



**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ
FAKULTA**

Ing. Martin Bartoň

Autoreferát dizertačnej práce

**Návrh platformy pre modernizáciu výrobných
podnikov na úroveň Smart Factory
implementáciou nevyhnutných atribútov
Industry 4.0**

**na získanie akademického titulu doktor (philosophiae doctor“, v
skratke PhD)**

**v doktorandskom študijnom programe: 2621 Automatizácia
a informatizácia procesov**

v študijnom odbore: kybernetika

Forma štúdia: externá

Trnava, 25.8.2023



Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Ústave aplikovanej informatiky, automatizácie a mechatroniky,
Materiálovotechnologickej fakulty so sídlom v Trnave, Slovenskej
technickej univerzity v Bratislave

Predkladateľ: Ing. Martin Bartoň

Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie
a mechatroniky,
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Školiteľ: prof. Ing. Pavol Tanuška, PhD.

Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a
mechatroniky,
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Jána Bottu 2781/25
917 24 Trnava

Autoreferát bol rozoslaný

**Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa.....o.....hod.
na Materiálovotechnologickej fakulte so sídlom v Trnave, Slovenskej
technickej univerzity v Bratislave**

.....
prof. Ing. Miloš Čambál, CSc.
dekan Materiálovotechnologickej
fakulty STU

SÚHRN

Ing. BARTOŇ, Martin: *Návrh platformy pre modernizáciu výrobných podnikov na úroveň Smart Factory implementáciou nevyhnutných atribútov Industry 4.0.* [Dizertačná práca] - Slovenská technická univerzita v Bratislave. Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave; Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a mechatroniky. - Školiteľ: prof. Ing. Pavol Tanuška, PhD. - Trnava: MTF STU, 2023. 132 s.

Hlavným cieľom dizertačnej práce bolo navrhnúť platformu pre modernizáciu malých a stredných výrobných podnikov na úroveň Smart Factory implementovaním nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Na začiatku je zostavený prehľad o jednotlivých atribútoch a technológiách Industry 4.0, súčasného trendu ich zavádzania a problémoch pri ich nasádzaní do praxe, zamerané najmä na Big Data a integráciu systémov. Ďalej je vypracovaná analýza vedeckých článkov a publikácií so zameraním na identifikáciu nevyhnutných atribútov Industry 4.0 potrebných na navrhnutie platformy. V práci sú nevyhnutné atribúty identifikované a na ich základe je navrhnutá platforma pre modernizáciu malých a stredných podnikov. Návrh začína osadením nových snímačov a ich pripojením k mikrokontrolérom na efektívny zber procesných dát z linky. Následne je navrhnuté dátové úložisko na báze Hadoop na zber a vyhodnocovanie dát. Návrh pokračuje integráciou dát z mikrokontrolérov, PLC a nadradených systémov MES a SCADA do pripraveného dátového úložiska. Výsledná platforma je zovšeobecnená na použitie vo výrobných podnikoch a navrhnutá na základe nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Na záver je platforma nasadená, verifikovaná a validovaná na výrobnom systéme AFB.

Kľúčové slová: Industry 4.0, Smart Factory, integrácia, IoT, dátové úložiská

ABSTRACT

Ing. BARTOŇ, Martin: *Design of a platform for the modernization of manufacturing enterprises to the Smart Factory level by implementing the necessary attributes of Industry 4.0.* [Dissertation Thesis] - Slovak University of Technology Bratislava. Faculty of Materials Science and Technology; Institute of Applied Informatics, Automation and Mechatronics - Supervisor: prof. Ing. Pavol Tanuška, PhD. - Trnava: MTF STU, 2023. 132 p.

The main goal of the dissertation was to design a platform for the modernization of small and medium-sized manufacturing enterprises to a level close to the Smart Factory by implementing the necessary attributes of Industry 4.0. At the beginning, an overview of the individual attributes and technologies of Industry 4.0, the current trend of their introduction and the problems in their implementation, focused mainly on Big Data and system integration, is compiled. Furthermore, an analysis of scientific articles and publications is developed with a focus on identifying the necessary attributes of Industry 4.0 needed to design the platform. In the work, the necessary attributes are identified and based on them, a platform for the modernization of small and medium-sized enterprises is proposed. The proposal begins with the installation of new sensors and their connection to microcontrollers for efficient collection of process data from the line. Subsequently, a Hadoop-based data storage is designed for data collection and evaluation. The design continues with the integration of data from microcontrollers, PLCs and superior MES and SCADA systems into the prepared data storage. The resulting platform is generalized for use in manufacturing enterprises and designed based on the necessary attributes of Industry 4.0. Finally, the platform is deployed, verified and validated on the AFB production system.

Key words: Industry 4.0, Smart Factory, integration, IoT, data storage



OBSAH

ÚVOD	6
1 SMART FACTORY	9
2 INDUSTRY 4.0	10
3 ANALÝZA VÝZNAMNÝCH ATRIBÚTOV INDUSTRY 4.0 A ICH ZAPRACOVANIA PRE MALÉ A STREDNÉ PODNIKY	12
4 SUMARIZÁCIA IDENTIKOVANÝCH NEVYHNUTNÝCH ATRIBÚTOV INDUSTRY 4.0	14
5 NÁVRH PLATFORMY NA MODERNIZÁCIU SME NA ÚROVEŇ SMART FACTORY	16
5.1 Návrh a osadenie IoT zariadení	17
5.2 Návrh dátového úložiska na báze Hadoop	20
5.3 Návrh integrácie dát	24
5.4 Návrh integrácie z riadiaceho MES systému	31
5.5 Sumarizácia návrhu platformy pre malé a stredné podniky	34
PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE	40
ZÁVER	42
VÝBER Z BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV	44
ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI	46

STU

ÚVOD

Koncept Industry 4.0 sa najmä v posledných rokoch tlačí viac a viac do popredia. Firmy sa snažia byť pružnejšími, lacnejšími, rýchlejšími a chcú lepšie reagovať na obchodné trendy, v čom nasadenie konceptu zásadne pomáha. Firmy, ktoré sú schopné koncept nasadiť sú viac konkurencie schopné a vedia lepšie pracovať na trhu. Skôr či neskôr budú aj menšie firmy nútené reagovať na nové výzvy a niektoré súčasti konceptu zakomponovať do svojho prostredia, aby reagovali na nové výzvy na trhu a stali sa viac konkurencie schopné.

Pre každú firmu je nasadenie konceptu veľkou výzvou a prináša so sebou veľa výhod, ale aj zmien. Dizertačná práca je venovaná práve konceptu Industry 4.0 a jeho nasádzaní do praxe.

Hlavným cieľom práce je navrhnutie platformy pre modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory implementovaním nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Čiastkovým cieľom práce je priblížiť problematiku týkajúcu sa konceptu Industry 4.0, jeho nasadenia do firiem ako aj identifikácia problémov, ktoré v podnikoch nastávajú pri nasádzaní, najmä so zameraním na malé a stredné podniky. Ďalším čiastkovým cieľom, potrebným k naplneniu hlavného cieľa, je identifikácia nevyhnutných atribútov Industry 4.0 pre malé a stredné podniky a nakoniec verifikácia a validácia navrhutej platformy na výrobnom systéme AFB.

V prvej časti práce budú identifikované jednotlivé súčasti Industry 4.0 ako sú Big Data, Cloud Computing, či technológia digitálneho dvojčata a Smart Factory. Druhá časť práce sa bude zaoberať horizontálnou a vertikálnou integráciou ako súčasťou konceptu Industry 4.0, servisne orientovanou architektúrou, výrobným systémom AFB a MES systémom Wonderware. Tretia časť práce bude zameraná na problémy pri nasádzaní Industry 4.0, so zameraním najmä na Big Data a vertikálnu integráciu systémov. Štvrtá časť práce sa bude venovať analýze významných

::: S T U

atribútov Industry 4.0 so zameraním na identifikáciu nevyhnutných atribútov pre malé a stredné podniky, výzvam pri nasádzaní Industry 4.0 do praxe a výhodám digitalizácie podnikov. Výsledkom identifikácie budú nevyhnutné atribúty Industry 4.0 pre malé a stredné podniky. Piata časť práce sa bude venovať návrhu platformy pre modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory na základe identifikovaných nevyhnutných atribútov Industry 4.0 so zameraním na nízke náklady. Posledná časť práce sa bude venovať verifikácii a validácii navrhutej platformy na výrobnom systéme AFB.

Ciele dizertačnej práce

Hlavným cieľom dizertačnej práce je:

Identifikácia a implementácia nevyhnutných atribútov Industry 4.0 pre malé a stredné výrobné podniky. Cieľom práce je na základe identifikovaných atribútov navrhnúť platformu pre modernizáciu týchto výrobných podnikov na úroveň Smart Factory.

Práca sa bude skladať z teoretickej a návrhovej časti.

Teoretická časť sa bude zaoberať nasledovným:

Zostavenie prehľadu o technológiách Industry 4.0

V tejto časti sa budeme zaoberať prehľadom súčastí a technológií konceptu Industry 4.0, súčasného trendu ich zavádzania a problémami pri ich nasádzaní do praxe.

Návrhová časť sa bude zaoberať nasledovným:

Identifikácia nevyhnutných atribútov Industry 4.0

Čiastkový cieľ ktorý pomôže nájsť odpoveď na otázku: Kedy podnik pracuje v súlade s konceptom Industry 4.0? Zameriame sa na analýzu tých

STU

atribútov Industry 4.0, ktoré je nevyhnutne potrebné do podniku zaviesť, aby sa podnik dostal na úroveň Smart Factory.

Návrh platformy pre digitalizáciu malých a stredných podnikov

Malé a stredné podniky majú najväčší problém s prechodom na Industry 4.0. Problémom je chýbajúci kapitál. V práci navrhujeme platformu, ktorú bude možné nasadiť v malých a stredných podnikoch na základe identifikovaných nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Podniky často využívajú viac riadiacich systémov a každý z nich ukladá dáta v inej podobe a inej kvalite. Navrhnutá platforma bude schopná pracovať s dátami procesnej úrovne riadenia a nadradenej úrovne - MES systému vrátane SCADA a bude schopná integrovať dáta z týchto systémov pre potreby efektívnejšej prevádzky.

Túto kľúčovú kapitolu rozdelíme na ďalšie čiastkové ciele:

- Návrh osadenia nových IoT zariadení pre efektívny zber dát z výrobných linky
- Návrh dátového úložiska pre potreby zberu dát z procesnej a prevádzkovej úrovne riadenia
- Návrh procesu integrácie procesnej a prevádzkovej úrovne riadenia

Verifikácia a validácia navrhutej platformy na linke AFB

Čiastkový cieľ na otestovanie, verifikovanie a validovanie navrhutej platformy. Na to posluží výrobný systém AFB, ktorý máme k dispozícii na ústave aplikovanej informatiky, automatizácie a mechatroniky. Testovanie, verifikovanie a validovanie bude slúžiť na overenie našich navrhnutých stratégií.

STU

1 SMART FACTORY

Smart Factory je optimalizované prepojené výrobné zariadenie, ktoré môže uľahčiť uvedenie nových produktov na trh v závislosti od dynamiky trhu; je dostatočne škálovateľné na uspokojenie zmien dopytu po existujúcich výrobkoch; je schopné vyrobiť hotové výrobky za nižšiu cenu; má smart zariadenia, senzory a roboty, ktoré sú bezproblémovo integrované s architektúrou informačného systému na umožnenie vysokej úrovne automatizácie pri spracovaní transakcií; má analyzovanie v reálnom čase, ktoré pomáha pri minimalizácii prestojov a zlepšovaní funkcií.

Smart Factory vytvára ekosystém, v ktorom medzi všetkými kľúčovými hráčmi existuje silná spolupráca (dodávatelia, operácie, IT, plánovanie, predaj, marketing a zákazníci). Vytvára jednu platformu, kde viac obchodných funkcií, napríklad obstarávanie, plánovanie, výroba... spolupracujú na splnení celkových podnikových cieľov.

Smart Factory pracuje ako akýkoľvek iný integrovaný systém. Vytváranie prostredia Smart Factory je však zložité. Implementácia si vyžaduje viacfázové a viacročné úsilie. Existujú tri kľúčové stavebné prvky Smart Factory.

Prvým prvkom je smart vybavenie. Zariadenia generujú množstvo informácií. Tieto dáta sú normálne neštruktúrované a nepoužiteľné. S príchodom IoT a Big Data môžu byť neštruktúrované dáta ľahko analyzované. Takáto analýza môže poskytnúť informácie o operáciách na výrobných zariadeniach. Jednou z kľúčových požiadaviek je, že vybavenie by malo byť pripravené na zachytenie dát a komunikovanie zachytených dát s platformou, ktorá ich dokáže analyzovať. Zariadenie musí byť vybavené senzormi a malo by byť schopné podporovať štandardné priemyselné protokoly ako sú SECS, OPC, TCP/IP.

STU

Druhým kľúčovým prvkom je bezpečne integrovaný ekosystém. Je potrebné mať vybudovaný ekosystém v podniku, pričom zariadenia, vybavenie a aplikácie sú prepojené každý s každým prostredníctvom štandardných protokolov. Kľúčové aplikácie ako sú MES, ERP a PLM by mali byť štandardom a mali by byť integrované každé s každým. Vybavenie PLC by malo byť integrované v MES na regulovanie procesných krokov. Zariadenia ako sú mobilný telefón, tablety a podobne by mali komunikovať s vyššie uvedenými aplikáciami vo výrobnnej hale. To zaisťuje, že existuje uzavretá slučka zberu informácií a kontrolných systémov.

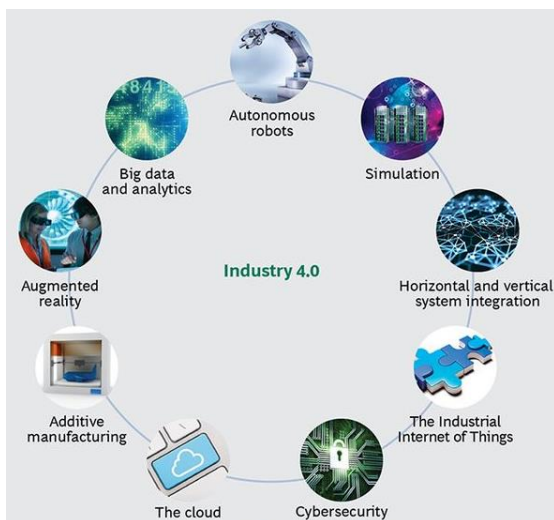
Tretím kľúčovým prvkom je pokročilá analýza. Pokročilé analytické platformy ako sú IoT platformy dokážu vytiahnuť dáta z viacerých typov zdrojov ako sú aplikácie, senzory, zariadenia, súbory a podobne, pomocou konektorov a uľahčujú komplexnú analýzu. Analýza zase poskytuje cenné informácie, ktoré pomôžu zlepšiť účinnosť, znížiť cenu a dosiahnuť optimalizáciu vo výrobe.

Budovanie Smart Factory nie je až takým problémom pre veľké firmy, nakoľko disponujú dostatočným kapitálom na implementovanie nových technológií a postupov. To ale neplatí pre malé a stredné firmy, ktorým často chýba práve potrebný kapitál a tak zostávajú na starej úrovni automatizácie bez stratégie digitalizácie podniku. Aj keď firmy disponujú kapitálom, môže malým a stredným podnikom trvať 10 a viac rokov na úspešný prechod na úroveň Smart Factory. Je nutné sa týmito problémami zaoberať, inak môžu malé a stredné podniky v budúcnosti strácať svoju konkurencieschopnosť na trhu.

2 INDUSTRY 4.0

Koncept Industry 4.0 je považovaný za štvrtú priemyselnú revolúciu, založenú na inteligentnej výrobe. Koncept Industry 4.0 je založený na integrácii informačných a komunikačných technológií a priemyselnej technológie a je závislý na budovaní kyberneticko-fyzikálnych systémov

na realizáciu inteligentných a digitálnych tovární na zlepšenie výroby, aby sa stala viac digitálnou, vedenou informáciami, zelenou a prispôsobenou. Poslaním Industry 4.0 je vybudovať vysoko flexibilný produkčný model personalizovaných a digitálnych produktov a služieb s real-time interakciami medzi ľuďmi, zariadeniami a produktmi počas výrobného procesu. Na obrázku 1 sú znázornené jednotlivé súčasti konceptu Industry 4.0



Obr. 1 Jednotlivé súčasti konceptu Industry 4.0

Industry 4.0 je komplexný a flexibilný systém, ktorý zahŕňa digitálne výrobné technológie, sieťovú komunikáciu, počítačové technológie, automatizačné technológie a veľa ďalších oblastí. Základ implementácie je založený na digitálnom dizajne a simulácii, vysoko automatizovanej výrobe, dát z výrobných procesov a manažmente výrobných procesov, ktoré vytvárajú celý proces na získanie znalostí z výroby. Na druhej strane je Industry 4.0 založené na kyberneticko-fyzikálnych systémoch, ktoré

využívajú výpočtové, komunikačné a ovládacie technológie v úzkej spolupráci na dosiahnutie real-time inteligentných výrobných systémov, dynamickej kontroly a informačných služieb. Kľúčovými technológiami Industry 4.0, ktoré najviac poukazujú na kyberneticko-fyzikálne systémy sú mobilný internet vecí, Cloud Computing, Big Data a pokročilé analytické techniky.

3 ANALÝZA VÝZNAMNÝCH ATRIBÚTOV INDUSTRY 4.0 A ICH ZAPRACOVANIA PRE MALÉ A STREDNÉ PODNIKY

Analýza popisovaná v tejto kapitole bola vykonaná na štúdiách z rokov 2016 až 2022 z databáz IEEE, WoS a Scopus. Analýza bola vykonaná na zistenie nevyhnutných atribútov Industry 4.0 potrebných na transformáciu podnikov na úroveň Smart Factory, ďalej na vyzdvihnutie potreby a nutnosti transformácie pre malé a stredné podniky, pričom boli analyzované výhody digitalizácie. V rámci kapitoly je analyzovaný prieskum vykonaný v roku 2021 spoločnosťou Industry4UM na zistenie stavu digitalizácie na Slovensku.

V článku [1] autori identifikujú deväť hlavných oblastí Industry 4.0 – Big Data a analýza, optimalizácia a simulácia, Cloud technológia, virtuálna realita, horizontálna a vertikálna integrácia, IIoT, 3D tlač, autonómna robotika a kyberbezpečnosť. Autori vyzdvihujú potrebu vypracovať rámec na zistenie potreby urgentnosti a benefitov implementácie identifikovaných atribútov pre firmy, pričom každá firma a každé odvetvie bude potrebovať iné hlavné atribúty na implementáciu.

Prehľadová štúdia [2], ktorá spravovala 161 vysoko citovaných článkov, pojednáva o Big Data, Data Intelligence a AI ako o silných a nutných nástrojoch pri rozhodovacích procesoch vo firmách. Autori vyzdvihujú tieto tri technológie ako kľúčové pri rozhodovaní, predikcii ako aj pri integrácii a inováciách vo výrobnom sektore. Ukazuje sa, že výskum bol koncentrovaný viac na inteligenciu vznikajúcich technológií ako na využitie ľudsko-umelej inteligencie pri rozhodovaní.

STU

Štúdia sledujúca automobilový priemysel [3] vyzdvihuje Business Intelligence ako prvý významný atribút Industry 4.0, pričom je nasledovaný Cloud Computingom na zvýšenie rýchlosti pri procese rozhodovania, ktorý musí byť napojený na „Internet of Everything“. Štúdia vyzdvihuje potrebu riadenia politiky na potreby zákazníka. Ďalšími dôležitými atribútmi Industry 4.0 sú Big Data analýza a vizualizácia na podporu kvality výroby a predikcie.

Autori článku [4] tvrdia, že reálna implementácia Industry 4.0 predpokladá revolučnú zmenu svojho konceptu a dizajnu. Priemyselné procesy sa budú musieť radikálne zmeniť z tradičného hierarchického modelu na sieťový model vzájomne prepojených služieb pomocou zdieľania a výmeny dát, čím sa vyzdvihuje práca s dátami na centrálny element pri nasadzovaní Industry 4.0 do praxe. Je preto potrebné dbať hlavne na zabezpečenie zbieraných dát. Článok vyzdvihuje dva aspekty pri práci s dátami, ktoré treba brať do úvahy:

- objem, frekvencia a rozmanitosť dát,
- kritickosť alebo nekritickosť zbieraných dát [4].

Na druhej strane v článku [5] autori za kľúčové atribúty Industry 4.0 považujú IoT, AI a machine learning. Právý potenciál kladú na spojenie medzi počítačmi a strojmi, ktoré dokážu robiť rozhodnutia bez nutnosti ľudského zásahu. Pojednávajú o Blockchain technológii, ktorá v kontexte Industry 4.0 môže vytvoriť efektívnejšie a flexibilnejšie výrobné prostredie. Za kľúčové prvky pre Industry 4.0 a Blockchain technológiu považujú prácu s dátami, konektivitu a digitalizáciu.

Podľa autorov štúdie [6] na implementáciu základných atribútov v stredne veľkých podnikoch Industry 4.0 je potrebné:

- zber všetkých dostupných dát zo zariadení podniku,
- chrániť dáta voči neoprávneným vstupom,
- vyhodnocovať použiteľné dáta,
- pripravenosť zamestnancov na zmeny v podnikoch.

STU

Na zapracovanie pokročilejšej stratégie Industry 4.0 v stredne veľkých podnikoch bude potrebné:

- vizualizovať dáta,
- vytvoriť virtuálnu reprezentáciu celého systému na identifikovanie a elimináciu slabých miest vo výrobe,
- vytvorenie autonómnych produkčných systémov [6].

Autori prípadovej štúdie [7] zapracovali dáta zo štyroch odvetví priemyslu a vyhodnotili najdôležitejšie parametre Industry 4.0 z ekonomického, sociálneho a environmentálneho hľadiska s využitím rôznych výpočtových algoritmov. Zistili, že v prípade výrobného sektora má najvyššiu výslednú hodnotu implementácia mobilných technológií, konkrétne 5G, Cloud Computingu, senzorov a pohonov a Big Data s analýzou dát ako je vidieť na obrázku nižšie. S vysokým skóre skončili Cloud Computing a senzory a pohony ako vysoko významné technológie na implementáciu v kontexte Industry 4.0 do rôznych odvetví priemyslu aj z rôznych hľadísk.

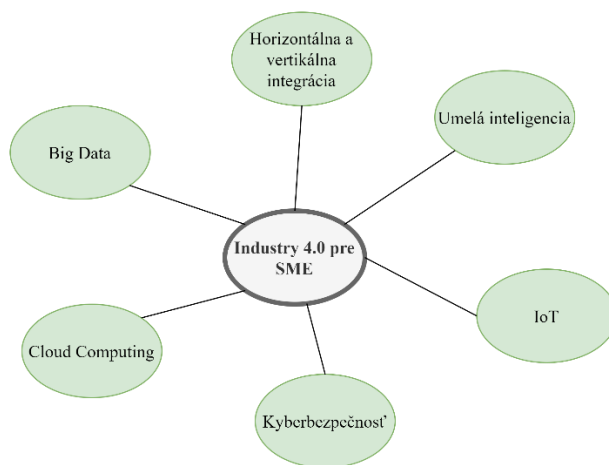
4 SUMARIZÁCIA IDENTIKOVANÝCH NEVYHNUTNÝCH ATRIBÚTOV INDUSTRY 4.0

Zo zhrnutých štúdií a výskumov jednoznačne vychádzajú nevyhnutné atribúty pre potreby digitalizácie a posunutie výroby malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory (Obr. 2):

- Big Data, ktoré väčšina spracovaných výskumov vyhodnotila ako kľúčový atribút pri digitalizácii,
- Horizontálna a vertikálna systémová integrácia na zjednotenie používaných systémov v podnikoch a lepšie efektívnejšie zdieľanie kritických dát.
- Cloud Computing, potrebný najmä pre malé a stredné podniky na zvýšenie rýchlosti spracovávaní a zálohovania dát,
- IoT, ako kľúčový prvok pri zbere a spracovávaní dát,

- Kyberbezpečnosť na ochranu dát, či už pred útokmi zvonka alebo pred stratou dát,
- V niektorých prípadových štúdiách bola identifikovaná ako kľúčová aj umelá inteligencia, práve v súvislosti so spracovávaním dát a automatizovaním výroby.

Zvyšné technológie Industry 4.0 sa v štúdiách opakovali zriedkavejšie alebo len ojedinele. Zapracovaním spomenutých technológií sa podniky výrazne približia k úrovni Smart Factory a je preto potrebné vypracovať metodiku na čo najjednoduchšie a najlacnejšie zapracovanie týchto technológií do malých a stredných podnikov.

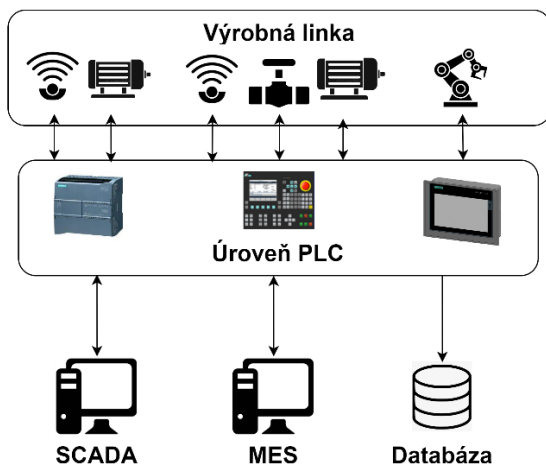


Obr. 2 Nevyhnutné atribúty Industry 4.0 pre malé a stredné podniky

5 NÁVRH PLATFORMY NA MODERNIZÁCIU SME NA ÚROVEŇ SMART FACTORY

Na základe identifikovaných kľúčových a nevyhnutných atribútov Industry 4.0 bude v tejto kapitole navrhnutá platforma na modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory implementovaním práve týchto zistených atribútov. V tejto kapitole budú postupne navrhnuté kroky, ktoré budú pomáhať malým a stredným podnikom k digitalizácii. Platforma musí byť navrhnutá s ohľadom na nízke náklady na jej implementáciu, nakoľko malé a stredné podniky nedisponujú príliš vysokým kapitálom potrebným na zapracovanie už hotových riešení, ktoré bývajú veľmi drahé.

Ako modelový príklad bude považovaný podnik s výrobnou linkou riadenou PLC pripojenou na SCADA systém, MES systém a relačnou databázou, ktorá zbiera údaje z výrobnéj linky. Ak by firma mala len výrobu riadenú pomocou PLC bez nadradeného systému, pri návrhu platformy bude počítané aj s takýmto prípadom. Úroveň PLC je priamo pripojená na senzory a akčné členy na výrobnéj linke, zároveň je pripojená cez Profinet alebo Profibus na HMI, pomocou ktorého je možné výrobnú linku ovládať a cez OPC na riadiaci nadradený SCADA a MES systém. Zároveň je úroveň PLC pripojená na relačnú databázu, kde sa zbierajú dostupné procesné dáta z výroby. Tento stav bude v práci považovaný za štandard a bude používaný ako počiatočný stav pri návrhu architektúry. Štandardná schéma počiatočného stavu je zobrazená na obrázku 3.



Obr. 3 Štandardná schéma počiatočného stavu pre návrh platformy

Z pohľadu identifikovaných atribútov bude potrebné najskôr posunúť všetky stroje, výrobné linky, akčné členy a všetko existujúce dostupné vybavenie podniku na úroveň IoT, aby podniky boli schopné zbierať procesné dáta. Po osadení nových IoT zariadení bude potrebné vykonať dôkladnú analýzu, navrhnuť a implementovať proces horizontálnej a vertikálnej integrácie. Cieľom tejto integrácie musí byť následný zber dát, pričom dáta sa budú ukladať do navrhnutých dátových úložísk a budú dostupné aj v nadradenom systéme SCADA, MES alebo ERP. Takto pripravené dáta bude potrebné spracovať, analyzovať a poskytnúť výsledky pre potreby spätnej väzby do výroby a prediktívnej údržby.

5.1 Návrh a osadenie IoT zariadení

IoT zariadenia v priemysle plnia dôležitú funkciu, pri ktorej z týchto zariadení dokážu firmy zbierať procesné dáta a následne ich analyzovať

STU

či už za účelom optimalizovania výroby, tvorby simulácie alebo na účely prediktívnej údržby. Pre firmy je preto potrebné disponovať takýmito zariadeniami a pokryť nimi celú výrobu, pretože pre komplexnú analýzu by nestačilo disponovať len časťou IoT zariadení. Zároveň je potrebné nasadiť IoT zariadenia/snímače umožňujúce zber dát pre prediktívnu údržbu ako sú teplomery, snímače prašnosti, vibrácií, vlhkosti a pod. Sú to snímače umožňujúce sledovať najmä vonkajšie faktory, ktoré ale majú na výrobu zásadný vplyv. Výber snímačov závisí od danej výrobnéj linky a je potrebné pred nasadením snímačov analyzovať ich využiteľnosť v danom výrobnom prostredí a vybrať také snímače, ktoré na danom pracovisku budú zbierať užitočné dáta. Práve z toho dôvodu bude pre každú firmu nutná analýza pred nákupom a osadením snímačov, aby mali osadené snímače čo najvyššiu efektivitu na danom pracovisku. Iné snímače budú potrebné napríklad na lakovni a iné snímače budú potrebné vo výrobe. Záleží od charakteristiky daného stroja a výrobného prostredia. Rovnako pri výbere snímačov treba zohľadňovať krytie, citlivosť snímačov a spôsob komunikácie daného snímača.

Na pripojenie nových snímačov majú firmy dve možnosti:

- pripojiť nové snímače na existujúce PLC,
- pripojiť snímače na mikrokontroléry.

V prípade pripojenia snímačov na existujúce PLC nastane viacero problémov. Snímače by bolo potrebné pripojiť do modulov PLC. Architektúry PLC sú navrhované na mieru a väčšina firiem nebude mať voľné moduly na pripojenie nových snímačov, čo nutne znamená náklady na dokúpenie PLC modulov. Ak firma bude chcieť pripojiť analógové aj digitálne snímače, bude potrebovať moduly na obidva druhy signálov, čím sa cena zase navýši. Navyše takýto zásah si bude vyžadovať úpravu riadiaceho programu PLC, čo môže uškodiť firmám, pre ktoré program vytvárala externá firma a musela by si za upgrade programu dodatočne zaplatiť. Výhodnejším riešením sa pre uvedené dôvody stáva pripojenie nových snímačov na mikrokontrolér. Týmto riešením sa uvedeným

STU

problémom dá vyhnúť, pričom je možné mikrokontrolér so snímačmi doplniť do už existujúcej architektúry bez nutnosti jej úpravy. Mikrokontrolér a spôsob pripojenia bude tak isto ovplyvňovať následný výber snímačov.

Výhody pripojenia IoT zariadení cez mikrokontrolér sú:

- Mikrokontrolér je inteligentné zariadenie schopné pracovať s koncovým zariadením a vykonávať inteligentné ovládanie.
- Mikrokontrolér je škálovateľný. V prípade potreby je možné architektúru jednoducho rozšíriť o nové IoT zariadenia.
- Mikrokontrolér je nákladovo efektívnym riešením [8].

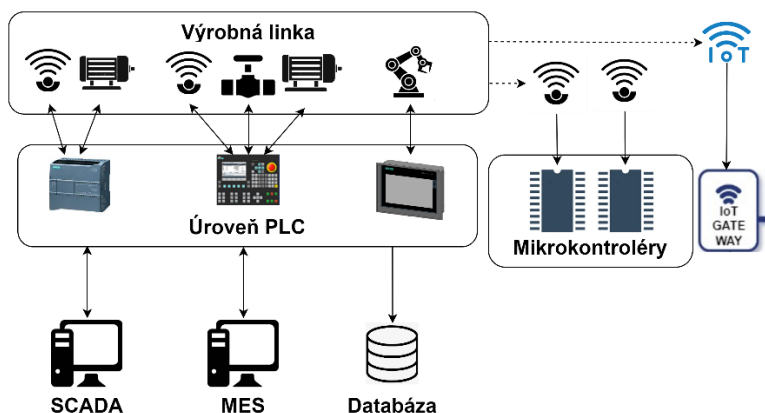
Autori článku [9] nasadili architektúru s mikrokontrolérmi do dvoch firiem, pričom architektúra je denne využívaná. Architektúra sa skladá z IoT zariadení pripojenými na mikrokontroléry. Snímače posielajú dáta do mikrokontrolérov, ktoré podľa zadaných vstupov ovládajú akčné členy na výstupe. Celá architektúra je ďalej napojená na Cloud, kde mikrokontrolér posielá procesné dáta. Tento článok potvrdzuje efektívnosť a nízku nákladovosť IoT riešení s mikrokontrolérmi a potvrdzuje rozšíriteľnosť existujúcich výrobných architektúr o takéto riešenie.

Do výberu vhodného mikrokontroléra opäť vstupujú viaceré kritériá. V článku [9] boli analyzované kritériá, ktoré ovplyvňujú výber mikrokontrolérov. Výsledkom analýzy je 5 najdôležitejších kritérií, medzi ktoré patria:

- spoľahlivosť,
- programátorská flexibilita,
- možnosť podpory,
- elektronická funkcionálnosť,
- spotreba energie [9].

Mikrokontroléry budú v navrhnutej architektúre pracovať ako medzičlánok pri zbere dát. Dáta budú čítať buď cyklicky alebo pri zmene hodnoty daného snímača. Opäť záleží od charakteristiky snímaného

pracoviska a snímača. Načítané dáta sa budú cez komunikačné protokoly a programovacie nástroje posielat' do navrhnutého úložiska. Návrh platformy po osadení IoT zariadení a mikrokontrolérov je na obrázku 4. Na pripojenie nových IoT zariadení je možné využiť aj IoT Gateway.



Obr. 4 Návrh riešenia po implementovaní IoT zariadení a mikrokontrolérov

Ako je z obrázku vidieť, navrhovaná platforma bude plne nezávislá od pôvodného riešenia. Je to možné práve využitím výhod mikrokontrolérov miesto riešenia s PLC. Podľa nášho návrhu sa IoT zariadenia osadia k existujúcej výrobnéj linke na miesta určené výsledkom analýzy podniku. Osadené IoT zariadenia sa pripoja k mikrokontrolérom, ktoré z nich budú zbierať dáta.

5.2 Návrh dátového úložiska na báze Hadoop

Pri návrhu dátových úložísk je potrebné zvážiť spôsob ukladania dát. Dáta je možné ukladať viacerými spôsobmi, pričom najpoužívanjšími sú:

STU

- Ukladanie dát do relačnej databázy,
- Ukladanie dát do úložiska na báze Hadoop,
- Ukladanie dát do Cloudu,
- Kombinácia viacerých dátových úložísk.

Pri ukladaní do relačnej databázy alebo úložiska na báze Hadoop, zvyčajne dáta zostávajú uložené v rámci podniku, väčšinou na lokálnej databáze. V prípade ukladania do Cloudu sa dáta posielajú na vzdialené úložisko, na ktoré sa vzťahujú poplatky za používanie a využívanie služieb. Pri ukladaní dát do Cloudu nie je potrebné vlastniť hardware, dáta sa posielajú pomocou internetu. Pri ukladaní dát do relačnej databázy alebo Hadoop je potrebné vlastniť hardware, ktorý musí byť na takúto záťaž, spojenú s ukladaním a analýzou veľkého množstva dát, dostatočne výkonný. Každá z možností ukladať dáta má svoje výhody a nevýhody.

K výberu by malo prispieť aj rozhodovanie, čo konkrétne bude podnik so zbieranými dátami vykonávať a očakávať od ich zberu. Ak by podnik chcel dáta iba zbierať a ukladať, bolo by pre malé a stredné podniky výhodnejšie používať Cloud server pre uvedené výhody. Podmienkou na takýto zber dát je silné a stabilné internetové pripojenie, no Cloud ponúka rozumné ceny a finančne by táto možnosť bola výhodnejšia na samotné archivovanie, pretože samotný podnik by nemusel budovať a udržiavať hardvérovú infraštruktúru. Ak by však podnik plánoval dáta aj analyzovať a vyhodnocovať v takom prípade Cloud riešenie bude finančne zaťažujúcejšie a ukladanie, analyzovanie a vyhodnocovanie sa stane výhodnejším pri vykonávaní priamo v podniku na lokálnom hardvéri. Aj v takomto prípade je možné stále Cloud využívať na zálohovanie dát, čím podnik dokáže ušetriť financie na budovanie ďalšieho lokálneho úložiska určeného na zálohu, pričom zálohovanie je lepšie vykonávať na inom mieste ako v budove podniku, kde sa dáta zbierajú a analyzujú.

V navrhovanej architektúre bude úložisko navrhnuté na ukladanie dát a ich spracovanie pomocou systému na báze Hadoop, aby dáta po spracovaní boli pripravené na vizualizáciu, ad hoc reporty alebo na

STU

použitie pre digitálne dvojča. Hadoop je podľa IBM vhodný na použitie pre malé a stredné podniky, pretože aj s malým počtom klastrov dokáže významne zvýšiť výkonnosť podniku [10]. Výhodami použitia Hadoop sú ochrana údajov pri zlyhaní hardvéru, škálovateľnosť od použitia jedného servera po tisíce klastrov, analýzy v reálnom čase pre rozhodovacie procesy. Podobným systémom je Apache Spark, ktorý je od systému Hadoop rýchlejší, no je drahší na používanie, pretože sa spolieha na výpočty v pamäti pre spracovanie údajov v reálnom čase, čo si na rozdiel od Hadoopu vyžaduje vysoký výkon a veľkú pamäť RAM.

Hadoop sa skladá zo štyroch základných častí, ktorými sú HDFS, YARN, MapReduce a Hadoop Core. HDFS je primárne dátové úložisko, ktoré spracúva veľké dátové sady bežiacie na komoditnom hardvéri. YARN je manažér zdrojov klastrov rozdeľujúci úlohy a alokovanie zdrojov do aplikácií. MapReduce rozdeľuje úlohy spracovania veľkých dát na menšie, distribuuje tieto úlohy na rôzne uzly a spúšťa jednotlivé úlohy. Hadoop Core je súbor knižníc a utilít, na ktorých sú ostatné tri základné časti závislé.

Aj keď je Hadoop ekosystém open source a jeho používanie je zadarmo, dolovanie dát môže v priemernom podniku stáť približne 5000€ mesačne (údaj z roku 2022) [10]. Tieto náklady súvisia s udržiavaním aktívnych serverov a chladením infraštruktúry, nehovoriac o nákladoch na vybudovanie takéhoto systému. Je to však investícia, ktorá podniku dokáže získať viac prostriedkov ako sama spotrebúva. V porovnaní s tradičnými dátovými skladmi poskytuje Hadoop väčšiu škálovateľnosť pri podpore relačných dát a neštruktúrovaných dát, pričom tento ekosystém presahuje rámec jedného vertikálne integrovaného systému [11]. Autori tejto štúdie ďalej uvádzajú, že Hadoop je vhodným nástrojom pri väčšine automotive pracovných aplikačných záťaží, ako je SQL alebo Machine Learning aplikácií.

Autori štúdie [12] použili Hadoop na systém prediktívnej údržby na zváracom robotovi. Analýzou určili, že zvárací robot je kritickým

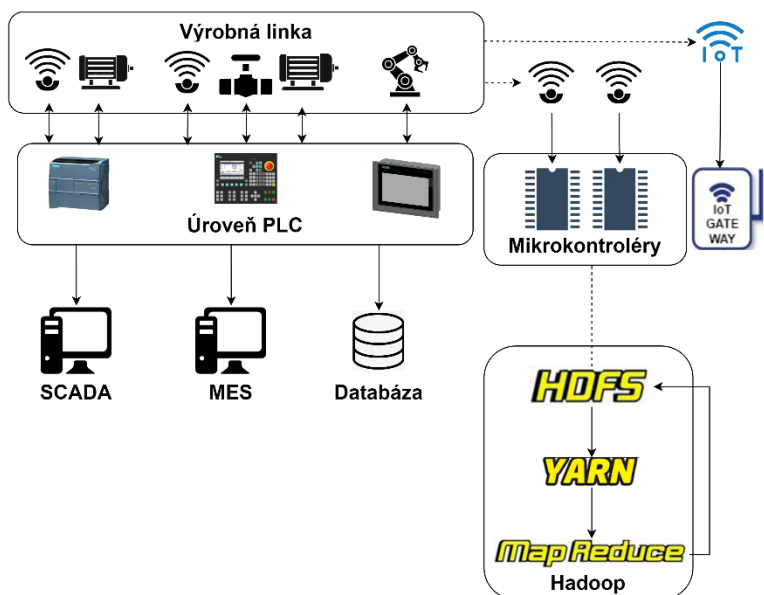
STU

miestom vo výrobe a správne nasadená prediktívna údržba môže výrazne pomôcť znížiť prestoje na tomto mieste výroby. Nasadený systém pomohol pri predikcii v reálnom čase a dokázal varovať personál v predstihu o chybnom mieste na zväzacom robotovi a tým výrazne zvýšil efektivitu údržby a zlepšil vybavenie. Nasadenie systému zvýšilo kvalitu výroby, znížilo čas potrebný na údržbu a tým zvýšilo celkovú produktivitu. Z uvedeného vyplýva, že pri návrhu dátového úložiska je možné určiť z analýzy kritické miesta vo výrobe a nasadiť Hadoop presne na tieto kritické miesta a tým zvýšiť celkovú produktivitu. Nasadenie na kritické miesta ušetrí financie na budovanie infraštruktúry na analyzovanie dát a je možné pracovať s menším počtom klastrov, nakoľko takýto systém nebude vyžadovať taký vysoký výkon ako nasadenie Hadoopu na celú výrobu.

V článku [13] bol použitý Hadoop v Big Data architektúre na lakovni. Výsledkom nasadenia Hadoopu bola vysoká efektivita, pretože systém dokázal vďaka predikcii predchádzať mnohým problémom a varovať obsluhu ešte pred vznikom problému, čím sa zvýšila produktivita danej výroby. Autori štúdie Hadoop popisujú ako schopný, rozšíriteľný, spoľahlivý a nízko nákladový ekosystém [13] [14]. Uvedené výhody prispievajú k rozhodovaniu navrhnuť úložisko pre malé a stredné podniky na báze Hadoop.

Z uvedených výhod, nevýhod a z vedeckých článkov vyplýva, že nasadenie systému Hadoop je pre malé a stredné podniky vhodné. Pri ukladaní a analyzovaní dát je lepšie vybudovať vlastnú infraštruktúru priamo v podniku a na zálohovanie buď použiť iné úložisko umiestnené na vzdialenom mieste alebo využiť možnosti Cloudu, pričom v tomto prípade môže použitie Cloudu ušetriť financie nutné na vybudovanie infraštruktúry a jej chladenie. Z uvedeného vyplýva, že je možné systém Hadoop nasadiť na určené kritické miesta vo výrobe a analyzovať dáta len z týchto kritických miest, čím sa zníži počet klastrov nutných na spracovanie dát a tým klesnú náklady na budovanie a udržiavanie

infraštruktúry. Na obrázku 5 je zobrazený návrh platformy po pridaní systému Hadoop. Čiarkovaná čiara predstavuje medzeru, ktorú je nutné v ďalšom kroku doplniť pomocou integrácie, aby sa dáta začali ukladať do HDFS.



Obr. 5 Bloková schéma platformy po pridaní systému Hadoop

Ďalším krokom pri návrhu bude integrácia dát z PLC, HMI a mikrokontrolérov do navrhnutého dátového úložiska.

5.3 Návrh integrácie dát

Mikrokontroléry v takto navrhnutej architektúre musia pomocou komunikačných protokolov a nástrojov posilať dáta do navrhnutého úložiska. Dáta v tomto prípade bude potrebné rozdeliť na dáta potrebné

STU

spracovávať real-time a non-real-time. Pracovať s real-time dátami je zložitejšie, no zároveň je takýchto dát menej ako non-real-time a práve z týchto dôvodov má takéto rozdelenie svoje opodstatnenie. Na prácu s dátami je vhodné použiť rozdielne nástroje, jeden, ktorý bude lepšie pracovať s real-time a druhý na prácu s non-real-time dátami.

Ak sú na mikrokontroléry pripojené IoT zariadenia a sú pripravené na zbieranie procesných dát, je tieto dáta potrebné v nasledujúcom kroku integrovať. Na trhu je k dispozícii veľké množstvo komerčných, ale aj open-source riešení. Pre každý podnik je na zváženie, ktorú z týchto alternatív použije na svoje riešenie či už z hľadiska financií potrebných na používanie softvéru alebo z hľadiska funkcií, ktoré daný integračný nástroj dokáže poskytnúť.

Pri výbere vhodného integračného nástroja je potrebné rátať s viacerými kritériami. Vo všeobecnosti je potrebné zamerať sa na tieto oblasti:

- Počet podporovaných zdrojov dát – Je potrebné zvážiť nielen aktuálny počet zdrojov dát, ale uvažovať aj s možným nárastom firmy a tým pádom aj nárastom počtu zdrojov dát.
- Bezpečnosť údajov – Najmä pri práci s citlivými dátami je nutné sa zamerať na spôsob, akým daný integračný nástroj pracuje s dátami.
- Škálovateľnosť – So zvyšujúcim sa počtom údajov je nutné, aby systém stále pracoval efektívne a maximalizoval ich využiteľnosť.
- Dostupné transformácie údajov – Mapovanie dát z rôznych zdrojov do jednotného časového zobrazenia je časovo náročný proces, pričom transformácia údajov dokáže poskytnúť požadovaný formát dát bez ohľadu na zdroj.

STU

- Frekvencia aktualizácie údajov – Nutnosť spracovávať dáta v reálnom čase alebo v dávkach.
- Krivka učenia – Súvisí so vzdelávaním personálu. Čím menej času bude musieť personál stráviť učením sa nového softvéru, tým lepšie.
- Veľkosť podniku – Iné nástroje sú vhodné pre veľké podniky a iné nástroje pre malé alebo stredné [15].

Pre malé a stredné podniky bude dôležitým kritériom aj cena za daný integračný nástroj. Analyzovanie podniku na základe týchto kritérií výrazne pomôže pri výbere vhodného integračného nástroja.

Na dosiahnutie nižších nákladov je lepšie použiť riešenia, ktoré sú zadarmo. Takýmto riešením, najmä pri používaní mikrokontrolérov, môže byť integrovanie dát pomocou platformy Node Red a Apache NiFi, pretože ponúkajú riešenia, ktoré je možné nasadiť priamo na mikrokontroléry. Zároveň obsahujú knižnice aj na prácu s PLC zariadeniami. Komerčne dostupné platformy dokážu integrovať všetky dáta dostupné v podniku, vrátane dát zo sociálnych sietí. Na integráciu spodnej procesnej úrovne je ale lepšie použiť Node Red a Apache NiFi z dôvodu nízkych nákladov, jednoduchého použitia a nasadenia.

Z hľadiska kritéria počtu podporovaných zdrojov dát Node Red dokáže pracovať s prakticky neobmedzeným zdrojom, je len potrebné vždy doplniť už existujúci program o nové toky na zber nových procesných dát. Z hľadiska bezpečnosti údajov Node Red nepotrebuje aktívne pripojenie na internet na svoju prácu. Stačí, aby pracoval na lokálnej sieti, čím sú aj dáta z vonkajšieho prostredia chránené pred zneužitím. Keďže je Node Red nasadený na jednotlivých mikrokontroléroch, z hľadiska škálovateľnosti je možné systém rozširovať v rámci potreby. Po obsadení všetkých pinov kontroléra je potrebné pridať ďalší mikrokontrolér, ktorý bude pracovať opäť s vlastným výkonom a nebude tak zber dát negatívne

STU

ovplyvnený. Z hľadiska kritéria frekvencie aktualizácie údajov, Node Red dokáže čítať dáta v dávkach aj v reálnom čase, závisí len od použitia komunikačných protokolov. Práca s Node Red je jednoduchá najmä pre ľudí, ktorí majú skúsenosti s programovaním, ale s veľkou komunitou podporovateľov je možné naučiť sa pracovať s platformou pomerne rýchlo, nakoľko na internete je veľa návodov. Celkovo je Node Red vhodný na integrovanie v malých a stredných podnikoch.

Node Red je prispôbený na prácu s mikrokontrolérmi a na svojej domovskej stránke sa nachádzajú odkazy a súbory na inštaláciu do zariadení Raspberry Pi, Arduino alebo Beagle Bone Black a ďalších. Ponúka tiež množstvo knižníc na prácu s mikrokontrolérmi, ktoré umožňujú napríklad priamy dopyt na piny. Pomocou Node Red je možné načítat dáta zo senzorov pripojených na mikrokontrolér, je možné tieto dáta vizualizovať využitím grafického prostredia a rovnako je možné dáta ukladať priamo do databázy. Dostupné knižnice sú na väčšinu bežne používaných databázových systémov, takže ak podniky používajú rôzne databázové systémy, použitím Node Red nebude žiadny problém s integráciou nových údajov do už existujúcej databázy.

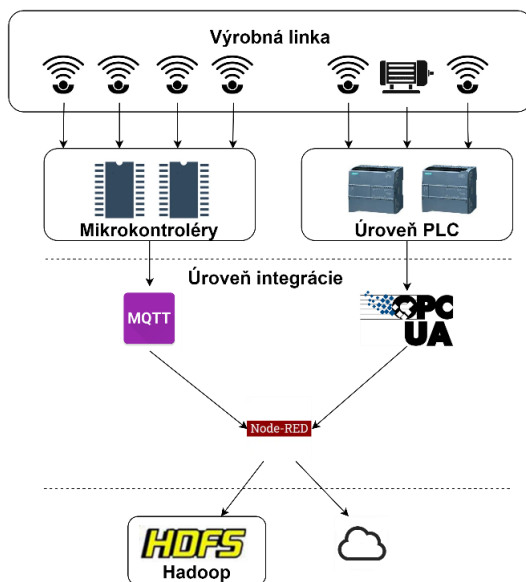
Ako komunikačný protokol na komunikáciu medzi Node Red a mikrokontrolérom je vhodné použiť MQTT broker. Node Red v tomto prípade bude pracovať ako nástroj na načítanie dát zo senzorov pripojených na mikrokontrolér pomocou MQTT. Node Red odošle požiadavku na načítanie údajov, načítajú sa aktuálne dáta na pripojených senzoroch a pomocou MQTT sa odošlú údaje do premenných v Node Red. Takto načítané premenné je možné priamo uložiť do HDFS alebo databázy, pričom celý tento proces je možné opakovať pomocou prvku Timestamp periodicky podľa zvoleného času rádo vo milisekundách.

Nakoľko Node Red dokáže byť priamo nasadený na mikrokontrolér, tak využíva výkon mikrokontroléra a nezaťažuje lokálny počítač. V prípade ak má podnik neintegrované dáta z PLC, je možné využiť nástroj aj na takúto integráciu. V tomto prípade je nutné využiť rozdielne

STU

komunikačné protokoly a nakoľko Node Red nemôže byť nasadený priamo na PLC ako v prípade mikrokontrolérov, tak pri integrácii dát je nutné využívať výkon lokálneho PC alebo servera. V tomto prípade bude potrebné využiť ako komunikačný protokol OPC UA, aby bolo možné pripojiť sa z Node Red na PLC a načítať z neho príslušné dáta, ktoré následne môžu byť zapísané do premenných a odoslané do databázy. Aj pri takomto type dolovania dát je možné využiť prvok Timestamp a dáta načítavať periodicky podľa potreby.

Na obrázku 6 je zobrazená schéma komunikácie medzi IoT zariadením, PLC zariadením a databázou pomocou MQTT brokeru a OPC UA protokolu, šípka znázorňuje tok dát smerom od snímačov do dátového úložiska alebo do Cloudu.



Obr. 6 Bloková schéma komunikácie medzi IoT zariadením, PLC a databázou pomocou MQTT a OPC UA a Node Red

STU

Na integráciu procesných dát potrebných spracovávať v reálnom čase je možné použiť open-source nástroj Apache NiFi. Tento nástroj je vhodný na streamovanie procesných dát zo snímačov a akčných členov do databáz. V prípade Apache NiFi je k dispozícii verzia s GUI a bez GUI. Verzia s GUI je licencovaná a platená. Na účely integrácie je však možné použiť aj nelicencovanú verziu, ktorá je poskytovaná zadarmo.

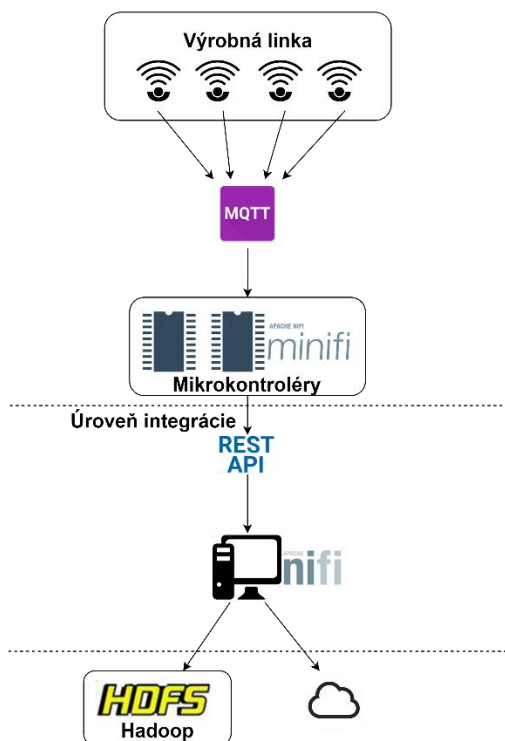
Apache Foundation vyvinuli NiFi verziu pre prácu s mikrokontrolérmi a zariadeniami s obmedzeným výkonom, nazývanú Apache MiNiFi. Je možné ju nainštalovať na mikrokontrolér a vytvoriť v nej toky dát, ktoré budú posielané do Apache NiFi na ďalšie spracovanie alebo ukladané do databázového systému. Rovnako ako NiFi je aj MiNiFi ponúkaná ako licencovaná platená verzia s GUI alebo nelicencovaná verzia zadarmo. Pre potrebu vytvorenia tokov na spracovanie dát v reálnom čase postačí aj nelicencovaná verzia oboch nástrojov.

Z pohľadu kritéria počtu podporovaných zdrojov dát dokáže NiFi zbierať dáta z vysokého počtu dátových zdrojov. Počet je závislý od výkonu servera, na ktorom NiFi beží. Z hľadiska bezpečnosti dát je možné využívať rôzne bezpečné komunikačné protokoly a podobne ako v prípade Node Red môže byť celá architektúra navrhnutá bez vonkajšieho pripojenia na internet, čím sa riešenie bezpečnosti stáva jednoduchším. Z hľadiska dostupnej transformácie údajov ponúka NiFi možnosti na pedspracovanie údajov do rôznej podoby. Využíva na to tzv. procesory, ktoré dokážu dáta spracovávať alebo ich uložiť do databázového systému. Z pohľadu frekvencie aktualizácie údajov je NiFi vhodným nástrojom na spracovávanie procesných dát v reálnom čase a je vhodným nástrojom na použitie pre malé, stredné aj veľké podniky. Z hľadiska škálovateľnosti NiFi pracuje na lokálnom serveri a je tým ovplyvnený výkonom daného servera. V prípade potreby bude nutné rozšíriť architektúru o nový server. Podobne ako v prípade Node Red aj NiFi používa veľký počet podporovateľov, takže aj z hľadiska krivky učenia je učenie sa práce s NiFi pomerne jednoduché, nakoľko na

STU

internete existuje veľký počet návodov. NiFi je bezkódovým nástrojom, ktorý pracuje systémom drag & drop a je potrebné sa naučiť najmä spájať jednotlivé toky dát a konfigurovať uzly miesta práce s kódom.

Ako komunikačné protokoly je možné využiť MQTT broker na komunikáciu medzi MiNiFi a mikrokontrolérom, na ktorom budú dáta generované vo formáte JSON. Druhý komunikačný protokol bude využitý na komunikáciu medzi MiNiFi a NiFi, nakoľko táto komunikácia bude slúžiť na prenos dát v reálnom čase je možné využiť protokol REST API, ktorý je svojou špecifikáciou vhodný na takýto typ komunikácie. Návrh architektúry je možné založiť na schéme, ktorá je zobrazená na obrázku 7.



Obr. 7 Bloková schéma komunikácie medzi IoT zariadením a databázou so zberom dát v reálnom čase využitím Apache NiFi

5.4 Návrh integrácie z riadiaceho MES systému

Po integrácii dát z výrobnjej linky a mikrokontrolérov je možné pristúpiť k návrhu, integrácie dát z riadiaceho MES systému. Dáta z MES systému je tak isto potrebné zbierať a analyzovať, pretože MES systém obsahuje unikátne dáta, ktoré je možné využiť na zlepšenie a skvalitnenie riadiaceho procesu a tým aj celého procesu výroby. Aj v prípade tejto integrácie existuje veľa rôznych nástrojov a možností ako dáta

STU

z riadiaceho systému integrovať do pripravenej databázy. Je možné využiť komerčné riešenia a aj riešenia ponúkané zadarmo. Pre malé a stredné podniky je však z hľadiska finančnej náročnosti, aj v tomto prípade, výhodnejšie zamerať sa na možnosti a nástroje ponúkané zadarmo. Na integráciu dát z riadiaceho systému je možné využiť aj nástroj, ktorý bol využitý na integráciu procesných dát z mikrokontrolérov, a to nástroj Node Red. Ak podnik použil na integráciu procesných dát Node Red, bude použitie tohto nástroja výhodou, pretože odpadá nutnosť učenia sa nového nástroja a nebude nutné zavádzať do procesu ďalší nový nástroj.

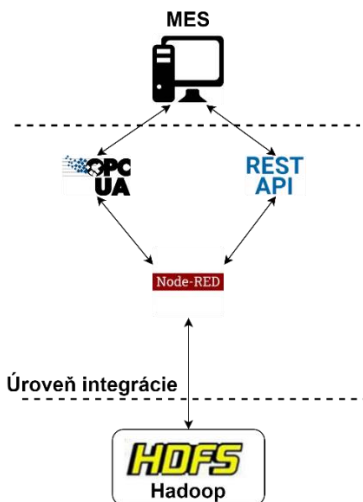
Nástroj Node Red ponúka knižnicu s názvom node-red-contrib-nupmes, ktorá ponúka nástroje na integrovanie dát z MES systémov. Táto knižnica je približne rok stará (vytvorená v roku 2022), takže sa jedná o relatívne nový použiteľný nástroj [16]. Knižnica ponúka možnosti na pripojenie na existujúci MES systém pomocou konfiguračných uzlov NuPMesServer a NuPMesOPCUAServer. Knižnica ponúka možnosť priameho pripojenia na MES systém buď cez URL adresu alebo je možné využiť na pripojenie aj OPC UA server. Treťou možnosťou je dopytovanie sa na akékoľvek dáta z MES pomocou Rest API protokolu, pričom jednotlivé požiadavky na dáta je možné špecifikovať priamo v konfigurácii daného uzla.

Ďalšou možnosťou je využitie uzla NuPMesGetIO a uzla NuPMesSetIO, ktoré umožňujú získanie alebo nastavenie hodnoty priamo na vstupno-výstupných adresách a tieto uzly je možné spúšťať v nastavenom čase periodicky, pomocou parametra „Tick“. Pri získavaní alebo nastavovaní hodnôt je opäť na komunikáciu použitý protokol Rest API.

Knižnica ponúka aj využitie Pareto analýzy alebo analýzu OEE, ktoré je možné využiť v prípade, ak ich používaný MES systém nevykonáva a získať takýmto spôsobom výsledky, napr. o kvalite výroby alebo využiteľnosti strojov pri výrobe. Na tieto účely slúžia uzly NuPMesPareto a NuPMesOEE. Analýzy je možné použiť viacerými spôsobmi, a to buď

zadaním času začiatku analýzy a času konca alebo zadaním dátumu a času a zadenovaním atribútu s príznakom napr. „today“ alebo „last hour“.

Získané dáta z MES systému je možné pomocou Node Red predspracovať do požadovaného formátu a uložiť do navrhnutého úložiska. Tento postup je totožný s postupom ukladania procesných dát. Je možné buď ukladať všetky dáta, ktoré MES systém dokáže poskytnúť alebo je možné sa zamerať na kritické dáta, určené analýzou a ukladať ich do databázového systému. Príkladom kritických dát môžu byť informácie o zadaných a vykonaných objednávkach, počte vyrobených kusov, výkonnosti strojov alebo o alarmoch, ktoré MES systém eviduje. Túto knižnicu je možné použiť aj na integrovanie dát zo SCADA systému rovnakým spôsobom ako v prípade MES systému. Na obrázku 8 sa nachádza navrhnutá schéma integrácie dát z MES a SCADA systému do vytvoreného dátového úložiska.



Obr. 8 Bloková schéma komunikácie medzi MES systémom a databázou so zberom dát s využitím Node Red

5.5 Sumarizácia návrhu platformy pre malé a stredné podniky

Prvým nutným krokom k digitalizácii je analýza podniku, v ktorej je potrebné prejsť najmä procesnou a prevádzkovou úrovňou riadenia. Pri malých a stredných podnikoch je potrebné zamerať sa najmä na analýzu procesnej úrovne a to v prvom rade na identifikáciu kritických miest v procese výroby, identifikovať miesta na osadenie mikrokontrolérov a snímačov pripojiteľných k mikrokontrolérom, ktoré budú zbierať použiteľné dáta pomáhajúce napr. lepšej kontrole okolitého prostredia vplývajúceho na výrobu. Je potrebné analyzovať aj ostatné úrovne podniku a identifikovať dáta, ktoré bude z jednotlivých úrovní podniku potrebné zbierať a ukladať. Pri analyzovaní podnikovej a prevádzkovej úrovne je potrebné sa zamerať na existujúcu infraštruktúru a spôsob jej možného využitia pri analyzovaní dát, poprípade jej vylepšenie a systémy aktuálne využívané podnikom. Po vykonaní dôkladnej analýzy je potrebné výsledky zosumarizovať a na základe výsledkov navrhnuť plán digitalizácie poskytujúci základ pre vybudovanie platformy. V pláne by mali byť navrhnuté miesta na osadenie mikrokontrolérov so zameraním najmä na kritické miesta vo výrobe, miesta na osadenie snímačov, plán na využitie, resp. dobudovanie infraštruktúry na zber a analýzu dát, využiteľnosť využívaných systémov a ich možná integrácia do vyššieho nadradeného systému. V tejto časti by malo byť zrejmé, či podnik plánuje dáta zálohovať do vlastného vybudovaného alebo existujúceho úložiska alebo do Cloudu. Všetky plány závisia najmä na dostupných zdrojoch a financiách podniku, no dôkladná analýza je najdôležitejšou časťou celého procesu digitalizácie a preto je potrebné jej venovať dostatok času, úsilia a zdrojov.

Po ukončení analýzy je možné začať postupný proces digitalizácie a to budovaním dátového úložiska a zároveň výberom mikrokontrolérov. Tieto dva procesy môžu prebiehať paralelne, pretože sa navzájom neovplyvňujú. Pri výbere mikrokontrolérov je potrebné brať do úvahy najmä ich výkon v porovnaní so spotrebou el. energie, nakoľko ceny

::::: S T U

mikrokontrolérov sú nízke. Ďalším dôležitým parametrom je počet GPIO, ktorý ovplyvňuje počet pripojiteľných snímačov a ich typ. Ak je potrebné osadiť na linke analógové snímače, je lepšie vybrať mikrokontroléry s analógovými GPIO a podobne, ak budú použité len digitálne snímače, stačí vybrať kontrolér s digitálnymi pinmi. Po výbere mikrokontrolérov je možné vybrať IoT zariadenia pripojiteľné k mikrokontrolérom. Z analýzy procesnej úrovne musí byť jasné, ktoré typy snímačov je potrebné vybrať, resp. ktoré dáta bude potrebné zbierať a vyhodnocovať. Ďalším krokom je osadenie mikrokontrolérov na výrobnú linku a zároveň osadenie IoT zariadení na dopredu stanovené miesta. Následne je možné pripojiť IoT zariadenia cez GPIO do mikrokontrolérov. Hardvér je týmto pripravený na zber dát.

Paralelne k výberu mikrokontrolérov je možné pracovať na návrhu a tvorbe dátového úložiska. Ak podnik má vybudovanú infraštruktúru na ukladanie dát, je možné pristúpiť priamo k inštalácii systému Hadoop, poprípade iného alternatívneho úložiska na existujúcu infraštruktúru. Ak podnik nemá vybudovanú infraštruktúru, tak je najskôr potrebné infraštruktúru navrhnuť na základe požiadaviek a výsledkov analýzy. Po navrhnutí infraštruktúry je možné pristúpiť k jej budovaniu. Budovanie infraštruktúry je najdrahšou časťou celej transformácie na úroveň Smart Factory, no zároveň je nutné vybrať kvalitné a výkonné komponenty a vybudovať priestor na ukladanie dát na viacero dátových uzlov aj z dôvodu bezpečnosti. Po vybudovaní infraštruktúry je možné pristúpiť k inštalácii systému Hadoop a všetkých potrebných súčastí – HDFS, MapReduce a YARN, ktorý bude slúžiť na spracovávanie všetkých dostupných dát. Nakoľko je dôležité dáta ukladať aj mimo HDFS ako zálohu, je v tomto bode potrebné rozhodnúť sa či budú dáta ukladané do relačnej databázy alebo do Cloudu. Ak sa podnik rozhodne zálohovať dáta do Cloudu, tak nasleduje výber vhodného Cloud úložiska, na ktoré je možné uložiť vysoký objem dát za rozumnú cenu. Ďalším kľúčovým faktorom pri výbere úložiska je aj stabilné a rýchle internetové pripojenie, nakoľko u Cloudu je vysoká prenosová rýchlosť nevyhnutná aj vzhľadom

STU

na prenášaný objem dát, aby nedochádzalo k ich strate. Ak sa podnik rozhodne pre zber dát do vlastnej databázy, tak ďalším krokom bude návrh a budovanie infraštruktúry pre ukladanie dát, ktorá nemusí byť až taká výkonná ako v prípade infraštruktúry pre systém Hadoop, čím sa zníži aj jej cena. Nie je vhodné používať tú istú infraštruktúru na zálohovanie dát a aj na systém Hadoop, pretože pri zlyhaní hardvéru by podnik mohol prísť o všetky dáta. Odporúča sa, preto vybudovať dve rozdielne infraštruktúry, ak je možné, nemali by sa nachádzať na jednom mieste. Záleží na veľkosti firmy a jej možnostiach, no je lepšie umiestniť úložisko, čo najďalej od zdroja dát a úložiska Hadoop, najmä z dôvodu bezpečnosti. Po vybudovaní úložiska nasleduje návrh a tvorba dátového úložiska na zálohovanie dát, čím sa paralelné procesy ukončujú. Ak sú v tomto bode mikrokontroléry a IoT zariadenia osadené a úložiská vybudované a vytvorené, môže podnik prejsť na návrh integrácie procesnej úrovne.

Celý návrh integrácie procesnej úrovne musí vychádzať z výsledkov analýzy procesnej úrovne. V priebehu riešenia už by pred týmto krokom podnik mal mať osadené mikrokontroléry a snímače a pripravený systém Hadoop na zber a spracovanie údajov. V tomto kroku riešenia by podnik mal kompletne navrhnuť prepojenia medzi IoT zariadeniami a systémom Hadoop, ktoré budú postupne implementované do celého procesu riešenia so zameraním sa na komunikačné protokoly a softvérovú časť. Na základe predchádzajúcej analýzy je potrebné rozlíšiť spracovávanie real-time a non-real-time dát, pričom za real-time dáta považujeme kritické dáta z výroby potrebné snímať v reálnom čase. Zároveň je v tomto kroku potrebné navrhnuť integráciu dát z existujúcich PLC zariadení, HMI aj existujúcich nadradených systémov a prepojiť ich so systémom Hadoop. Ak má podnik aj existujúcu databázu poskytujúcu zber údajov, je potrebné navrhnuť presunutie dát do Hadoop. Po kroku návrhu integrácie procesnej úrovne je možné začať integráciu postupnými krokmi implementovať.

STU

Implementácia začína nasadením systému Node Red na mikrokontroléry, ktorý bude pracovať ako softvérový prostredník medzi IoT zariadeniami a HDFS. Systém Node Red sa použije na nekritické alebo non-real-time dáta a bude cez neho možné periodicky čítať dáta zo snímačov pripojených na mikrokontroléry a zapisovať načítané dáta do HDFS pomocou vytvorených uzlov. Posledným krokom pri implementácii na nekritické dáta je samotné vytvorenie prepojenia medzi IoT zariadeniami a HDFS pomocou MQTT protokolu umožňujúceho samotný zber dát pomocou Publish/Subscribe a QoS2, čím sa zaručí, že daný údaj bude do HDFS zapísaný presne jeden krát.

Ďalším krokom je nasadenie Apache NiFi na server a nasadenie Apache MiNiFi na mikrokontroléry. Obe dva systémy budú pracovať, podobne ako Node Red, ako prostredník medzi mikrokontrolérmi a HDFS, no použité budú na spracovávanie real-time dát. Po nasadení NiFi a MiNiFi je potrebné vytvoriť prepojenia pomocou komunikačných protokolov. Prepojenie medzi NiFi a MiNiFi je možné pomocou komunikačného protokolu REST API, ktorý je svojou špecifikáciou vhodný na prenos real-time dát, čím je zabezpečený prenos dát z mikrokontrolérov na server. Na serveri je potrebné vytvoriť tok dát, ktorý bude monitorovať dáta prichádzajúce z MiNiFi. NiFi dokáže dáta predspracovať, čo je možné využiť, aby dáta do HDFS prichádzali v prijateľnom formáte. Záleží od výkonu mikrokontrolérov a servera a podľa toho je možné dáta predspracovať buď v mikrokontroléri alebo priamo na serveri. Následne je možné dáta priamo odoslať do úložiska HDFS, čo je ďalším krokom v postupe implementácie a tým je ukončená integrácia procesných dát z mikrokontrolérov.

V ďalšom postupe je nutné integrovať dáta z PLC zariadení do HDFS, čo je možné vykonať využitím Node Red a komunikačného protokolu OPC UA. Dáta je možné načítavať buď periodicky alebo pri zmene hodnoty, pomocou Node Red predspracovať do prijateľného formátu a priamo

STU

odoslať do HDFS, čím sa zabezpečí aj integrácia dát z pôvodnej časti výrobnjej linky riadenej PLC.

Poslednou časťou integrácie je integrácia dát z MES a SCADA systému, pričom na obidva systémy je možné využiť Node Red s knižnicou `node-red-contrib-numpes`. Knižnica ponúka na integráciu dva komunikačné protokoly, a to buď OPC UA alebo REST API. Dáta je následne možné pomocou Node Red pedspracovať do požadovaného formátu a uložiť priamo do databázového systému.

Posledným zostávajúcim krokom je presun dát zo relačnej databázy do HDFS, čím sa zabezpečí spracovávanie aj starších historizovaných dát z výrobnjej linky. Na obrázku 10 je finálny návrh platformy pre modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory s hardvérovou aj softvérovou časťou. Výsledný návrh je možné porovnať s obrázkom 3, ktorý zobrazuje počiatočný stav výroby pred navrhnutými zmenami.

Celá pôvodná schéma je doplnená novými IoT zariadeniami pripojenými na mikrokontroléry, ktoré slúžia na dolovanie dát. Mikrokontroléry sú pomocou komunikačných protokolov napojené buď cez MQTT protokol na systém Node Red na spracovanie non-real-time dát alebo cez REST API na Apache NiFi server na spracovanie real-time dát. Node Red aj

STU

Apache NiFi posielajú dáta priamo do systému Hadoop, konkrétne do HDFS na spracovanie dát, ktoré je realizované pomocou systému YARN a MapReduce. Výsledok spracovania je uložený opäť do HDFS. Z pôvodnej schémy sú dáta z úrovne PLC pomocou Node Red a komunikačného protokolu OPC UA ukladané do HDFS na spracovanie, pričom v pôvodnej schéme boli tieto dáta ukladané do databázy. Dáta z MES a SCADA systému sú tak isto ukladané do HDFS pomocou platformy Node Red a protokolov OPC UA a REST API. Všetky dáta môžu byť posielané na zálohovanie buď do relačnej databázy alebo do Cloudu. Všetky dáta z pôvodnej databázy sú v návrhu uložené aj do HDFS na spracovanie historizovaných dát. Návrh obsahuje aj možnosť alternatívnych riešení dátového úložiska k systému Hadoop, konkrétne Apache Cassandra alebo ClickHouse.

PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

V rámci riešenia dizertačnej práce sa dosiahli tri hlavné prínosy:

- Identifikácia nevyhnutných atribútov Industry 4.0 potrebných na modernizáciu podnikov na úroveň Smart Factory.
- Navrhnutá, verifikovaná a validovaná platforma pre modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory.
- Zovšeobecnenie návrhu platformy pre malé a stredné podniky.

Nevyhnutné atribúty Industry 4.0 boli identifikované na základe analýzy vedeckých článkov a publikácií od roku 2016 do roku 2022. Výsledkom analýzy bolo šesť atribútov nevyhnutných na zapracovanie do podnikov, a to Big Data, IoT, horizontálna a vertikálna integrácia, kyberbezpečnosť, Cloud Computing a umelá inteligencia. Posledný spomenutý atribút sa však v článkoch vyskytoval menej často, no bol zaradený do atribútov na základe potreby spracovania a vyhodnocovania zbieraných dát. Ak malé

STU

a stredné podniky do svojej výroby zapracujú tieto identifikované atribúty, budú schopné sa dostať na úroveň Smart Factory. V článkoch boli spomínané aj výhody zapracovania atribútov, napr. zvýšenie kvality výroby, produktivity, zníženie množstva odpadu, zníženie počtu prestojov, vyšší zisk, väčšia konkurencieschopnosť podniku a pod. Spomínané výhody môžu slúžiť ako motivácia pre podniky na zvýšenie úrovne ich digitalizácie.

Platforma pre malé a stredné podniky bola navrhnutá na základe identifikovaných nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Platforma bola navrhnutá na modelovom riešení výrobného podniku, no nezávisle od počiatočného stavu výroby. Ako prvé bolo navrhnuté osadenie nových IoT zariadení pripojením na mikrokontroléry, čím sa zabezpečí snímanie veličín, ktoré môžu nepriamo ovplyvňovať výrobu a spôsobovať jej chybovosť alebo zasekávanie. Následne bolo navrhnuté dátové úložisko na báze Hadoop na ukladanie a spracovanie všetkých procesných dát z výroby. Nakoľko môže byť Hadoop pre niektoré podniky drahým riešením, boli navrhnuté alternatívne úložiská vhodné pre malé a stredné podniky. V ďalšom kroku bola navrhnutá integrácia procesných dát z mikrokontrolérov, PLC a nadradených SCADA a MES systémov do vytvoreného dátového úložiska pomocou Node Red a Apache NiFi.

Prínosom práce je zovšeobecnený návrh platformy pre malé a stredné podniky, zobrazený na obrázku 10. Návrh je možné nasadiť do akéhokoľvek výrobného podniku, pretože je nezávislý od počiatočného stavu výroby. Výsledná platforma je jedným z možných riešení zapracovania nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Pre podniky nie je ani tak podstatný výber rovnakých komponentov do platformy, ale zapracovanie všetkých nevyhnutných atribútov do výroby. Navrhnutá platforma bola verifikovaná a validovaná na výrobnom systéme AFB.

ZÁVER

Hlavným cieľom dizertačnej práce bolo navrhnuť platformu pre modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory implementovaním nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Čiastkovými cieľmi práce boli zostavenie prehľadu o jednotlivých technológiách Industry 4.0, identifikácia nevyhnutných atribútov Industry 4.0, návrh platformy pre modernizáciu malých a stredných podnikov a verifikácia a validácia navrhutej platformy na výrobnom systéme AFB.

V prvej časti práce boli identifikované jednotlivé súčasti Industry 4.0, konkrétne Big Data, IoT, digitálne dvojča, aditívna výroba, rozšírená realita, autonómna robotika, kyberbezpečnosť, simulácia a Cloud Computing. Druhá časť práce bola venovaná horizontálnej a vertikálnej integrácii ako súčasti konceptu Industry 4.0, výrobnému systému AFB, na ktorom sa navrhnutá platforma verifikovala a validovala a MES systémom Wonderware. Tretia časť práce bola zameraná na problémy pri nasádzaní Industry 4.0 do praxe, so zameraním najmä na Big Data a vertikálnej integrácii systémov. Štvrtá časť práce bola venovaná identifikácii nevyhnutných atribútov Industry 4.0 pre malé a stredné podniky, výzvam pri nasádzaní Industry 4.0 do praxe a výhodám digitalizácie podnikov. Identifikácia nevyhnutných atribútov bola vykonaná na základe vedeckých článkov, štúdií a publikácií z rokov 2016 až 2022. Výsledkom bolo šesť nevyhnutných atribútov Industry 4.0 pre malé a stredné podniky, konkrétne Big Data, IoT, horizontálna a vertikálna integrácia, kyberbezpečnosť, Cloud Computing a umelá inteligencia. Piata časť práce bola venovaná samotnému návrhu platformy pre modernizáciu malých a stredných podnikov na úroveň Smart Factory na základe identifikovaných nevyhnutných atribútov Industry 4.0. Posledná časť práce bola venovaná verifikácii a validácii navrhutej platformy na výrobnom systéme AFB.

STU

Vzhľadom na fakt, že je každý výrobný podnik jedinečný, nie je možné platformu považovať za jediné možné riešenie digitalizácie malých a stredných podnikov. Pre malé a stredné podniky je podstatné zapracovať jednotlivé identifikované nevyhnutné atribúty Industry 4.0 do výroby, no konkrétny spôsob ich zapracovania môže byť rôznorodý. Výber IoT zariadení, dátového úložiska, integračných nástrojov, komunikačných protokolov aj hardvéru musí vychádzať z podrobnej analýzy podniku a bude predovšetkým závisieť od požiadaviek daného podniku. Preto boli počas riešenia navrhnuté aj alternatívne riešenia dátového úložiska a IoT zariadení. Cieľom práce nebolo navrhnúť jedinečné riešenie digitalizácie malých a stredných podnikov, ale navrhnúť jedno možné riešenie digitalizácie výberom hardvéru a softvéru so zameraním na nízke náklady a dostupnosť.

Počas riešenia dizertačnej práce bol splnený hlavný cieľ práce a aj všetky stanovené čiastkové ciele.

VÝBER Z BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

[1] Enyoghasi Ch., Baburdeen F., Industry 4.0 for Suitable Manufacturing: Opportunities at the Product, Process, and System Levels, Resources, Conservation and Recycling vol. 166, 2021

[2] Di Vaio A., Hassan R., Alavoine C., Data intelligence and analytics: A bibliometric analysis of human-Artificial Intelligence in public sector decision-making effectiveness, Technological Forecasting and Social Change vol. 174, 2022

[3] Flores Saldivar A., Goh C., Li Y., Chen Y., Yu H., Identifiying smart attributes for Industry 4.0 customization using a clustering Genetic Algorithm, 22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC), 2016

[4] López Martínez P., Dintén R., María Drake J., Zorrilla M., A Big Data-centric architecture metamodel for Industry 4.0, Future Generation Computer Systems vol. 125, 2021

[5] Aoun A., Ilinca A., Ghandour M., Ibrahim H., A review of Industry 4.0 characteristics and challenges, with potential improvements using blockchain technology, Computers and Industrial Engineering vol.162, 2021

[6] Liebrecht C., Krogmann M., Stricker N., Lanza G., Method toolbox for implementing Industry 4.0 – Development of a methodology for the identification and evaluation of Industry 4.0 potentials in medium-sized companies, WT Werkstatttechnik vol. 109, Issue 4, 2019

[7] Bai Ch., Dallasega P., Orzes G., Sarkis J., Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective, International Journal of Production Economics vol. 229, 2020

- [8] Wu Z., Qiu K., Zhang J., A Smart Microcontroller Architecture for Internet of Things, Sensors, vol. 20, Issue 7, 2020
- [9] Álvarez J. L., Mozo J. D., Durán E., Analysis of Single Board Architectures Integrating Sensors Technologies, Sensors, vol. 21, Issue 18, 2021
- [10] IBM Cloud Education, Hadoop vs. Spark: What's the Difference? [online], IBM, 2021 [cit. 2022-09-06]. Dostupné na internete: <https://www.ibm.com/cloud/blog/hadoop-vs-spark>
- [11] Luckow A., Kennedy K., Manhardt F., Djerekarov E., Vorster B., Apon A., Automotive big data: Applications, workloads and infrastructures, IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 2015
- [12] Guo D., Du W., Peng H., Zhao C., Wang P., Chen X., Research on prognostics technology on spot-welding system in automotive manufacturing based on statistical process control, China Automation Congress (CAC), 2021
- [13] Akin O., Deniz H. F., Nefis D., Kiziltan A., Cakir A., Enabling Big Data Analytics at Manufacturing Fields of Farplas Automotive, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1197, 2020
- [14] Da Xu L., Duan L., Big Data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey, Enterprise Information Systems, vol. 13, Issue 2, 2019
- [15] Dancuk M., 12 Integration Tools Reviewed, [online], phoenixNAP, 2022 [cit. 2022-08-04]. Dostupné na internete: <https://phoenixnap.com/kb/data-integration-tools>
- [16] Node_red_contrib_nupmes, Node Red [online], Open JS Foundation 2022 [cit. 2023-06-08]. Dostupné na internete: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-nupmes>

ZOZNAM PUBLIKAČNEJ ČINNOSTI

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

ADC01 BARTOŇ, Martin - BUDJAČ, Roman - TANUŠKA, Pavol - GAŠPAR, Gabriel - SCHREIBER, Peter. Identification Overview of Industry 4.0 Essential Attributes and Resource-Limited Embedded Artificial-Intelligence-of-Things Devices for Small and Medium-Sized Enterprises. In *Applied Sciences*. Vol. 12, iss. 11 (2022), s. 1-26. ISSN 2076-3417 (2022: 2.700 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.492 - SJR, Q2 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.3390/app12115672 ; SCOPUS: 2-s2.0-85131736165 ; WOS: 000808625000001 ; CC: 000808625000001.

ADF Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch

ADF01 BARTOŇ, Martin - BUDJAČ, Roman - TANUŠKA, Pavol - SCHREIBER, Peter - HORÁK, Tibor. Industry communication based on TCP/IP protocol. In *Vedecké práce MTF STU v Bratislave so sídlom v Trnave. Research papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology in Trnava*. Vol. 29, no. 49 (2021), s. 59-66. ISSN 1336-1589. V databáze: INSPEC ; DOI: 10.2478/rput-2021-0025.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFC01 BORKIN, Dmitrii - BARTOŇ, Martin - NÉMETH, Martin - TANUŠKA, Pavol. Devices Control and Monitoring on the Production Level Using Wonderware Platform. In *Applied Informatics and Cybernetics in Intelligent Systems. CSOC 2020 : 9th Computer Science On-line Conference 2020 (CSOC 2020), April 23,2020 - April 26,2020*. 1. vyd. Cham : Springer, 2020, S. 224-229. ISSN 2194-5357 (print). ISBN 978-3-030-51973-5 (print). V databáze: DOI: 10.1007/978-3-030-51974-2_20 ; SCOPUS: 2-s2.0-85089623286.

AFC02 BUDJÁČ, Roman - BARTOŇ, Martin - SCHREIBER, Peter - SKOVAJSA, Martin. Analyzing Embedded AIoT Devices for Deep Learning Purposes. In *Artificial Intelligence Trends in Systems : 11th Computer Science On-line Conference 2022 (CSOC 2022)*, Vol.2. 1. vyd. Cham : Springer Nature, 2022, S. 434-448. ISSN 2367-3370. ISBN 978-3-031-09075-2. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-031-09076-9_39 ; SCOPUS: 2-s2.0-85135064552 ; WOS: 000893642100039.

AFC03 KUCHÁR, Daniel - BARTOŇ, Martin - SCHREIBER, Peter - TANUŠKA, Pavol. Matlab Code Generation and Consumption. In *Intelligent Algorithms in Software Engineering : Proceedings of the 9th Computer Science on line Conference, Volume 1, CSOC 2020*. 1. vyd. Cham : Springer, 2020, S. 261-273. ISSN 2194-5357. ISBN 978-3-030-51964-3 (print). V databáze: DOI: 10.1007/978-3-030-51965-0_22 ; SCOPUS: 2-s2.0-85089715702.

AFC04 STŘELEČ, Peter - BARTOŇ, Martin - TANUŠKA, Pavol - KEBÍSEK, Michal - ŠPENDLA, Lukáš. Real Time Data Acquisition as a Part of Data Processing from Production Line According to. In *World Congress on Industrial Control Systems Security (WCICSS 2020) : Virtual Conference, December 8-10, 2020, London, UK*. 1. vyd. London, UK : Published by Infonomics Society, 2020, s. 139-144. ISBN 978-1-913572-26-6.

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií

AFG01 VÁCLAVOVÁ, Andrea - BARTOŇ, Martin. Wonderware production line model and MES system creation for data analyzation. In *Proceedings of the 11th International Doctoral Seminar (IDS 2019). 30th Central European Conference on Information and Intelligent Systems : 11th International Doctoral Seminar, Varaždin*,



Croatia, 3rd October 2019. 1. vyd. Varaždin : University of Zagreb, 2019, S. 1. ISBN 978-953-6071-67-8.