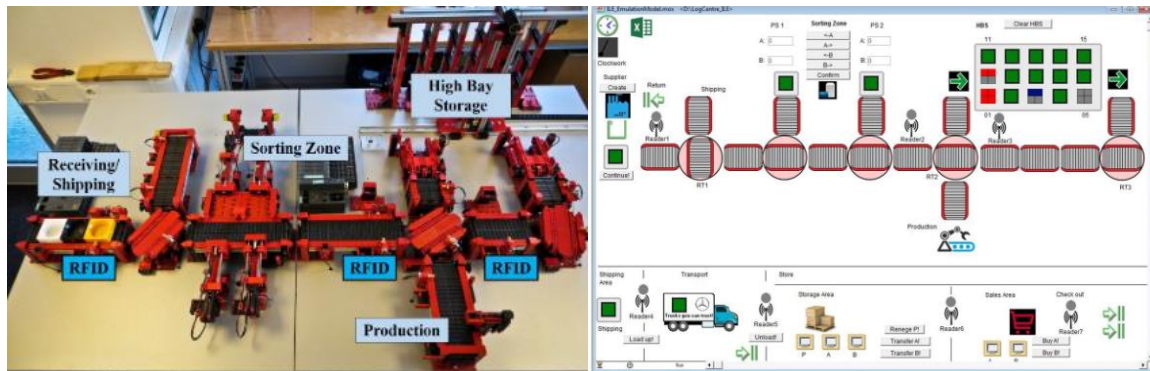
Pechmann a kol. [21] na University of Applied Sciences Embedn/Leer, fakultě technologie, a Institutu for Industrial Informatics, Automation and Robotics vytvořili s využitím stavebnice Fischertechnik kyber-fyzikální systém (nejedná se o zakoupený kompletní model) skládající se ze 4 pracovních stanic, skladu, tříosého robota, dopravníků a stanice pro kontrolu kvality s vizí využití ve vzdělávání, ukázka je na následujícím obrázku, viz Obrázek 3. Tento systém „vyrábí“ 3 výrobky, které jsou rozlišeny barvou. Postup využití je takový, že model je představený jako klasická výroba bez jakýchkoliv Industry 4.0 prvků, rozdělí studenty do skupin po max. třech a každá skupinka má za úkol implementovat prvky Industry 4.0 do jim svěřené části modelu. Studenti napojují model na ERP systém, pracují s různými databázemi (MySQL, Oracle) a způsoby komunikace (např. MQTT). Zároveň je model využíván při bakalářských a diplomových pracích, kdy student zpracoval napojení modelu na software AnyLogic pro diskrétní simulace. Není řečeno, jakým způsobem je zpracováno řízení modelu a práce s ním, ale z kontextu vyplývá, že se využívají buď napřímo pracovní stanice, nebo PLC. Autoři vyzdvihují jako přínos využití modelu ve výuce v předání ucelených znalostí a jejich mezioborovým propojení, kdy se kromě rozšíření znalostí z oblasti informatiky seznámí i s principem různých el. prvků, jejich využitím, programováním apod.



Obrázek 3 - Model postavený na platformě Fischertechnik pro využití ve výuce Pechmannem a kol. [21]

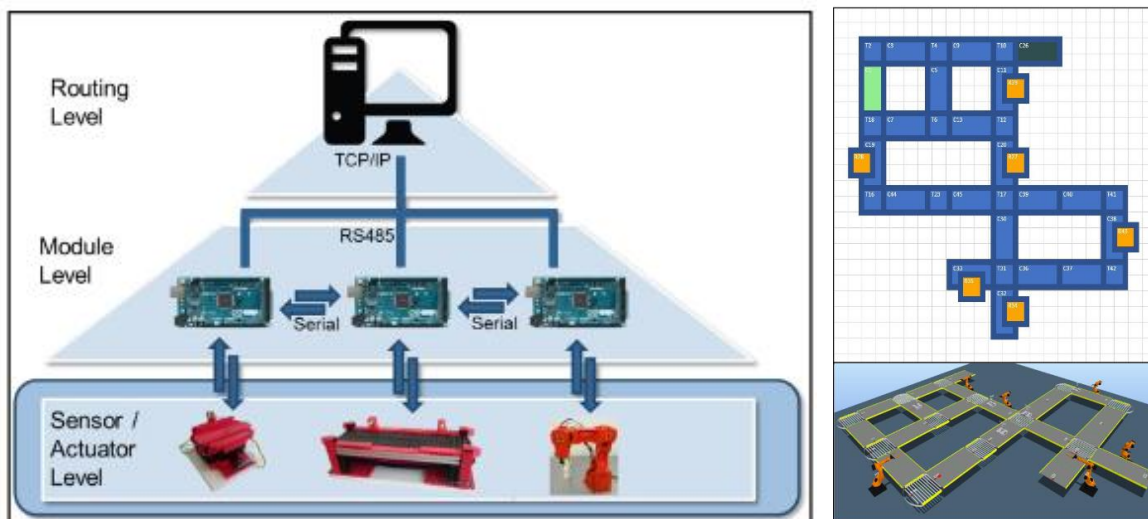
Hofmann a kol. [22] využívají vlastní learning factory, kde HW model je postavený na platformě Fischertechnik a k němu je vytvořena vlastní emulace sloužící k rozhodování. Tuto learning factory využívají autoři ve výuce logistiky. Výuka s využitím learning factory je pak zaměřena na řešení problémů. Studenti jsou konfrontováni s existujícím problematickým procesem nebo procesem, který je potřeba nově nasadit, a jejich úkolem je se s daným problémem vypořádat. Zadáání může např. znít: Navrhněte a implementujte proces inventury pro High Bay Storage. Autoři odkazují na Freemana a kol., kteří říkají, že praktická práce podstatně zvyšuje šance vysokoškoláků na

pochopení problematiky a úspěšné absolvování předmětu [23]. Zároveň také říkají, že nejlepším učitelem je neúspěšný experiment.



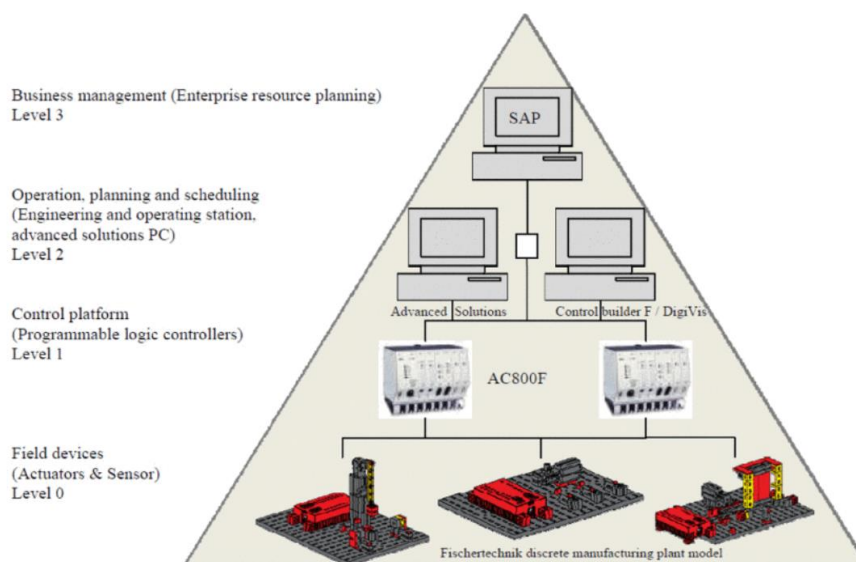
Obrázek 4 - Hardwarev model a uživatelské rozhraní emulace modelu dle Hofmanna a kol. [22]

Lang a kol. [24] pracují na modulární a decentralizované Industry 4.0 learning factory pro vzdělávání studentů v rámci konceptu Industry 4.0 a na vývoji a evaluaci nových konceptů a technologií pro využití v Industry 4.0. V rámci modelu je řešeno i jeho řízení a komunikace jak s modelem, tak v rámci modelu. Aktuálně jej využívají např. pro ověřování routovací strategie/algoritmu, na kterém aktuálně pracují. Samotný model je postavený na stavebnici Fischertechnik (10 dopravníků, 5 otočných stolů, 8 vytlačovačů, ...), 3 robotické ruce TinerKit Braccio robot a arduino MEGA 2560 pro každý výrobní modul jako řídicí jednotky. Arduina byla zvolena z důvodu malých rozměrů řídicích jednotek, rychlého vývoje a poměrně jednoduché integrace, zároveň dle autorů zajišťují do budoucna jednoduchou rozšiřitelnost learning factory takovým způsobem, aby bylo možné integrovat budoucí požadavky a nápady a rozšiřovat ji. Pro návrh a grafickou tvorbu byla vyvinuta VBA aplikace pro MS Excel, ve kterém se navrhne linka a pomocí VBA aplikace se podle návrhu v Excelu vytvoří 3D model v nástroji Emulate3D. Learning factory ještě není hotova, posledním přidaným prvkem je napojení na nástroj pro diskrétní simulace, v tomto případě Siemens Plant Simulation 14, všeobecně pro jakýkoliv přenos dat autoři využívají souborový formát AutomationML.



Obrázek 5 - Architektura learning factory, návrh layoutu v MS Excel a vygenerovaný 3D model dle Langa a kol. [28]

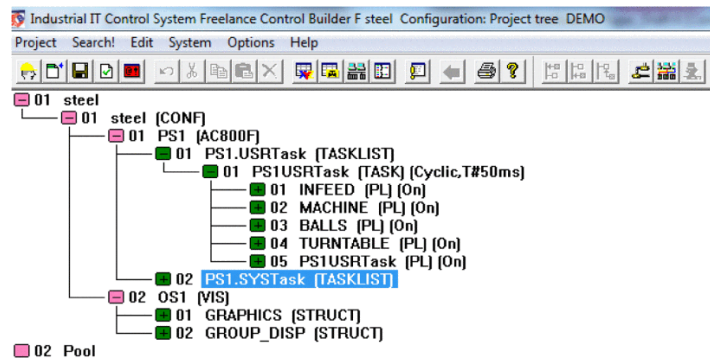
Phillips a kol. [25] pro výzkumné práce a edukaci propojili hardwarový model diskrétní simulace (model postavený na platformě Fischertechnik, dle autorů úroveň 0) řízený PLC ABB AC800F (dle autorů úroveň 1), přičemž cílem je možnost řídit výrobu ze systému na vyšší úrovni (např. SAP) nebo pro tuto úroveň alespoň sbírat data. Sami autoři rozlišují celkem 4 úrovně, viz Obrázek 6, přičemž práce řeší první 3 úrovně.



Obrázek 6 - Pyramida automatizace L0 – L3 dle Phillipse a kol. [25]

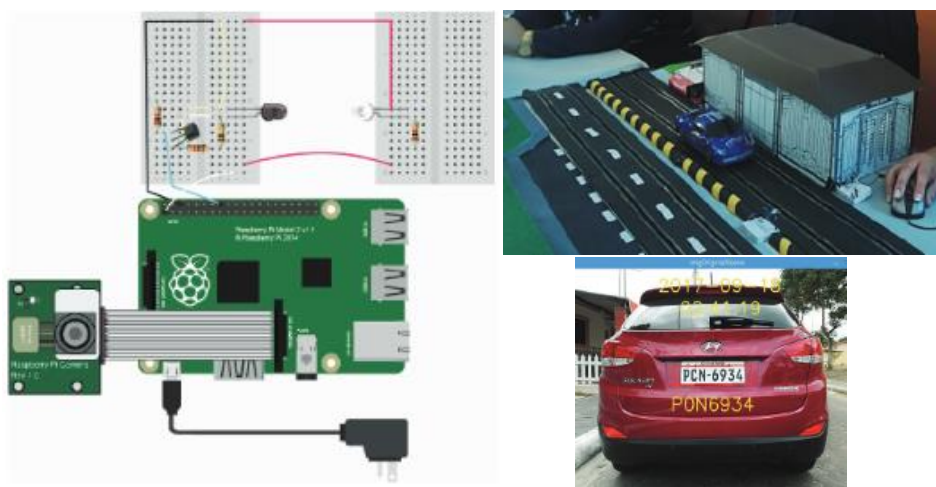
Pro úroveň 3 byl zvolen nástroj ABB Freelance 800F jako integrované prostředí pro správu a řízení hw modelu včetně sběru dat z něj. Vytvořené kyber-fyzikální prostředí slouží k seznámení studentů s automatizací a u odborníků k rozšíření jejich znalostí v bezpečném laboratorním prostředí. Ukázka stromu projektu v nástroji ABB Freelance je na obrázku, viz Obrázek 7. Do budoucna autoři uvažují o rozšíření o napojení na databázi, napojení na 3. úroveň (na ERP systém, např. SAP) a implementaci plánovacího a

optimalizačního řešení. Při využívání navrženého prostředí ve vzdělávání se ukázalo, že je pro studenty velmi obtížné sekvenování, tedy stanovení pořadí událostí v modelové továrně a rozšiřování modelu o novou stanici/stanice, které pro ně zesložituje nejen celý řídicí kód, ale zasahuje i do stanovených sekvencí, jež dělá komplikovanějšími a zasahuje do jejich stávajícího pořadí. Learning factory je a nadále bude využívána studenty pro návrh a evaluaci různých layoutů výrobních podniků. Pro výzkumníky slouží jako prostředí pro vývoj a vyhodnocování nových konceptů a používání nových technologií vztažených ke konceptu Industry 4.0.



Obrázek 7 - Ukázka stromu projektu v ABB Freelance [25]

Padilla a kol. [26] představují případovou studii, kdy pro zlepšení průjezdnosti v rámci provozu využívají neurálních sítí a rozeznávání obrázků. Prototyp postavili na jazyce Python a mikropočítači RaspberryPi 3 vybavený kamerou pro sběr obrázků a branou spouštějící kameru využívající infra LED. Pro verifikaci využívali vlastní model. Při testování rozeznávání značek skutečných aut pak dosáhli přesnosti rozeznání aut dle značek ze 78,04 %. Pro vyšší přesnost by dle autorů byla potřeba už lepší kamera a normalizace obrázků (výsledek je hodně ovlivněn např. úhlem, pod kterým je značka snímána). Pro skutečné nasazení by dále bylo potřeba řešit implementaci GSM modulů. Ukázka je na následujícím obrázku, viz Obrázek 8.

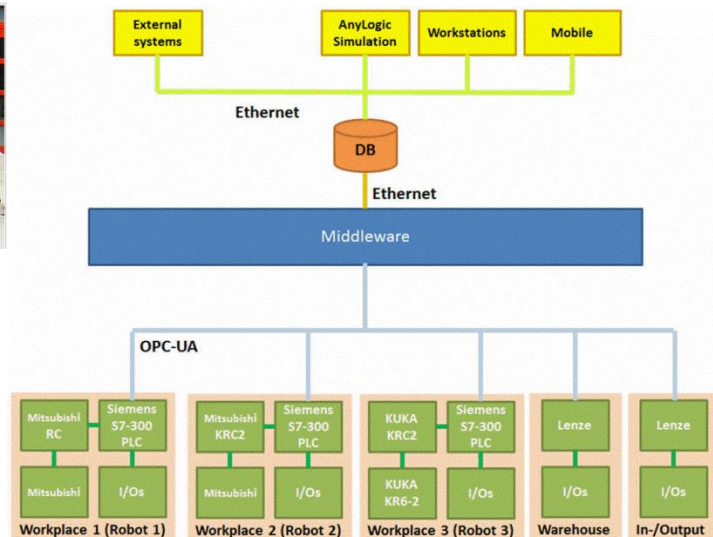


Obrázek 8 - Schéma zapojení, verifikační model a ukázka z venkovního testu Padillou a kol. [26]

Zarte a kol. [27] ve své studii představují vybudovanou Industry 4.0 laboratoř pro demonstrování komunikace mezi dílnou a různými úrovněmi IT v rámci organizace. Laboratoř je využívána v rámci bakalářského a magisterského studia oborů elektrotechnika, informatika, počítačové vědy a průmyslové informatika a skládá se z několika částí:

- HW model (dílnu) skládající se ze skladu, 3 pracovních stanic, dopravníku a vstupně/výstupního modulu. Vše je řízeno PLC jednotkami SIEMENS S300 PLC, pracovní stanice jsou vybaveny roboty KUKA nebo Mitsubishi. Produkt představují sestavy z LEGO Duplo obohacenými o RFID.
- ERP systém, ze kterého využívají moduly CRM, SRM, e-PPS a Warehouse (pro správu skladu).
- Databáze Oracle, která je součástí ERP systému
- Nástroj AnyLogic pro simulace a prediktivní údržbu

V pojetí autorů představuje samotná dílna, resp. HW model, úroveň 1, na úrovni 2 jsou PLC jednotky, úroveň 3 je simulační software pro plánování a optimalizaci a úroveň 4 je ERP systém. Od této learning factory je očekáván přímý dopad na studenty a způsob jejich vzdělávání. Studenti byli zapojeni přímo do tvorby laboratoře a stejně tak se plánuje jejich využití i při jejím rozšiřování. Laboratoř se využívá jak k demonstracím, tak závěrečným pracím studentů a ověřování nových metodik, technik, postupů, optimalizací apod. Ukázka je na následujícím obrázku, viz Obrázek 9.

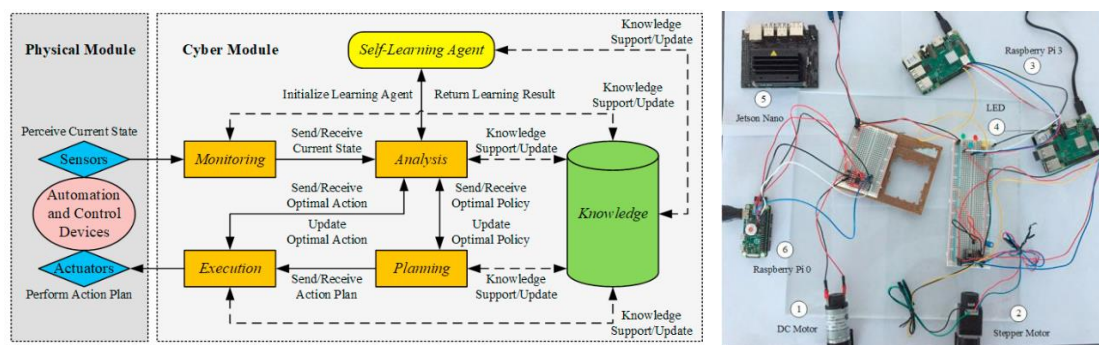


Obrázek 9 - Ukázka laboratoře Industry 4.0 a logické architektury demonstrátoru Industry 4.0 představená Zartem a kol. [27]

Lyu a kol. [28] vyvíjejí dvouvrstvou architekturu pro modelování kyberfyzikálních systémů, kterou cílí na integraci umělé inteligence a real-time adaptace systému. Využívají k tomu počítač Jetson Nano, který zajišťuje analyzování, plánování, znalostní agenty a samoučení a počítače

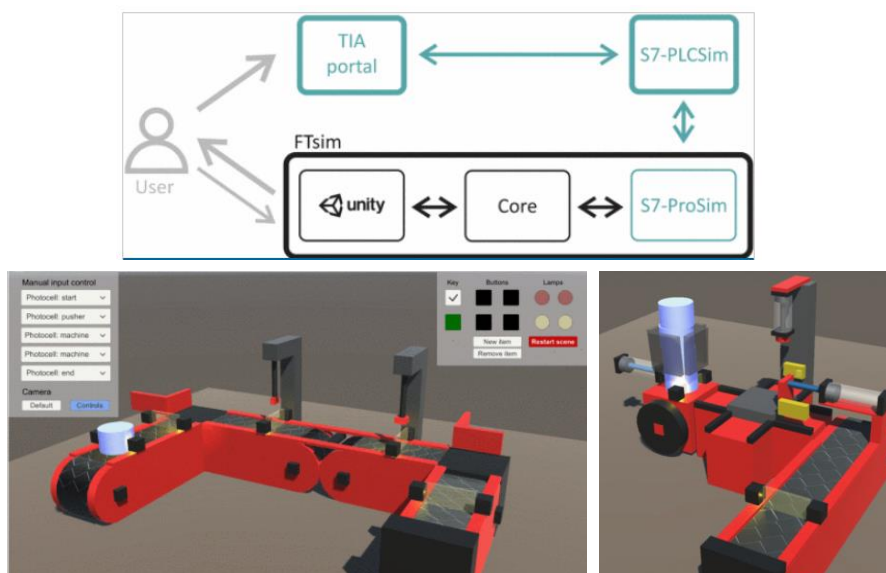


RaspberryPi 3 a RaspiberryPi Zero, jež zajišťují monitorování a výkonné agenty (v tomto případě řízení motorů). Ukázka architektury a modelu je na následujícím obrázku, viz Obrázek 10.



Obrázek 10 - Dvouvrstvá architektura pro CPS a fyzický model dle Lyu a kol. [28]

Ilc a Lotrič [29] vytvořili simulátor tréninkového modelu nazvaný FTsim, který je 3D virtualizací tréninkového modelu využívajícího platformu Fischertechnik řízenou PLC SIEMENS S7, využívající Fischertechnik modely (model výrobní stanice s dopravníkem, model pneumatického procesního centra a model 3D uchopovacího robota). Model v FTsim se pak může chovat jako digitální dvojče ke skutečné výrobě představené fyzickým modelem postaveným na platformě Fischertechnik, limitujícím faktorem je pouze omezení na řízení modelu pomocí výše zmíněného PLC. FTsim je využíván pro výuku studentů oboru Computer Science a slouží k seznámení studentů s programováním PLC a s jejich interakcí se systémy na vyšší úrovni. Díky využití unity autoři plánují rozšíření o napojení na VR. Architektura vytvořeného nástroje FTsim a ukázka modelu je na následujícím obrázku, viz Obrázek 11.



Obrázek 11 - Architektura FTsim a ukázka modeluv FTsim [29]

Faller a Feldmüller [30] vytvořili learning factory se zaměřením na využití pro regionální SME podniky v okolí své univerzity, pro které je dle autorů velmi složité implementovat prvky Industry 4.0 hlavně kvůli nedostatku znalostí a

strachu z tohoto nového konceptu. Learning factory propojuje ERP systém (SAP) s MES a systémem pro monitorování spotřeby energie. Tyto systémy čerpají data z robota Mitsubishi (přes PLC) a CNC stroje SIEMENS 840D (napřímo, bez PLC).

Navržená learning factory cílí na základní (!) ukázkou a vzdělání ve 3 směrech, jsou to 3 samostatná, na sobě nezávislá (a nepodmiňující) školení:

- Technická a organizační integrace managementu a výroby
- Automatizace skrz moderní komunikační technologie (komunikace s PLC, Robot Control, CNC)
- Zvýšení energetické účinnosti ve výrobních procesech

Kromě těchto školení je využívána learning factory pro výuku studentů a pro vyhodnocování výzkumných projektů. Autoři zmiňují, že u takového řešení je potřeba vyvinout velké úsilí k dosažení rozumně spolehlivé integrace a že do budoucna bude potřeba vytvořenou learning factory rozšířit.

## 4 Průmyslové inženýrství, průmyslový inženýr

Průmyslové inženýrství (dále jen „PI“) je podle jedné z definic vedoucí vědní obor zabývající se návrhem, zaváděním a zlepšováním integrovaných systémů majících socio-technickou povahu a integruje lidi, informace, stroje, energie, materiál a procesy v rámci celého životního cyklu výrobku, služby nebo programu.[31]

Jiná definice označuje PI jako multidisciplinární obor řešící aktuální potřeby podniků v oblasti moderního průmyslového managementu, kombinuje technické znalosti inženýrských oborů s poznatky z podnikového řízení a na jejich základě kombinuje, racionalizuje, optimalizuje a zefektivňuje výrobní i nevýrobní procesy. Systematicky se zabývá projektováním, plánováním, zaváděním a zlepšováním průmyslových procesů a implementacemi.[32]

Kosky a kol. [33] říká, že se průmyslové inženýrství týká výroby jakéhokoliv ekonomického zboží v rámci ekonomiky. Průmyslové inženýrství pak nedefinují jako celek, ale člení jej na kategorie:

1. Výroba a kontrola kvality
2. Metody inženýrství
3. Simulační analýza a operační výzkum
4. Ergonomie
5. Manipulace s materiálem

Jestliže se podíváme na průmyslového inženýra a požadavky, které jsou na něj kladeny, pak národní soustava povolání definuje průmyslového inženýra jako pracovníka, který plánuje, projektuje, řídí a implementuje komplexní integrované výrobní systémy a systémy pro poskytování služeb, zabezpečuje výkonnost a spolehlivost systémů, řídí náklady, zlepšuje procesy, zvyšuje

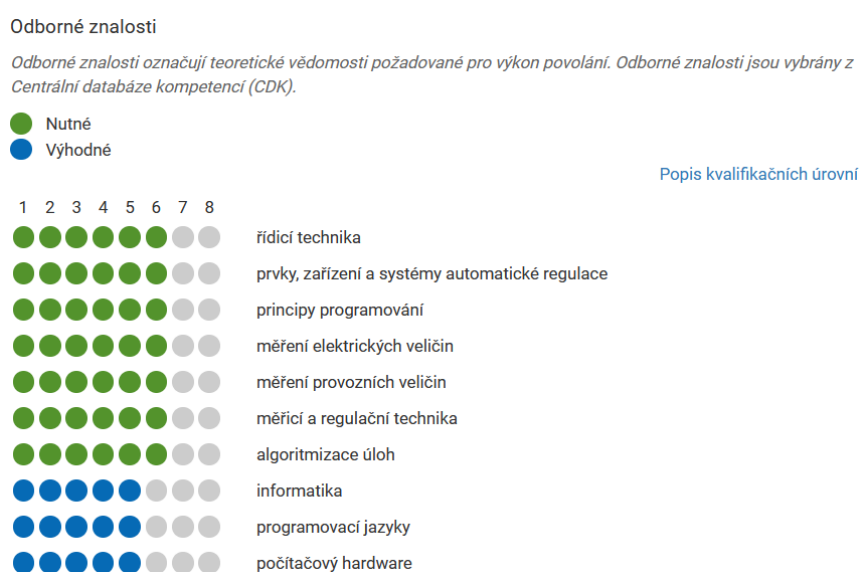
produktivitu práce a efektivitu výroby. Mezi výčtem činností průmyslového inženýra nechybí ani vzdělávání a trénink pracovníků např. v oblasti zlepšování procesů a moderace workshopů. Z obecných dovedností je jako nejdůležitější uváděna počítačová způsobilost [34].

Ivan Mašín a Milan Vytlačil pak definují průmyslového inženýra jako osobu upozorňující ostatní inženýrské profese, že existuje něco jako obchodní realita, pomáhá překonávat mezeru mezi liniovými pracovníky a manažery. Průmyslový inženýr ví, že nákup drahého stroje nemusí znamenat podstatné zvýšení produktivity, musí mít nadhled a bere v potaz vždy celkové řešení, tedy je si vždy vědom souvislostí. [31]

#### 4.1 Průmyslový inženýři a legislativní omezení

Při využívání modelů nebo stavebnic postavených na PLC naráží klasický průmyslový inženýr na legislativní omezení. Sice je možné, aby PLC programoval, ale pokud nedisponuje odbornou způsobilostí podle vyhlášky č. 50/1978 Sb., o odborné způsobilosti v elektrotechnice § 5 – Pracovníci znalí, nebo § 6 – Pracovníci pro samostatnou činnost, neměl by PLC obvody zapojovat nebo upravovat. Pro získání této odborné způsobilosti je dle platné legislativy potřebné elektrotechnické vzdělání, minimálně vyučení (v případě § 6 pak v kombinaci s praxí v délce podle typu el. vzdělání). Toto nesplňuje pracovník např. se strojírenským vzděláním. [35]

I národní soustava povolání spravovaná Ministerstvem práce a sociálních věcí ČR ([www.nsp.cz](http://www.nsp.cz)) považuje povolání Programátor PLC za elektrotechnicky zaměřené než za infromaticky zaměřené. Vzdělání v elektrotechnice označuje za nutné, zatímco v informatice, programových jazycích a počítačovém hardware pouze za výhodné [36]. Přehled odborných znalostí programátora PLC je uveden na následujícím obrázku, viz Obrázek 12.



Obrázek 12 - Odborné znalosti PLC programátora podle národní soustavy povolání [36]

Toto legislativní omezení tak brání klasickému průmyslovému inženýrovi vzdělávat ostatní v zapojování hardwarových modelů postavených na 24V využívajících PLC a omezuje jej pouze na programování hotových modelů. Tím se snižuje rozsah předávaných praktických znalostí potřebných pro pochopení principů konceptu Industry 4.0, který je na sběru dat ve výrobě a robotizaci z velké části postavený.

## 4.2 Průmyslový inženýři a Learning factories v Industry 4.0

Na základě provedené rešerše lze říct, že koncept Industry 4.0 klade vysoké nároky na znalosti a schopnosti průmyslových inženýrů. I když je průmyslové inženýrství multioborovým vzděláním, je potřeba si uvědomit, že průmyslový inženýr není elektrotechnik, programátor, datový specialista, sít'ář, matematik specializovaný na optimalizace nebo např. kybernetik. Přesto všechno koncept Industry 4.0 tyto odbornosti propojuje a vyžaduje v těchto jednotlivých oborech specializaci.

Jako znevýhodněné typy organizací jsou z pohledu konceptu Industry 4.0 často identifikované organizace typu SME. Důvodem je jejich neznalost a rigidita. Např. vědí, že simulační nástroje jsou jednorázově poměrně drahé, ale nevědí, co jim simulační nástroje mohou přinést za výhody, a jaký mohou mít dopad na jejich profitabilitu a výrobu jako takovou.

Přístupy k learning factories mohou být 4:

1. Nevyužívat fyzických modelů (vzdělávacích pomůcek)
2. Využívat vlastních modelů (vlastní stavební prvky, např. využití 3D tisku)
3. Využívat stavebnic modelů
4. Využívat koupených od výrobce sestavených modelů

V prostudovaných pramenech nebylo nalezeno řešení problematiky návrhu, nebo realizace Learning factory s digitálním dvojčtem pro modelování a simulování hlavních myšlenek konceptu Industry 4.0, který by bral v potaz, že je určený pro vzdělávání průmyslového inženýra, využívání samotným průmyslovým inženýrem (bez potřeby dalších pracovníků specifického odborného vzdělání) a zohledňoval by schopnosti a znalosti průmyslového inženýra vyplývající ze vzdělání průmyslového inženýra a legislativní omezení vyplývající z tohoto vzdělání.

Na základě zvolených nástrojů pro HW Learning factory s digitálním modelem bude proto potřeba navrhnout její komplexní architekturu. Tato architektura se bude skládat z několika vrstev a všeobecně musí popisovat:

- HW prezentační vrstvu, která je potřeba jak pro hardwarovou část Learning factory (tedy z čeho ji postavit, aby byla stavba modelu realizovatelná a adekvátně odpovídala možným potřebám)

- Softwarovou prezentační vrstvu digitálního dvojčete a případných dalších vlastních softwarových nástrojů naprogramovaných pro potřeby komplexního modelu.
- Datovou vrstvu sloužící pro ukládání potřebných dat produkovaných hardwarovým modelem, popř. digitálním dvojčetem a umožňující sdílení těchto dat mezi nimi.
- Logickou vrstvu, tedy logiku aplikací používaných v komplexním modelu. V tomto případě se jedná jak o logiku v rámci řídicího programu hardwarového modelu, tak logiku simulačního modelu (resp. digitálního dvojčete) a logiku implementovanou ve vlastním software, který bude potřeba navrhnout pro realizaci komplexního modelu.

## 5 Závěr

Pro získání alespoň základních znalostí v problematice Industry 4.0 v široké škále oborů a specializací potřebných pro rozvoj 4. průmyslové revoluce, využívají organizace i univerzity training/learning factories zaměřené jak na vzdělávání vlastních studentů, tak i pracovníků z okolních výrobních podniků. Akademičtí pracovníci a odborní pracovníci průmyslových podniků je pak využívají např. na ověřování hypotéz, nových algoritmů vycházejících z jejich výzkumných činností apod. V případě vzdělávání studentů a pracovníků z výrobních podniků se využívají learning factories jak pro komplexní vzdělávání, tak pro vzdělávání v dílčích problematikách z konceptu Industry 4.0. V takovém případě vždy záleží na možnostech a komplexitě využívaných modelů. Jedná se tedy o modely od řídicí jednotky se třemi LED až po skutečné výrobní linky (nebo stroje) v laboratoři schopné skutečné výroby.

Výzkumníci a vzdělávací organizace pak často volí kombinaci nákupu hotového modelu a stavby vlastního. Zakoupený hotový model se využívá k prezentacím, ale zasahuje se do něj minimálně např. z důvodu jeho uzavření (nemožnost jakékoliv vlastní úpravy nebo možnosti velmi omezené), nebo složitosti, náročnosti řízení/programování nebo vysoké pořizovací ceny a drahého servisu v případě nepovedeného zásahu. Vlastní model pak volí z důvodu absolutní kontroly nad modelem a jeho znalosti. Zde je i benefit v tom, že na tvorbě vlastního modelu se nejvíce naučí a tyto modely mohou napojovat na jakékoliv další systémy, které organizace využívá, nebo je propojovat mezi sebou.

Nevýhodou v případě modelů je nedostupnost informací. Organizace nezveřejňují kompletní informace k modelům a jejich řídicí software. Prezentují buď výsledky, kterých s modely dosáhly (přičemž tyto modely byly vytvořeny pouze za jedním konkrétním účelem, např. pro ověření konkrétního algoritmu), nebo jejich velmi základní popis – tedy např. jaké vybavení a software využívají, ale bez dalších podstatných informací.

V prostudovaných pramenech nebylo nalezeno řešení problematiky návrhu, nebo realizace learning factory s digitálním dvojčetem pro modelování a simulování hlavních myšlenek konceptu Industry 4.0, který by bral v potaz, že je určený pro vzdělávání průmyslového inženýra, využívání samotným průmyslovým inženýrem (bez potřeby dalších pracovníků specifického odborného vzdělání) a zohledňoval by schopnosti a znalosti průmyslového inženýra vyplývající z jeho vzdělání a legislativní omezení vyplývající z tohoto vzdělání. Z výše uvedeného se tedy jeví jako potřebné vznik návrhu architektury HW modelu s digitálním dvojčetem (simulací), který by byl navržený s ohledem na schopnosti a znalosti průmyslových inženýrů a umožnil jim tak realizovat a využívat vlastní modely i s jejich znalostmi, schopnostmi a např. i legislativními omezeními.

### Poděkování

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu SGS-2021-028 s názvem "Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému" řešeného v rámci Interní grantové agentury Západočeské univerzity v Plzni.

### Použitá literatura

- [1] K. Paige, L. O’Keeffe, R. Geer, D. MacGregor, a D. Panizzon, „Using artefacts to articulate teachers’ perceptions of STEM“, *Teaching Science*, roč. 65, č. 1, s. 48–54, 2019.
- [2] S. B. Nite, M. Margaret, R. M. Capraro, J. Morgan, a C. A. Peterson, „Science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: A longitudinal examination of secondary school intervention“, in *2014 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*, Madrid, Spain, říj. 2014, s. 1–7. doi: 10.1109/FIE.2014.7044214.
- [3] C. J. Clark, T. W. Ardley, a J. T. Black, „The program of excellence in STEM: Involvement of traditionally underrepresented students in STEM education through research and mentoring at Florida A&M University“, in *2015 IEEE Integrated STEM Education Conference*, Princeton, NJ, USA, bře. 2015, s. 159–163. doi: 10.1109/ISECon.2015.7119915.
- [4] J. Miorelli, N. Stambach, B. Moskal, a J. Dwyer, „Improving faculty perception of and engagement in STEM education“, in *2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Camino Real El Paso, El Paso, TX, USA, říj. 2015, s. 1–6. doi: 10.1109/FIE.2015.7344220.
- [5] M. Goodwin, J. Healy, K. Jacksa, a J. Whitehair, „Strategies to address major obstacles to STEM-based education“, in *2017 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, Princeton, NJ, USA, 2017, s. 156–158. doi: 10.1109/ISECon.2017.7910233.

- [6] C. Conradty a F. X. Bogner, „From STEM to STEAM: Cracking the Code? How Creativity & Motivation Interacts with Inquiry-based Learning“, *Creativity Research Journal*, roč. 31, č. 3, s. 284–295, čvc. 2019, doi: 10.1080/10400419.2019.1641678.
- [7] A. Bicer, S. B. Nite, R. M. Capraro, L. R. Barroso, M. M. Capraro, a Y. Lee, „Moving from STEM to STEAM: The effects of informal STEM learning on students' creativity and problem solving skills with 3D printing“, in *2017 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Indianapolis, IN, říj. 2017, s. 1–6. doi: 10.1109/FIE.2017.8190545.
- [8] A. D. Kney, J. C. Tatu, M. Marlin, a X. Meng, „Transforming STEM to STEAM (Work in Progress): How a traditionally run STEM camp successfully incorporated the arts into its framework“, in *2016 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, Princeton, NJ, USA, bře. 2016, s. 1–4. doi: 10.1109/ISECon.2016.7457470.
- [9] M. Amr, „How to Build a DIY Arduino-Based Smart Home Hub with 1Sheeld“, *Arduino Project Hub*. <https://create.arduino.cc/projecthub/amrmostaafaa/how-to-build-a-diy-arduino-based-smart-home-hub-with-1sheeld-79d405> (viděno kvě. 10, 2021).
- [10] J. Bachmannová, „Naše řeč – Bastlovat, bastlit“. <http://nase-rec.ujc.cas.cz/archiv.php?art=6725> (viděno kvě. 10, 2021).
- [11] IT SLOVNÍK.cz, „Kdo je to Bastlíř? - IT Slovník“. <https://it-slovník.cz/pojem/bastlir> (viděno kvě. 10, 2021).
- [12] Ö. Korkmaz, „The Effect of Lego Mindstrom Eve 3 Based Design Activities on Students' Attitudes towards Learning Computer Programming, Self-efficacy Beliefs and Levels of Academic Achievement“, *BJMC*, roč. 4, č. 4, pro. 2016, doi: 10.22364/bjmc.2016.4.4.24.
- [13] W. Wang, „A mini experiment of offering STEM education to several age groups through the use of robots“, in *2016 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, Princeton, NJ, USA, bře. 2016, s. 120–127. doi: 10.1109/ISECon.2016.7457516.
- [14] M. Gensheimer, E. Müller, a G. Hagel, „A hands-on approach on software engineering education using fischertechnik hardware“, in *Proceedings of the 4th European Conference on Software Engineering Education*, Seon/Bavaria Germany, čer. 2020, s. 71–75. doi: 10.1145/3396802.3396812.
- [15] „Novinky - Produkty - Svět Merkur“. <http://www.svetmerkur.cz/produkty/stavebnice-merkur/novinky/> (viděno kvě. 10, 2021).

- [16] „SmartLab Toys | SmartLab Toys Books | Book Publisher SmartLab Toys". <https://www.quartoknows.com/imprints/2171/SmartLab-Toys/> (viděno kvě. 10, 2021).
- [17] Micro:bit Educational Foundation, „Micro:bit Lessons". <https://microbit.org/> (viděno kvě. 10, 2021).
- [18] Raspberry Pi Foundation, „RaspberryPi Online learning", *Raspberry Pi*. <https://www.raspberrypi.org/training/online/> (viděno kvě. 10, 2021).
- [19] Arduino AG, „Arduino Tutorials". <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage> (viděno kvě. 10, 2021).
- [20] Meet Edison, „Robot programming software- free software for the Edison robot", *Meet Edison*. <https://meetedison.com/robot-programming-software/> (viděno kvě. 10, 2021).
- [21] A. Pechmann, J. Wermann, A. W. Colombo, a M. Zarte, „Using a semi-automated job-shop production system model to prepare students for the challenges of Industrial Cyber-Physical Systems", *Procedia Manufacturing*, roč. 31, s. 377–383, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.03.059.
- [22] W. Hofmann, S. Langer, S. Lang, a T. Reggelin, „Integrating Virtual Commissioning Based on High Level Emulation into Logistics Education", *Procedia Engineering*, roč. 178, s. 24–32, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.055.
- [23] S. Freeman *et al.*, „Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, roč. 111, č. 23, s. 8410–8415, čer. 2014, doi: 10.1073/pnas.1319030111.
- [24] S. Lang, T. Reggelin, M. Jobran, a W. Hofmann, „Towards a Modular, Decentralized and Digital Industry 4.0 Learning Factory", in *2018 Sixth International Conference on Enterprise Systems (ES)*, Limassol, říj. 2018, s. 123–128. doi: 10.1109/ES.2018.00026.
- [25] K. Phillips, B. Gruszka, J. Carroll, M. Bauer, a O. Maharaj, „Connecting industrial automation software to a discrete manufacturing plant model for research and education", in *2013 Africon*, Pointe-Aux-Piments, Mauritius, zář. 2013, s. 1–5. doi: 10.1109/AFRCON.2013.6757722.
- [26] V. S. Padilla, R. A. Ponguillo, A. A. Abad, a L. E. Salas, „Cyber-physical system based on image recognition to improve traffic flow: A case study", *IJECE*, roč. 10, č. 5, s. 5217, říj. 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i5.pp5217-5226.
- [27] M. Zarte, A. Pechmann, J. Wermann, F. Gosewehr, a A. W. Colombo, „Building an Industry 4.0-compliant lab environment to demonstrate connectivity between shop floor and IT levels of an enterprise", in *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics*



- Society*, Florence, Italy, říj. 2016, s. 6590–6595. doi: 10.1109/IECON.2016.7792956.
- [28] G. Lyu, A. Fazlirad, a R. W. Brennan, „Multi-Agent Modeling of Cyber-Physical Systems for IEC 61499 Based Distributed Automation", *Procedia Manufacturing*, roč. 51, s. 1200–1206, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.168.
- [29] N. Ilc a U. Lotric, „FTsim: A 3D Tool for Teaching Automation Concepts", in *2018 13th APCA International Conference on Control and Soft Computing (CONTROLO)*, Ponta Delgada, čer. 2018, s. 31–36. doi: 10.1109/CONTROLO.2018.8514259.
- [30] C. Faller a D. Feldmüller, „Industry 4.0 Learning Factory for regional SMEs", *Procedia CIRP*, roč. 32, s. 88–91, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.02.117.
- [31] I. Mašín a M. Vytlačil, *Cesty k vyšší produktivitě: strategie založená na průmyslovém inženýrství*. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 1996.
- [32] „Slovník průmyslového inženýrství", *BusinessInfo.cz*. <https://www.businessinfo.cz/navody/slovník-prumysloveho-inzenyrstvi/> (viděno dub. 19, 2021).
- [33] P. Kosky, R. Balmer, W. Keat, a G. Wise, *Exploring engineering*, 5. vyd. Philadelphia: Elsevier Inc, 2020.
- [34] „Průmyslový inženýr| NSP.CZ". <https://nsp.cz/jednotka-prace/prumyslovy-inzenyr> (viděno dub. 19, 2021).
- [35] Legislativa ČR, „50/1978 Sb. Vyhláška o odborné způsobilosti v elektrotechnice", *Zákony pro lidi*. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1978-50> (viděno kvě. 13, 2021).
- [36] Národní soustava povolání, „Programátor PLC| NSP.CZ". <https://nsp.cz/jednotka-prace/programator-plc> (viděno kvě. 13, 2021).