

**Ing. Erich Stark**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**MODERNÉ METÓDY OVLÁDANIA A MONITOROVANIA MECHATRONICKÝCH  
SYSTÉMOV S VYUŽITÍM POČÍTAČOM GENEROVANEJ REALITY**

**na získanie**                      akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor, PhD.)

**v doktorandskom študijnom programe:** **Mechatronické systémy**

**v študijnom odbore**                      5.2.16. mechatronika

**Miesto a dátum:**                      Bratislava, 30.6.2019



**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA  
V BRATISLAVE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

**Ing. Erich Stark**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**MODERNÉ METÓDY OVLÁDANIA A MONITOROVANIA MECHATRONICKÝCH  
SYSTÉMOV S VYUŽITÍM POČÍTAČOM GENEROVANEJ REALITY**

**na získanie** akademickej hodnosti doktor (philosophiae doctor, PhD.)

**v doktorandskom študijnom programe:**  
Mechatronicke systémy

**Miesto a dátum:** Bratislava, 30.6.2019

**Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia**

**Na** Ústave automobilovej mechatroniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave (FEI STU BA)

**Predkladateľ:** Ing. Erich Stark  
Ústav automobilovej mechatroniky  
FEI STU BA, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

**Školiteľ:** doc. Ing. Peter Drahoš, PhD.  
Ústav automobilovej mechatroniky  
FEI STU BA, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

**Oponenti:** doc. Ing. Gergely Takács, PhD.  
Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky  
SjF STU, Nám. slobody 17, 812 31 Bratislava

Ing. Ivana Budinská, PhD.  
Ústav informatiky SAV  
Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 845 07 Bratislava

**Autoreferát bol rozoslaný:** .....

**Obhajoba dizertačnej práce sa koná:** .....

**Na** na Fakulte elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave, Ilkovičova 3,  
812 19 Bratislava, v miestnosti .....

prof. Dr. Ing. Miloš Oravec

# SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program:	Mechatronicke systémy
Autor:	Ing. Erich Stark
Dizertačná práca:	Moderné metódy ovládania a monitorovania mechatronických systémov s využitím počítačom generovanej reality
Vedúci záverečnej práce:	doc. Ing. Peter Drahoš, PhD.
Konzultant:	Ing. Erik Kučera, PhD.
Miesto a rok predloženia práce:	Bratislava 2019

Prepojené mechatronicke zariadenia v sieťach Internet of Things (IoT) tvoria v súčasnosti význačnú skupinu rôznorodých systémov ako sú výrobné systémy, systémy v automobilovom priemysle, inteligentných domoch, službách, atď. Pokročilou alternatívou ovládania a monitorovania mechatronických systémov pripojených na internet je využitie moderných informačno-komunikačných technológií, medzi ktoré patrí aj rozšírená realita. Vývoj systému, ktorý zabezpečí ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov v IoT sieťach za využitia rozšírenej reality, vyžaduje komplexný multidisciplinárny prístup a znalosti zviacerých oblastí mechatroniky. Výsledkom práce je zovšobniteľný a modulárny systém pre monitorovanie a ovládanie mechatronických IoT zariadení. Je realizovaný pomocou nových foriem interakcie človek-stroj v rozšírenej realite, ktorá využíva detekciu a rozpoznávanie 3D objektov. Pre zabezpečenie modularity vyvinutého systému bol navrhnutý a implementovaný originálny koncept definičných schém pre dynamické generovanie grafického užívateľského rozhrania v rozšírenej realite.

Kľúčové slová: rozšírená realita, internet of things, mechatronické zariadenie, unity, 3D engine, wiktitude, mqtt, node-red

# ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA  
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Study Programme:	Mechatronic Systems
Author:	Ing. Erich Stark
Thesis:	Modern methods of controlling and monitoring mechatronic systems using computer-generated reality
Supervisor:	doc. Ing. Peter Drahoš, PhD.
Consultant:	Ing. Erik Kučera, PhD.
Place and year of submission:	Bratislava 2019

Interconnected mechatronic devices in the Internet of Things (IoT) networks are now a prominent group of diverse systems such as manufacturing systems, automotive systems, smart homes, services, etc. An advanced alternative to controlling and monitoring mechatronic systems connected to the internet is the use of modern information and communication technologies, including augmented reality. The development of a system that ensures the control and monitoring of mechatronic systems in IoT networks using augmented reality requires a comprehensive multidisciplinary approach and knowledge from multiple areas of mechatronics. The result of this work is generalizable and modular system for monitoring and control of mechatronic IoT devices. It is realized through new forms of human-machine interaction in augmented reality, which uses 3D object detection and recognition. To ensure the modularity of the developed system, an original definition scheme concept was designed and implemented to dynamically generate a graphical user interface in augmented reality.

Keywords: augmented reality, internet of things, mechatronic device, unity, 3D engine, wiktitude, mqtt, node-red



# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1 Diskusie s priemyselnými partnermi</b>	<b>10</b>
<b>2 Ciele dizertačnej práce</b>	<b>13</b>
<b>3 Výsledky riešenia dizertačnej práce</b>	<b>17</b>
3.1 Návrh systému pre ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov . . . . .	17
3.2 Návrh konceptu definičných schém pre dynamické generovanie GUI . . . . .	21
<b>4 Diskusia</b>	<b>23</b>
<b>Záver</b>	<b>25</b>
<b>Publikačná činnosť autora</b>	<b>28</b>
<b>Zoznam použitej literatúry</b>	<b>35</b>

# Úvod

V súčasnosti počítačové siete už neslúžia len pre pripojenie klasických počítačov ako kedysi. Ich zmysel nadobudol nový rozmer, keď sa do tejto siete začali pripájať mobilné zariadenia a embedded systémy. V súčasnej dobe sa posúvajú tieto hranice až na úroveň pripájania jednotlivých senzorov, rôznych domácich spotrebičov a dokonca aj autonómnych vozidiel do siete [1]. Tento veľký rozmach používania pripojených zariadení nastal aj vďaka rozmachu mikropočítačov ako Raspberry Pi, DragonBoard a podobných zostavách na prototypovanie riešení, ktoré následne môžu byť po vhodných úpravách implementované aj na hardvéri, ktorý spĺňa priemyselné štandardy. Súčasne si začíname uvedomovať cennosť dát, ktoré tieto senzory generujú. Môžu pomôcť zefektívňovať procesy v priemysle a službách alebo uľahčovať život vďaka inteligentným domácnostiam.

Výsledkom je vznik novej paradigmy - Internet of Things (IoT), teda internetu vecí. Pojem IoT je možné nájsť takmer na každej konferencii z oblasti informačno-komunikačných technológií, v odborných vedeckých článkoch a svoje miesto si nachádza aj v priemyselných podnikoch (digitálnych továrňach), kde je prirodzeným nasledovníkom Machine-to-machine (M2M) komunikácie.

Spoločnosť Gartner robí pravidelné analýzy a výskum využitia rôznych technológií. Analýza zo začiatku roka 2017 uvádza, že siete IoT budú v roku 2020 využívať až 20,5 miliárd pripojených zariadení [2]. Tieto paradigmy by sa nezaobišli bez vyvinutia nových sietí, protokolov na prenos dát a potrebného softvérového vybavenia. V súčasnosti sa mechatronické zariadenia v IoT sieťach ovládajú a monitorujú pomocou konzolových, webových alebo mobilných aplikácií. V prípade využitia týchto konvenčných metód ovládania a monitorovania mechatronických systémov v sieťach IoT v malej miestnosti môže byť tento proces celkom jednoduchý. Keďže je tento zoznam na jednej obrazovke,

tak vieme prezerat' a nastavovat' ich vlastnosti takmer okamžite. Ale ak sa jedná o viacero miestností alebo budov, tak členenie týchto zariadení už môže byť neprehľadné a ťažkopádne. Tu sa naskytuje možnosť využitia súčasných trendov a moderných technológií z oblasti počítačom generovanej reality - teda virtuálnej, rozšírenej a zmiešanej reality. Tieto technológie dokážu vkladať digitálne objekty do reálneho sveta. Ich vy-moženosť spočíva v tom, že objekty z reálneho sveta sú obohatené in-formáciami relevantnými k danému objektu, na ktoré sa človek pozerá. Toto zobrazenie sa deje v reálnom čase.

Cieľom predloženej dizertačnej práce je navrhnúť a implemento-vať metodiku ovládania a monitorovania mechatronických systémov v rámci sieť IoT s využitím najmodernejších informačno-komunikačných technológií, medzi ktoré patrí aj počítačovo generovaná realita. Uvažuje sa využitie najmä rozšírenej reality. Mnohé popredné spoločnosti hľadajú nové spôsoby a metódy ovládania a diagnostiky zariadení a procesov, ktoré by využívali možnosti technológie rozšírenej reality v mobilných zariadeniach (kompatibilné smartfóny a tablety). Ciele dizertačnej práce vychádzajú z nadobudnutých poznatkov a spočívajú v tvorbe ucelenej metodiky ovládania a monitorovania mechatronických zariadení v sieťach IoT s využitím rozšírenej reality, jej implementácie na podporované zari-adenia a otestovaní v laboratórnych podmienkach.

Rozšírenú realitu je dnes možné vyvíjať a sledovať pomocou kom-patibilných okuliarov (angl. headsetov) - napríklad Microsoft HoloLens alebo kompatibilných mobilných zariadení (smartfóny a tablety) od oboch lídrov v segmente - Google a Apple. Pre realizáciu práce je využívané práve mobilné zariadenie pre ich širokú dostupnosť, či už pre domác-nosti alebo priemysel. Kompatibilné headsety v súčasnosti nie sú pre tento účel zatiaľ vhodné, nakoľko aj podniky (najmä malé a stredné) často nie sú ochotné do týchto headsetov investovať, o čom sa počas konzultácii presvedčil aj autor práce. Predkladaná metodika ovládania a monitorovania mechatronických IoT zariadení je moderná, nakoľko

spája riadenie hardvérových prostriedkov prostredníctvom mikropočítačov, 3D engine pre vývoj rozšírenej reality a komunikáciu v rámci sietí Internet of Things - zahŕňa teda viacero oblastí mechatroniky.

Vyvinutý systém by mal v maximálnej miere využívať otvorené štandardy alebo technológie, pri ktorých je predpoklad, že sú natoľko perspektívne, že sa štandardom stanú. Je nevyhnutné, aby systém spĺňal parametre, ktoré zabezpečujú novosť riešenia, jeho zovšeobecniteľnosť pre danú triedu mechatronických systémov pripojených v sieťach IoT a prínos pre vedný odbor mechatronika.

Výsledkom práce teda je zovšeobecniteľné a modulárne riešenie pre ovládanie a monitorovanie mechatronických IoT zariadení s kvalitatívne úplne novou formou rozhrania HMI (angl. human-machine interface) realizovanou v rozšírenej realite. Ďalším z prínosov riešenia je fakt, že grafické rozhranie pre ovládanie a monitorovanie mechatronických zariadení v rozšírenej realite je dynamicky generované bez potreby preprogramovania klientskej aplikácie. Využívaný je nový - autorom práce navrhnutý - koncept definičných schém pre dynamické generovanie GUI. Táto nová forma HMI sa nebude spoliehať na konvenčný spôsob ovládania a monitorovania mechatronických IoT zariadení v rozšírenej alebo zmiešanej realite závislý na skenovaní QR kódov, ale využijú sa moderné prostriedky na rozpoznávanie a detekciu 3D objektov. Navrhované a následne implementované a opísané riešenie je unikátne a prispeje k rozvoju vedného odboru mechatronika.

# 1 Diskusie s priemyselnými partnermi

Súčasný nastupujúci trend Internet of Things má dosah nielen pre aplikácie pre rôzne služby, domácnosti a inteligentné budovy, ale aj významný vplyv na priemysel a priemyselnú výrobu. Aplikáciu princípov IoT v priemysle nazývame IIoT (Industrial Internet of Things), kde v tomto prípade namiesto prepojených vstavaných zariadení vystupujú jednotlivé strojové časti, prípadne ich senzory a aktuátory, ale aj senzory a aktuátory pre HVAC (Heating, ventilation, and air conditioning) a bezpečnosť. Prepojenie zariadení by malo byť najmä bezdrôtové a malo by priniesť nové možnosti vzájomnej interakcie nielen medzi jednotlivými systémami, ale tiež priniesť nové možnosti ich ovládania, sledovania a zabezpečenie pokročilých služieb.

V rámci riešenia prebehlo viacero stretnutí a diskusií s priemyselnými partnermi, ktorí vyslovili požiadavky na prepojenie sietí Industrial Internet of Things s rozšírenou realitou. Je zrejme, že integrácia technológie zmiešanej reality do výrobných procesov je neodvratná a je nutné sa tejto problematike venovať aj na univerzitnej pôde v rámci aplikovaného výskumu. Uvedené myšlienky získané počas spomínaných diskusií uvádzame bez konkrétnych názvov jednotlivých spoločností pre zachovanie anonymity a priemyselného tajomstva.

1. **Britská spoločnosť zaoberajúca sa implementáciou princípov Industry 4.0** - Jedným z nových trendov v priemyselnej oblasti je využívanie čoraz dostupnejších, odolnejších a výkonnejších mobilných zariadení ako smartfón alebo tablet. Tieto zariadenia umožňujú využitie doteraz v priemysle nevyužívaných moderných technológií, ako je rozšírená a zmiešaná realita a ich využitím pre ovládanie a sledovanie požadovaných zariadení. Použitím rozšírenej a zmiešanej reality vzniká kvalitatívne nový a lepší spôsob riešenia HMI. Pri konvenčných prístupoch je nutné si na zobrazovacom zariadení

vybrať konkrétne zariadenie/snímač, t.j. musíme vedieť jeho konkrétne umiestnenie v hale resp. jeho ID. Po zvolení zariadenia/snímača sú na zobrazovacej jednotke zobrazené požadované dáta napr. v tvare grafu alebo tabuľky. Pri využití rozšírenej a zmiešanej reality, je možné v rámci prostredia výrobné haly operatívne vyhľadávať jednotlivé senzory a cez zobrazovaciu jednotku interaktívne zobrazíť požadované hodnoty alebo meniť nastavenia a parametre daného zariadenia. Výhodou je aj to, že je možné v prostredí zobrazíť, s ktorým zariadením je prepojené, resp. si preposiela dáta. Práve lokalizácia a identifikácia jednotlivých snímačov je v súčasnosti otvorený problém, ktorý je možné riešiť viacerými prístupmi.

2. **Slovenská spoločnosť zaoberajúca sa diagnostikou pneumatík** - Využitím rozšírenej reality v diagnostike rôznych zariadení je takisto otvorená otázkou, ktorou sa zaoberá mnoho spoločností. Počas stretnutí jeden z priemyselných partnerov vyslovil požiadavku na systém diagnostiky chýb v pneumatikách prostredníctvom headsetu alebo mobilného zariadenia pre rozšírenú realitu. Tento systém by zároveň malo umožňovať zobrazovať diagnostické informácie z rôznych zariadení vo fabrike, čo je podobná požiadavka ako v predošlom bode.
3. **Ovládanie sofistikovaných priemyselných zariadení s obmedzeným prístupom** - Ďalší z priemyselných partnerov videl využitie zmiešanej reality v ovládaní a monitorovaní rôznych sofistikovaných zariadení, ku ktorým ma prístup len obmedzená skupina zamestnancov. Odpadá tak nutnosť realizácie fyzických ovládacích panelov, ku ktorým môže mať prístup aj bežný zamestnanec. Zariadenie by tak mohol ovládať len zamestnanec, ktorý má prístup k mobilnému zariadeniu (smartfón / tablet) s aplikáciou v zmiešanej realite. Okrem bezpečnosti prináša takáto aplikácia aj výhody opísané v predošlých bodoch.

Záujem priemyselných partnerov o implementáciu zmiešanej reality do priemyselných procesov je dôkazom, že skúmaná problematika je moderná a v súlade s integráciou moderných informačno-komunikačných technológií do priemyslu (kyber-fyzikálne systémy). Táto integrácia spadá pod širší pojem Industry 4.0 - štvrtá priemyselná revolúcia.

## 2 Ciele dizertačnej práce

Rozvoj metód ovládania a monitorovania mechatronických systémov pomocou najnovších informačno-komunikačných technológií patrí k moderným smerom v oblasti automatizácie a mechatroniky. Na základe analýzy dostupnej literatúry a najnovších výskumných projektov na Slovensku a vo svete bolo zistené, že metódy ovládania a monitorovania mechatronických systémov pripojených v sieťach Internet of Things s využitím počítačom generovanej reality sú realizované formou rôznych prototypových riešení pre jeden typ hardvéru, resp. nanajvýš vo forme uzatvorených jednoúčelových systémov. Nemajú ucelenú formu, neumožňujú jednoduché pridávanie možností monitorovať a ovládať ďalšie mechatronické systémy bez úpravy klientskej aplikácie. Nejde teda o zovšeobecnené a modulárne riešenia. V rámci diskusií s priemyselnými partnermi (viď. predošlá kapitola) sa však ukázalo, že o takéto riešenia je záujem. V rámci prebiehajúcej štvrtej priemyselnej revolúcie Industry 4.0 sa už aj malé a stredné podniky snažia implementovať do svojich procesov moderné informačno-komunikačné technológie, ako je Internet of Things, virtuálna, rozšírená a zmiešaná realita, Big Data, cloud a podobne.

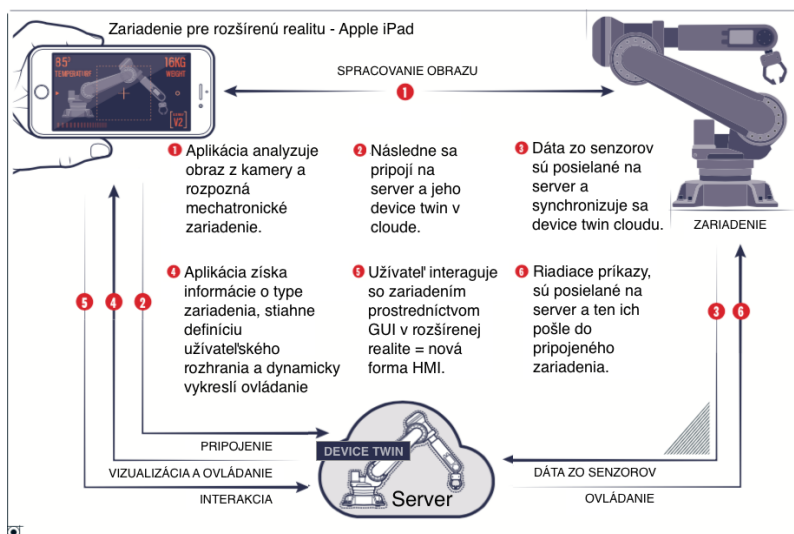
Ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov v sieťach IoT s využitím vybranej vetvy počítačom generovanej reality prináša nové výzvy, nakoľko spája prácu s hardvérom a jeho mechanickými časťami, mikrokontrolermi a elektronikou, 3D enginom pre rozšírenú realitu, mobilnými platformami a komunikačnými protokolmi v rámci IoT a cloudu. Správnym návrhom metodiky ovládania a monitorovania mechatronických systémov a podporného softvérového modulu je možné tieto technológie a prístupy synergicky kombinovať. Získame tak funkčný, originálny a najmä modulárny systém využiteľný pre danú triedu mechatronických systémov.

V súčasnosti sa mechatronické zariadenia v IoT sieťach ovládajú a



monitorujú najmä pomocou konzolových, webových alebo mobilných aplikácií. V prípade využitia týchto konvenčných metód ovládania a monitorovania mechatronických IoT systémov v malej miestnosti môže byť tento proces celkom jednoduchý. Keďže je zoznam zariadení na jednej obrazovke, tak vieme prezerat' a nastavovat' ich vlastnosti takmer okamžite. Ale ak sa jedná o viacero miestností alebo budov, tak členenie týchto zariadení už môže byť neprehľadné a ťažkopádne. Práve v týchto prípadoch je využiteľná vyvíjaná metodika ovládania a monitorovania mechatronických systémov realizovaná pomocou rozšírenej reality.

Na základe analýzy bol navrhnutý koncept uvedený na obrázku 1.



Obrázok 1: Návrh spôsobu ovládania mechatronických zariadení cez rozšírenú realitu

Ciele práce možno zhrnúť do nasledovných bodov:

1. Výber hardvérových, softvérových a komunikačných prostriedkov pre realizáciu dizertačnej práce

- (a) Výber a zostavenie vhodného mechatronického zariadenia a

implementácia elektronických systémov

- (b) Výber vhodných nástrojov (3D engine, atď.) pre vývoj aplikácie pre počítačom generovanú realitu
  - (c) Výber komunikačných protokolov pre Internet of Things a cloudových riešení
2. Návrh metodiky a hardvérovo-softvérového realizácia navrhnutého riešenia pre ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov s využitím Internet of Things a počítačovo generovanej reality
- (a) Návrh vhodnej formy lokalizácie a rozpoznávania mechatronických zariadení v prostredí počítačom generovanej reality aj pomocou existujúcich softvérových modulov (napr. Wikitude SDK) bez využitia konvenčných foriem spoliehajúcich sa na QR kódy
  - (b) Návrh komunikácie a ukladania dát medzi mechatronickým zariadením, softvérovou aplikáciou a serverom. Ako vhodný komunikačný protokol sa ukázal MQTT, ktorý je priamo určený na rýchlu komunikáciu a posielanie dátových správ v prostredí IoT.
  - (c) Integrácia aplikácie s komunikačným rozhraním na strane servera
3. Zabezpečenie zovšeobecniteľnosti a modulárnosti riešenia pre vybranú triedu mechatronických systémov
- (a) Návrh konceptu definičných schém pre dynamické generovanie GUI pre vybraný segment počítačom generovanej reality pre účely ovládania a monitorovania mechatronických systémov v sieťach IoT
  - (b) Implementácia konceptu definičných schém pre dynamické generovanie GUI s maximálnym využitím otvorených technológií

4. Overenie metodiky ovládania a monitorovania na laboratórnom mechatronickom systéme pomocou mobilnej aplikácie realizovanej pre vybraný segment počítačom generovanej reality
5. Diskusia o výsledkoch práce a ďalšom využití metodiky monitorovania a ovládania mechatronických systémov vo výskume a priemyselnej praxi

# 3 Výsledky riešenia dizertačnej práce

## 3.1 Návrh systému pre ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov

Úlohou predloženej dizertačnej práce je návrh metodiky a modulárneho systému pre ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov pripojených na sieť IoT s využitím rozšírenej reality. Následne je potrebné tento systém implementovať a otestovať na laboratórnom mechatronickom zariadení. Vyvinutý prototypový systém by mal v maximálnej možnej miere využívať otvorené štandardy alebo technológie, pri ktorých je predpoklad, že sú natoľko perspektívne, že sa štandardom stanú. Je nevyhnutné, aby systém spĺňal parametre, ktoré zabezpečujú novosť, modularitu riešenia a jeho zovšeobecniteľnosť pre danú triedu mechatronických systémov. Víziou projektu je využiť moderné hardvérové a softvérové prostriedky na realizáciu.

Pri návrhu systému bolo potrebné pridržiavať sa myšlienkového konceptu uvedenom na obrázku 1. Pre prehľadnosť uvádzame krátky súhrn postupu riešenia jeho jednotlivých bodov.

### 1. Aplikácia analyzuje obraz z kamery a rozpozná mechatronické zariadenie

Mobilná aplikácia pre zobrazenie rozšírenej reality rozpozná reálne zariadenie pomocou uloženej 3D mapy, ktorá sa vytvorila v prostredí Wikitude Studio naskenovaním tohto zariadenia prostredníctvom fotiek. Následne knižnica pre rozšírenú / zmiešanú realitu Wikitude SDK vie interpretovať túto 3D mapu z databázy, ktorá je uložená v iPad aplikácií. Výhoda tejto metódy je možnosť rozpoznať objekt z akéhokoľvek uhla. Následne aj pri menšej viditeľnosti sa sledovanie nemusí prerušiť, keďže si Wikitude vie ukladať aj blízke okolie tohto objektu. Realizácia je teda bez konvenčných

metód spoliehajúcich sa na QR kódy, kedy je možné zariadenie rozpoznať len pri kolmom namierení na tento kód.

## 2. **Následne sa pripojí na server a jeho device twin v cloude**

Zariadenie, ktoré je v prevádzke sa pripojí na cloud, kde má zariadenie svoju digitálnu kópiu tzv. *device twin*<sup>1</sup>.

## 3. **Dáta zo senzorov sú posielané na server a synchronizuje sa device twin cloudu**

Zariadenie automaticky odosiela údaje zo senzorov pod svojím identifikátorom na server, kde sa aj ukladajú. Na to slúži databáza InfluxDB, určená pre časovo závislé dáta, ktoré je možné vizualizovať v prostredí Grafana. Súčasne sa jeho digitálna kópia synchronizuje na úrovni Azure Device Twin, čo zabezpečí viditeľnosť aktuálnych údajov aj v prostredí cloudu.

## 4. **Aplikácia získa informácie o type zariadenia, stiahne definíciu užívateľského rozhrania a vykreslí ovládanie**

Systém teda funguje tak, že mobilná aplikácia rozpozná mechatronické zariadenie a podľa jeho identifikátora získa unikátnu definičnú schému užívateľského rozhrania pre potreby jeho ovládania. Koncept definičných schém pre dynamické generovanie GUI v rozšírenej realite je jedným z pilierov modularity daného riešenia a zároveň jedným z prínosov dizertačnej práce. Zariadenie má prístup k týmto schémam vďaka vizuálnemu prepojeniu komunikácie na databázu v prostredí Node-RED, kde sa získa vhodná schéma na základe parametra.

## 5. **Užívateľ interaguje so zariadením prostredníctvom GUI v rozšírenej realite = nová forma HMI**

---

<sup>1</sup>Tento pojem nie je možné zamieňať s pojmom *digital twin*. Digital twin resp. digitálne dvojča musí poskytovať širšie funkcionality, ktoré sú využiteľné napríklad na prediktívnu údržbu alebo optimalizáciu systému, pričom tieto problematiky presahujú rámec riešenia predloženej dizertačnej práce.

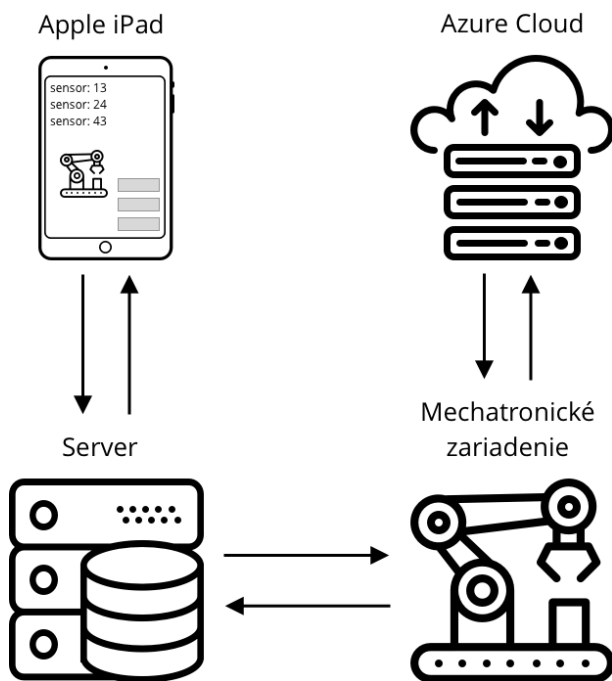
Na základe unikátnej definičnej schémy sa v aplikácií zobrazí rozhranie v rozšírenej realite, ktoré sa skladá z dvoch častí. Jedná je informačná (aktuálne údaje z možných senzorov) a druhá je kontrolná (ovládacie prvky priamo určené pre dané zariadenie). Následne je umožnené užívateľovi interagovať so zariadením prostredníctvom grafického rozhrania v rozšírenej realite, ktoré predstavuje jednu z nových foriem HMI.

**6. Riadiace príkazy sú posielané na server a ten ich pošle do pripojeného zariadenia**

Riadiace príkazy sú posielané z mobilného zariadenia na server prostredníctvom protokolu MQTT, kde sa spracúvajú a vykonávajú. Aplikácia na mechatronickom zariadení počúva na MQTT topic a následne tieto požiadavky interpretuje sériovou komunikáciou k senzorum.

Základné komponenty systému na obr. 2, ktoré budú opísané v nasledujúcich kapitolách:

- Server
- Mobilná aplikácia pre iPad
- Mechatronické zariadenie
- Azure Cloud



Obrázok 2: Zjednodušený návrh architektúry systému

## 3.2 Návrh konceptu definičných schém pre dynamické generovanie GUI

Koncept definičných schém pre dynamické generovanie GUI je jedným z pilierov modularity tohto systému. Schému bolo potrebné navrhnuť s dôrazom na univerzálnosť, aby sa v prípade využitia inej zobrazovacej technológie dala tiež využiť. Ako formát bol zvolený JSON dokument, ktorý ma podporu v každom programovacom jazyku. To znamená, že je možné ho v aplikáciach rozparsovať a jednoducho pracovať s danými objektami a atribútmi.

Prvý návrh schémy obsahuje aj sieťové nastavenia hlavného uzla (MQTT broker), teda na akej IP adrese a porte sa nachádza. Tie vlastnosti sa nachádzajú vo vrchnej časti JSON dokumentu ako **url** a **port**. Za nimi nasleduje vlastnosť **topic**, čo korešponduje s názvoslovím MQTT topicu čím je jednoznačne určená cesta zariadenia vrámci MQTT kanálu.

V súčasnom návrhu sa nachádzajú dva typy označenia prvkov **controls** a **sensors** pohľadu funkčnosti, kde controls sú určené pre ovládacie prvky a sensors pre prvky na čítanie ako údaje zo senzorov. Obe môžu obsahovať viacero vnorených GUI elementov podľa potreby zariadenia.

V tejto verzii definičnej schémy existujú tri rôzne GUI elementy a to **joystick**, **button**, **text**. Joystick a button patria medzi ovládacie elementy. Obsahujú vlastnosti **element** - názov prvku (joystick, button), **label** - je voliteľný, pretože v prípade joysticku ho nie je treba a reprezentuje popis elementu na obrazovke. Vlastnosti **posX** a **posY** určujú vygenerovanie prvku na vopred určenú pozíciu. Elementy pre ovládanie sa snažíme situovať k pravej strane zariadenia. Ďalšia vlastnosť je **subTopic**, ktorá určuje vrámci kanála cestu pre konkrétny ovládací prvok, prípadne cestu pre senzor odkiaľ budú údaje čítané. Posledný element je **text**, ktorý obsahuje rovnaké vlastnosti ako ovládacie prvky, s rozdielom že môže mať navyše vlastnosť **unit**, čo pridáva jednotku k hodnotám. Keď sa potom parsuje tento JSON dokument, vytvára GUI element a následne vytvára pripojenie na MQTT broker, tak cesta bude vyzeráť asi takto:



**url:port/topic/subTopic.**

V tabuľke 1 vidíme prehľad prvkov a ich dátových typov pre správne fungovanie parsovania a následného generovania GUI. Otáznik pri vlastnosti elementu znamená, že je voliteľný.

GUI element	Vlastnosti elementu	Použitie vo funkčnom prvku
<b>text</b>	element: <i>string</i> label: <i>string</i> unit?: <i>string</i> posX: <i>float</i> posY: <i>float</i> subTopic <i>string</i>	sensors
<b>joystick</b>	element: <i>string</i> posX: <i>float</i> posY: <i>float</i> subTopic <i>string</i>	controls
<b>button</b>	element: <i>string</i> label: <i>string</i> posX: <i>float</i> posY: <i>float</i> subTopic <i>string</i>	controls

Tabuľka 1: Prehľad prvkov a ich dátových typov v definičnej schéme

## 4 Diskusia

Napriek tomu, že technológie pre rozšírenú a zmiešanú realitu, IoT a IIoT sú v súčasnosti veľmi rozšírené a populárne a majú rastúci trend, dosiaľ neexistovalo ucelené modulárne a zovšeobecniteľné riešenie, ktoré by umožňovalo ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov s ich pomocou. Z uvedeného dôvodu mala dizertačná práca ako jeden z hlavných cieľov navrhnúť metodiku pre rozpoznávanie, ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov s využitím počítačom generovanej reality a overiť ju na monitorovaní a riadení laboratórnych mechatronických systémov pripojených v IoT.

Uvedené nové prístupy a riešenia prezentované v dizertačnej práci sú zovšeobecniteľné a je ich možné modifikovať pre ďalší výskum a technickú prax. Vďaka navrhutej metodike a modularite realizovaného prototypového systému je možné navrhnúť a realizovať riešenie pre ovládanie a monitorovanie mechatronických zariadení pre široké spektrum aplikácií (automobilový priemysel, vysoké pece, papierenský priemysel, čističky vôd a pod.).

Predstavená metodika ovládania a monitorovania s využitím počítačom generovanej reality prináša kvalitatívne zlepšenie ovládania a monitorovania spomínaných mechatronických zariadení. Pri aplikácii v priemyselnom prostredí prináša takýto prístup benefity z viacerých pohľadov. Pri diagnostike a odstraňovaní porúch strojných zariadení vo výrobe, je možné vizualizovať potrebné dáta priamo pri miestach ku ktorým prislúchajú (napr. teplota kalicaeho oleja, miera opotrebenia vrtáku, tlak v nádobe, vlhkosť a pod.) a zároveň im stanovovať nové hodnoty resp. ich riadiť. V prípade poruchových stavov alebo predikovaného možného stavu by operátorovi bolo možné vizualizovať (predikovaný) poruchový diel priamo na strojnom zariadení bez potreby konvenčnej papierovej dokumentácie, čo by značne urýchlilo operácie spojené s údržbou. Iným benefitom je bezpečnosť monitorovania a riadenia takýchto zariadení.

Operátor môže monitorovať a riadiť zariadenie z väčšej vzdialenosti bez nutnosti pristupovať k monitorovaciemu / riadiacemu panelu, resp. nie je viazaný jeho fixnou polohou. Na zariadení nemusí byť umiestnený 2D QR kód, ktorý využívajú konvenčné postupy. Takýto kód je možné ľahko replikovať resp. dešifrovať identifikačný textový reťazec, čo znižuje bezpečnosť tohto konvenčného riešenia. Pri použití vlastných fyzických rozmerov výrobného zariadenia takýto problém odpadá.

V prípade, že sa vo výrobnej hale nachádza viacero strojných zariadení s rovnakým alebo veľmi podobným tvarom, bolo by možné využiť vlastné 3D identifikátory, ktoré by boli pre každý stroj unikátne. Takéto identifikátory je náročné kopírovať len s využitím sady fotografií s dostatočnou presnosťou na to, aby ich algoritmus správne rozpoznal. Takéto identifikátory otvárajú nové cesty a možnosti pre budúci výskum a vývoj optimálnych tvarov, veľkostí a algoritmov pre generovanie takýchto 3D identifikátorov.

# Záver

Predložená dizertačná práca sa zaoberá modernou metodikou ovládania a monitorovania mechatronických systémov v sieťach Internet of Things (IoT) s využitím rozšírenej reality. Výsledkom práce je modulárne riešenie s inovatívnou formou rozhrania človek-stroj (HMI) v rozšírenej realite, pričom toto používateľské rozhranie využíva nový koncept definičných schém pre jeho dynamické generovanie.

Riešenie sa nespolieha na konvenčný spôsob ovládania a monitorovania mechatronických IoT zariadení v počítačom generovanej realite závislý na skenovaní QR kódov. Využívajú sa moderné prostriedky na rozpoznávanie a detekcie 3D objektov. Dizertačná práca je zložená zo siedmich kapitol.

Prvé tri kapitoly sa dajú považovať za teoretickú časť dizertačnej práce. V prvej kapitole sú vysvetlené pojmy virtuálnej, rozšírenej a zmiešanej reality. Dôraz sa kladie na rozlíšenie rozšírenej a zmiešanej reality, nakoľko doteraz nejestvuje všeobecne uznávaná definícia. Diskutované sú tak najmä dve pomerne rozšírené definície (podľa Milgram-Kishino a The Foundry). Dôležitá je podkapitola o frameworkoch (SDK) pre rozšírenú a zmiešanú realitu, kde sú následne aj porovnané. Dôraz sa kládol na fakt, či je možné tieto riešenia integrovať do 3D engine Unity, v ktorom bolo výsledné riešenie implementované. Nemenej dôležitá je tiež cenová politika tvorcov jednotlivých frameworkov. Ďalšia kapitola sa zaoberá základnými aspektmi Internet of Things a predstavuje jeho dve vetvy - spotrebiteľský (CIoT) a priemyselný (IIoT) Internet vecí. Ďalej je uvedená charakteristika programových a komunikačných prostriedkov potrebných pre realizáciu práce.

Štvrtá kapitola predstavuje analýzu súčasného stavu problematiky na Slovensku aj v zahraničí. Zamerali sme sa na rešerš vedeckých prác a výskumných projektov, ktoré sa zaoberajú možnosťami rozšírenej a zmiešanej reality prepojenej s Internet of Things pre účely monitorovania

a ovládania mechatronických zariadení. Neobmedzili sme sa však iba na ňu, ale aktívne sme sa zapojili aj do diskusií s priemyselnými partnermi, z ktorých vyplynulo, že riešená problematika je v praxi vysoko žiadaná. Predstavuje tak jeden z čiastkových problémov implementácie pokročilých informačno-komunikačných technológií do priemyselných podnikov v rámci Industry 4.0.

V piatej kapitole je formulovaný problém riešený v rámci dizertačnej práce a sú vytýčené jej konkrétne ciele. Prostredníctvom prehľadnej schémy je predstavený myšlienkový koncept vyvíjaného systému.

Šiesta až ôsma kapitola sú ťažiskom dizertačnej práce a sú v nej uvedené originálne postupy a výsledky práce. Predstavený je návrh metodiky monitorovania a ovládania mechatronických systémov, návrh vyvíjaného systému a aj detaily jeho implementácie.

Deviata kapitola diskutuje možnosti ďalšieho rozvíjania výsledkov práce pre priemyselnú prax a výskum.

Výsledky dizertačnej práce prezentované v šiestej až ôsmej kapitole predstavujú hlavný vedecký a aplikačný prínos k rozvoju vedného odboru mechatronika. Vedecké prínosy dizertačnej práce sú založené na návrhu a overení originálnych metód a postupov monitorovania a ovládania mechatronických systémov. Nové metódy a postupy navrhnuté autorom využívajú rozšírenú realitu, Internet of Things a nové postupy tvorby tzv. definičných schém pre dynamické generovanie GUI, ktoré je úspešne overené a implementované. Autor práce je spoluautorom zapísaného úžitkového vzoru v príbuznej problematike s názvom "Spôsob a systém vzdialeného ovládania vozidla".

Významným výsledkom práce je návrh a vývoj platformy modulárneho riešenia s inovatívnou formou rozhrania človek-stroj (HMI) v rozšírenej realite, ktoré vylepšuje a dopĺňa konvenčný spôsob ovládania a monitorovania mechatronických IoT zariadení v rozšírenej realite (závislý na skenovaní QR kódov). Táto nová platforma prináša originálny prístup využívajúci moderné prostriedky na rozpoznávanie a de-

tekciu 3D objektov. Modularitu a zovšeobecniteľnosť riešenia podporuje takisto originálny koncept definičných schém pre dynamické generovanie GUI pre vybraný segment počítačom generovanej reality, ktorý bol úspešne vyvinutý, implementovaný a otestovaný. Takéto komplexné riešenie možno pokladať za vedecký prínos práce k rozvoju vedného odboru.

Prínosy dizertačnej práce je možné zhrnúť do nasledovných bodov:

- **Návrh novej metodiky ovládania a monitorovania mechatronických systémov s využitím rozšírenej reality a Internet of Things**
- **Implementácia systému pre ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov s využitím Internet of Things s novou platformou rozhrania človek-stroj založenej na rozpoznávaní a detekcii 3D objektov**
- **Návrh a implementácia konceptu definičných schém pre dynamické generovanie GUI pre ovládanie a monitorovanie mechatronických systémov**
- **Overenie navrhnutého a implementovaného programového systému na laboratórnom mechatronickom systéme**

Prínosy dizertačnej práce deklarované v štyroch bodoch predstavujú nové trendy vo vývoji, výskume a aplikácií nových postupov a riešení v oblasti ovládania a monitorovania mechatronických systémov. Výsledky dizertačnej práce s zovšeobecniteľné a je možné ich ďalej modifikovať pre ďalší výskum a technickú prax.

# Publikačná činnosť autora

## ADM Vedecké práce v zahraničných časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

- **ADM01:** KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto - STARK, Erich. Virtual tour for smart house developed in unity 3D engine and connected with microcontroller. In Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems. Vol. 12, No. 1 (2018), s. 33-39. ISSN 1897-8649 (2017: 0.156 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85047783762.
- **ADM02:** STARK, Erich - KUČERA, Erik - BISTÁK, Pavol - HAFFNER, Oto. Experiment with JavaScript on client and server side of the virtual laboratory and visualised in mixed reality using Microsoft HoloLens. In Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems. Vol. 12, No. 1 (2018), s. 14-22. ISSN 1897-8649 (2017: 0.156 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85047818943.

## AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- **AFC01:** HAFFNER, Oto - KUČERA, Erik - KOZÁK, Štefan - STARK, Erich. Application of pattern recognition for a welding process. In Communication papers of the 2017 federated conference on computer science and information systems : Prague, Czech Republic. September 3-6, 2017. Warsaw : Polskie Towarzystwo Informatyczne, 2017, S. 3-8. ISBN 978-83-922646-2-0.
- **AFC02:** KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto - STARK, Erich. A method for data classification in Slovak medical records. In Proceedings of the 2017 federated conference on computer science and information systems : Prague, Czech Republic. September 3-6, 2017.

Warsaw : Polskie Towarzystwo Informatyczne, 2017, S. 181-184. ISBN 978-83-946253-9-9. V databáze: IEEE ; WOS: 000417412800029 ; SCOPUS: 2-s2.0-85039914178.

- **AFC03:** KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto - STARK, Erich. Application of data classification in the health records for Slovak E-health. In QUAERE 2018 [elektronický zdroj] : Roč. VIII : Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů. Hradec Králové, Česká republika. 27.-29. června 2018. Hradec Králové : Magnanimitas, 2018, CD-ROM, S. 1324-1333. ISBN 978-80-87952-26-9.
- **AFC04:** STARK, Erich - KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto. Virtual tour for smart home developed in unity engine and connected with Arduino. In Position papers of the 2017 federated conference on computer science and information systems : Prague, Czech Republic. September 3-6, 2017. Warsaw : Polskie Towarzystwo Informatyczne, 2017, S. 205-210. ISBN 978-83-922646-0-6.
- **AFC05:** STARK, Erich - BISTÁK, Pavol - KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto - KOZÁK, Štefan. Virtual laboratory based on Node.js technology and visualized in mixed reality using Microsoft HoloLens. In Communication papers of the 2017 federated conference on computer science and information systems : Prague, Czech Republic. September 3-6, 2017. Warsaw : Polskie Towarzystwo Informatyczne, 2017, S. 315-322. ISBN 978-83-922646-2-0.

Ohlasy:

1. [1] WANG, Wei - WU, Xingxing - CHEN, Guanchen - CHEN, Zeqiang. Holo3D GIS: Leveraging Microsoft HoloLens in 3D Geographic Information. In ISPRS INTERNATIONAL JOURNAL OF GEO-INFORMATION, 2018, vol. 7, no. 2, pp. 60. ISSN 2220-9964., Registrované v: WOS, SCOPUS



2. [1] PORUMB, Cosmin - ORZA, Bogdan - MIHON, Danut - RAD, Andrei - IUONAS, Ovidiu - FAZAKAS, Bogdan. Virtual laboratory and classware concepts in internship programmes. In 2018 17th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2018, 2018-08-02, pp., Registrované v: SCOPUS

- **AFC06:** STARK, Erich - KUČERA, Erik - BISTÁK, Pavol - HAFFNER, Oto. Experiment manager implemented into Moodle with visualisation using Microsoft HoloLens. In QUAERE 2018 [elektronický zdroj] : Roč. VIII : Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů. Hradec Králové, Česká republika. 27.-29. června 2018. Hradec Králové : Magnanimitas, 2018, CD-ROM, S. 1345-1354. ISBN 978-80-87952-26-9.
- **AFC07:** STARK, Erich - KUČERA, Erik - DRAHOŠ, Peter - HAFFNER, Oto. Proposal of internet of things devices control using mixed reality. In QUAERE 2018 [elektronický zdroj] : Roč. VIII : Interdisciplinární mezinárodní vědecká konference doktorandů a odborných asistentů. Hradec Králové, Česká republika. 27.-29. června 2018. Hradec Králové : Magnanimitas, 2018, CD-ROM, S. 1355-1363. ISBN 978-80-87952-26-9.

#### **AFD Publikované příspěvky na domácích vědeckých konferencích**

- **AFD01:** DRAHOŠ, Peter - KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto - STARK, Erich. Industrial communication and Industry 4.0. In AIFICT 2018 [elektronický zdroj] : 1st International conference on applied informatics in future ICT. Bratislava, Slovakia. April 12, 2018. Bratislava : Slovak Chemical Library, 2018, USB, S. 40-44. ISBN 978-80-89597-87-1.
- **AFD02:** HAFFNER, Oto - KUČERA, Erik - KOZÁK, Štefan - STARK, Erich. Proposal of system for automatic weld evaluation. In Process control 2017 : 21st International conference on process control.

Štrbské Pleso, Slovakia. June 6-9, 2017. 1. vyd. Danvers : IEEE, 2017, S. 440-445. ISBN 978-1-5386-4011-1. V databáze: IEEE ; WOS: 000412119800076 ; SCOPUS: 2-s2.0-85027524373.

- **AFD03:** KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto - STARK, Erich - KOZÁK, Štefan. Effective hybrid control design using high-level Petri nets. In ELITECH 17 [elektronický zdroj] : 19th Conference of doctoral students. Bratislava, Slovakia. May 24, 2017. 1. ed. Bratislava : Spektrum STU, 2017, CD-ROM, [6] p. ISBN 978-80-227-4686-1.
- **AFD04:** KUČERA, Erik - STARK, Erich - DRAHOŠ, Peter - KOZÁK, Štefan. Inteligentné mechatronické systémy a OPC unified architecture. In Nové trendy vo vzdelávaní [elektronický zdroj] : Stretnutie katedier automatizácie, kybernetiky, umelej inteligencie a informatiky. Banská Štiavnica, Slovensko. 3.-5.9.2017. 1. vyd. Bratislava : Slovenská chemická knižnica, 2017, USB, [10] s. ISBN 978-80-89597-68-0.
- **AFD05:** STARK, Erich - BISTÁK, Pavol - KOZÁK, Štefan - KUČERA, Erik. Experiment with Javascript on client and server side of the virtual laboratory. In ELITECH 17 [elektronický zdroj] : 19th Conference of doctoral students. Bratislava, Slovakia. May 24, 2017. 1. ed. Bratislava : Spektrum STU, 2017, CD-ROM, [6] p. ISBN 978-80-227-4686-1.
- **AFD06:** STARK, Erich - BISTÁK, Pavol - KOZÁK, Štefan - KUČERA, Erik. Virtual laboratory based on Node.js technology. In Process control 2017 : 21st International conference on process control. Štrbské Pleso, Slovakia. June 6-9, 2017. 1. vyd. Danvers : IEEE, 2017, S. 386-391. ISBN 978-1-5386-4011-1. V databáze: IEEE ; WOS: 000412119800067 ; SCOPUS: 2-s2.0-85027501737.

Ohlasy:

1. [1] ZHANG, Ding - LIN, Shunhao - FU, Yuqing - HUANG,

- Shimei. The communication system between web application host computers and embedded systems based on Node.JS. In Proceedings 2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics, CISP-BMEI 2017, 2018-02-22, 2018-January, pp. 1-5., Registrované v: SCOPUS
2. [1] SYAHPUTRI, Rahmalia - NURFIANA - NAHAL, Subhan Rajib. VP-Lab : A Virtual Way to Stay Connected with Programming Laboratory. In Proceedings of 2017 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATION SYSTEMS SERVICES AND APPLICATIONS (TSSA), 2017, pp.1-4. ISSN 2372-7314., Registrované v: WOS, SCOPUS
3. [1] MUNAWAR, Saima - TOOR, Saba Khalil - ASLAM, Muhammad - HAMID, Muhammad. Move to Smart Learning Environment: Exploratory Research of Challenges in Computer Laboratory and Design Intelligent Virtual Laboratory for eLearning Technology. In EURASIA JOURNAL OF MATHEMATICS SCIENCE AND TECHNOLOGY EDUCATION, 2018, vol. 14, no. 5, pp. 1645-1662. ISSN 1305-8215., Registrované v: WOS, SCOPUS
4. [1] PORUMB, Cosmin - ORZA, Bogdan - MIHON, Danut - RAD, Andrei - IUONAS, Ovidiu - FAZAKAS, Bogdan. Virtual laboratory and classware concepts in internship programmes. In 2018 17th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2018, 2018-08-02, pp., Registrované v: SCOPUS
5. [1] HUBA, Mikuláš - FERENCEY, Viktor - STROMKO, Michal. Education and research in the e-mobility and PEM fuel cells. In IC-ETA 2018 : 16th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications. November 15-16, 2018, Starý Smokovec, Slovakia : Proceedings. 1. vyd. Danvers : IEEE, 2018, S. 647-654. ISBN 978-1-5386-7912-8. V databáze: IEEE: 8572031 ; SCOPUS: 2-s2.0-8506028171., Registrované v: SCOPUS
6. [1] MATIŠÁK, Jakub - ŽÁKOVÁ, Katarína. Online tool for cre-

ating simple models of mechanical systems. In ICETA 2018 : 16th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications. November 15-16, 2018, Starý Smokovec, Slovakia : Proceedings. 1. vyd. Danvers : IEEE, 2018, S. 355-360. ISBN 978-1-5386-7912-8. V databáze: IEEE: 8572249., Registrované v: SCOPUS

- **AFD07:** STARK, Erich - BISTÁK, Pavol - KUČERA, Erik. Virtual laboratory with experiment manager implemented into Moodle. In 2018 Cybernetics & Informatics (K&I) [elektronický zdroj] : 29th International Conference. Lazy pod Makytou, Slovakia. January 31-February 3, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak Chemical Library, 2018, USB, [6] s. ISBN 978-1-5386-4420-1. V databáze: IEEE: 8337541 ; WOS: 000454633500012 ; SCOPUS: 2-s2.0-85050930883.

Ohlasy:

1. [3] Ramírez, J. Características y Utilidades de un Laboratorio Virtual de Máquinas de Inducción en el Entorno Docente. In Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, Vol. 6, Iss. 4, 2018, p.1-6.

2. [1] MILTON RAMIREZ-ROMERO, John - RIVERA-RODRIGUEZ, Sergio. Characteristics and Functions of a Virtual Laboratory of Induction Machines in the Teaching Environment. In IEEE REVISTA IBEROAMERICANA DE TECNOLOGIAS DEL APRENDIZAJE-IEEE RITA, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 130-135. ISSN 1932-8540., Registrované v: WOS, SCOPUS

- **AFD08:** STARK, Erich - KUČERA, Erik - BISTÁK, Pavol - HAFFNER, Oto. Virtual experiments developed with Node.js and visualized in mixed reality using Microsoft HoloLens. In ELITECH 18 [elektronický zdroj] : 20th Conference of doctoral students. Bratislava, Slovakia. May 23, 2018. 1. ed. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum

STU, 2018, CD-ROM, [8] p. ISBN 978-80-227-4794-3.

### **AGJ Autorské osvedčenia, patenty, objavy**

- **AGJ01:** STARK, Erich - KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto. Spôsob a systém vzdialeného ovládania vozidla : Úžitkový vzor č. 8379, Dátum o zápise ÚV : 1.3.2019, Vestník ÚPV SR č. 3/2019. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2019. 5 s. Dostupné na internete: <<https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/86-2018>>.

### **Riešiteľ projektov**

- **Ovládanie a diagnostika IoT zariadení pomocou zmiešanej reality:** *Projekt Mladý výskumník* 2019
- **Príspevok k moderným metódam ovládania IoT zariadení v zmiešanej realite:** *Projekt Mladý výskumník* 2018

### **Ostatné**

- Moderovanie sekcie Webové technológie, Rozšírená realita a IoT na konferencii CodeCon 2018 a 2019 (<http://www.codecon.sk>)
- Podanie článku na FEDCSIS 2019: **Proposal of Mechatronic Devices Control using Mixed Reality**
- Vedenie bakalárskych prác - 8 ks
- Konzultácie k diplomovým prácam - 2 ks

# Zoznam použitej literatúry

- [1] Connected cars: Driving the internet of things revolution.
- [2] Gartner says 8.4 billion connected "things" will be in use in 2017, up 31 percent from 2016.