

**Ing. Zoltán Janík**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**UNIFIKOVANÝ SYSTÉM PRE PODPORU ONLINE  
RIADENIA SYSTÉMOV V REÁLNO M ČASE**

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

**v doktorandskom študijnom programe** kybernetika  
**v študijnom odbore** 9.2.7. kybernetika

**Miesto a dátum** Bratislava, 12. 12. 2014



**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**Ing. Zoltán Janík**

**Autoreferát dizertačnej práce**

**UNIFIKOVANÝ SYSTÉM PRE PODPORU ONLINE  
RIADENIA SYSTÉMOV V REÁLNO M ČASE**

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

**v doktorandskom študijnom programe** kybernetika

**Miesto a dátum** Bratislava, 12. 12. 2014

## **Dizertačná práca bola vypracovaná**

v dennej forme doktorandského štúdia.

**Na** Ústave automobilovej mechatroniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

**Predkladateľ:** Ing. Zoltán Janík  
Ústav automobilovej mechatroniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

**Školiteľ:** doc. Ing. Katarína Žáková, PhD.  
Ústav automobilovej mechatroniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Slovenská technická univerzita v Bratislave

**Oponenti:** prof. Ing. Miroslav Fikar, DrSc.  
Ústav informatizácie, automatizácie a matematiky  
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie  
Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Radlinského 9, 812 37 Bratislava

doc. RNDr. Miroslava Ožvoldová, CSc.  
Katedra fyziky  
Pedagogická fakulta  
Trnavská univerzita v Trnave  
Priemyselná 4, P. O. BOX 9, 918 43 Trnava

**Autoreferát bol rozoslaný:** .....

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

**Na** Fakulte elektrotechniky a informatiky  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Dekan FEI STU v Bratislave  
prof. RNDr. Gabriel Juhás, PhD.

---

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Vzdialené a virtuálne laboratóriá</b>	<b>9</b>
2.1	Typy on-line laboratórií . . . . .	9
2.2	Možnosti modifikácie riadiacích algoritmov pri on-line experimentoch . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Architektúra vzdialeného laboratória s podporou riadenia v reálnom čase</b>	<b>12</b>
3.1	Riadenie v reálnom čase . . . . .	12
3.2	Návrh architektúry . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Platforma pre využívanie vzdialeného laboratória s podporou riadenia v reálnom čase</b>	<b>16</b>
4.1	Prostredie pre aplikácie reálneho času . . . . .	16
4.2	Analýza existujúceho riešenia a návrh konceptu pre rozšírený vzdialený prístup . . . . .	18
4.3	Návrh infraštruktúry . . . . .	20
4.4	Procesný model . . . . .	20
4.5	Začlenenie navrhutej platformy do navrhutej konceptuálnej architektúry . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Záver</b>	<b>26</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>28</b>
<b>A</b>	<b>Publikačná činnosť autora</b>	<b>35</b>
A.1	Zahraničné časopisy . . . . .	35

A.2	Domáce časopisy . . . . .	36
A.3	Medzinárodné konferencie . . . . .	36
A.4	Domáce konferencie . . . . .	37
A.5	Záverečné práce . . . . .	37
A.6	Študentské konferencie . . . . .	38
<b>B</b>	<b>Účasť v projektoch</b>	<b>39</b>
B.1	Zodpovedný riešiteľ projektov . . . . .	39
B.2	Riešiteľ projektov . . . . .	39
B.3	Školiteľ diplomových projektov . . . . .	40

---

# Kapitola 1

## Úvod

Vzdialené a virtuálne experimenty získavajú vo vzdelávacom procese čoraz dôležitejšiu úlohu. Množstvo univerzít preto vkladá úsilie do vývoja vzdialených a virtuálnych laboratórií. Najčastejším riešením je on-line prístup k systémom, ktoré sú štandardne dostupné pre študentov počas štandardných prezenčných cvičení. Vďaka tomu získavajú takto využité systémy pridanú hodnotu, ktorou je ich dostupnosť aj mimo času vyhradeného na výuku. Pridávaním ďalších funkcionalít do webových laboratórnych portálov získavajú on-line experimenty vyšší stupeň interaktivity a navyše sa zvyšuje ich konkurencieschopnosť s bežnými prezenčnými cvičeniami.

Vzdelávacie on-line laboratóriá a vzdialené experimenty prešli rozsiahlym vývojom a dosiahli množstvo vylepšení. Stále im však chýba dostatočné množstvo interaktivity z pohľadu možností návrhu vlastnej štruktúry riadenia. Študenti majú zväčša možnosť výberu z množiny prednastavených regulátorov, prípadne možnosť zmeny číselných parametrov v pevne stanovenom regulátore. Dostupnosť komplexnejších experimentov vyžadujúcich presné a spoľahlivé riadenie v reálnom čase je tiež veľmi obmedzená. Nutnosť odbornej prípravy experimentov s riadením v reálnom čase značne komplikuje možnosti použitia používateľsky definovaných regulátorov vo vzdialených laboratóriách. Cieľom dizertačnej práce je odstránenie tohto nedostatku vo vzdialenom experimentovaní prostredníctvom unifikovaného riešenia spájajúceho návrh vlastných riadiacich štruktúr a ich použitie vo vzdialených experimentoch s riadením v reálnom čase.

V práci sa zameriavame na rozšírenie štandardných on-line laboratórií o možnosť využitia interaktívnych študentských experimentov riadených

v reálnom čase a unifikáciu takéhoto riešenia. Experimenty reálneho času boli donedávna výhradne doménou desktopových systémov. Postupne sa však objavuje čoraz viac verejne dostupných on-line laboratórií s experimentami riadenými v reálnom čase. Spoločnou nevýhodou takýchto experimentov býva nedostatočná úroveň interakcie s používateľom. On-line laboratóriá totiž často obsahujú len napevno definovaný experiment s obmedzenými možnosťami zmien parametrov. Cieľom dizertačnej práce je predložiť riešenie, vďaka ktorému je možné rozšírenie možností takýchto on-line laboratórnych systémov o plnohodnotné využívanie experimentov riadených v reálnom čase a významné zvýšenie interaktivity nielen počas behu experimentu, ale aj počas samotného návrhu riadenia pred jeho spustením.

Problematikou riadenia vzdialeného laboratória a komunikácie v reálnom čase sa zaoberajú obhájené dizertačné práce ([49], [59], [94]) a takisto niekoľko v súčasnosti riešených dizertačných prác v SR, ČR a vo svete.

Navrhnuté riešenie je založené na princípe modelu PaaS („Platform as a Service“ – platforma ako služba). Navrhli sme architektúru, ktorá je do maximálnej miery modulárna a jej moduly sú navzájom nezávislé a plne nahraditeľné za alternatívne riešenia. Celkové riešenie teda obsahuje niekoľko modulov, ktoré sú jednoducho integrovateľné do existujúcich systémov vykonávajúcich vzdialené a virtuálne experimenty. Nové moduly poskytnú on-line prístup k laboratórnej infraštruktúre. Najdôležitejšou časťou navrhnutého riešenia je modul využívaný na vzdialený prístup k experimentom reálneho času s rozšírenou interaktivitou, ktorá presahuje doteraz existujúce nám známe konkurenčné riešenia.



---

## Kapitola 2

# Vzdialené a virtuálne laboratóriá

### 2.1 Typy on-line laboratórií

*Virtuálne laboratóriá* podporujúce vzdialenú simuláciu poskytujú pridanú hodnotu k vzdelávaciemu procesu, pretože poskytujú prostredie pre experimenty bez nutnosti podstúpiť bezpečnostné opatrenia, ktoré sa týkajú reálnych zariadení. Takéto virtuálne laboratóriá môžu byť prístupné pre verejnosť prostredníctvom Internetu, čím umožnia široké možnosti experimentovania pri rôznych podmienkach, bez akýchkoľvek obáv o bezpečnosť ľudí a zariadení. Simulácie je možné viacnásobne opakovať, analyzovať výsledky a učiť sa z vlastných chýb. Funkcionalita virtuálnych (ale aj vzdialených) on-line laboratórií býva často rozšírená o on-line kurzy, návody a rôzne inštrukcie k experimentom. Pri virtuálnych laboratóriách netreba riešiť exkluzívny prístup používateľa k experimentu, pretože používatelia nezdiedajú žiadne fyzické zariadenie, ale len jeho softvérovú reprezentáciu. K rovnakému experimentu teda môžu pristupovať viacerí používatelia súčasne.

*Vzdialené laboratóriá* poskytujú prístup cez Internet k reálnym fyzickým sústavám. Riešenie je výhodné pre používateľov, pre ktorých je problém dostať sa k danej sústave osobne. Na rozdiel od virtuálnych laboratórií, vo vzdialenom laboratóriu sa pracuje s reálnymi zariadeniami, preto býva prístup k nim podmienený predchádzajúcim zaškolením používateľa, aby sa predišlo poškodeniu alebo zničeniu drahej výbavy.

Výhody oboch typov ponúkajú *hybridné laboratóriá*, ktoré sú kombináciou virtuálneho a vzdialeného laboratória. Tento typ sa javí ako najefektívnejší tak vo vzdelávacom procese, ako aj vo výskume. Kvôli bezpečnostným opatreniam musí používateľ najskôr absolvovať kurz spojený s virtuálnymi experimentami, kde získa potrebné praktické a teoretické vedomosti pre použitie reálnych sústav prístupných cez vzdialené laboratórium. V mnohých prípadoch internetový používateľ často ani nemusí postrehnúť rozdiel medzi vzdialenou simuláciou a vzdialeným experimentom na reálnom zariadení.

Vzdialené experimenty možno rozdeliť na dávkové, interaktívne a senzorické typy experimentov [47]. Pri dávkových má používateľ len nepriamu možnosť interakcie s experimentom. Pred spustením experimentu nastaví používateľ požadované parametre a následne musí počkať na výsledok bez akejkolvek ďalšej zmeny parametrov počas behu experimentu. Interaktívne typy poskytujú používateľovi navyše priamu komunikáciu, čiže možnosť zasahovať do experimentu aj počas jeho behu. Senzorické typy experimentov poskytujú používateľom údaje zo senzorov pre účely monitorovania a analýzy (napr. meteorostanice).

## 2.2 Možnosti modifikácie riadiacich algoritmov pri on-line experimentoch

On-line laboratóriá poskytujú rôzne stupne interaktivity používateľa s experimentom:

1. výber z pevne stanovenej množiny dostupných riešení (rôzne vopred naprogramované algoritmy);
2. zmena parametrov riadenia a/alebo simulácie prostredníctvom webového formuláru;
3. upload súboru obsahujúceho kompletnú blokovú schému s regulátorom, resp. aj s parametrami (napríklad súbory typu .mdl, .mat pre Matlab, .xcos pre Xcos, .cos pre Scicos, atď.);
4. upload súboru, z ktorého sa na serveri načíta len relevantná časť obsahujúca regulátor, ktorý nahradí regulátor v predvolenej schéme uloženej na serveri;
5. zmena algoritmu riadenia a parametrov prostredníctvom grafického rozhrania formou modifikácie blokovej schémy.

V prvých dvoch menovaných prípadoch ide o najjednoduchšie riešenie, ktoré ponúka jeden alebo viacero preddefinovaných regulátorov, z ktorých si môže používateľ vybrať, prípadne zmeniť niektoré z poskytnutých parametrov. Súčasne je to aj najbezpečnejšie riešenie, pretože riziko odoslania škodlivých vstupov a kódu a možné poškodenie zariadení, ktoré sú súčasťou experimentu, je znížené na minimum.

Tretí menovaný spôsob poskytuje používateľom väčšiu voľnosť pri experimentovaní. Okrem preddefinovaných regulátorov majú používatelia možnosť navrhnúť vlastný regulátor na svojom PC, ktorý po uložení do súboru odošle na server cez webový formulár. Tu je nevyhnutná lokálna inštalácia softvéru na vlastnom PC, prostredníctvom ktorého je možné navrhnúť vlastný regulátor, napríklad Matlab / Simulink, Scilab / Xcos, resp. iné riešenie, ktoré podporuje vzdialený server, ktorý spravuje experiment. Nevýhodou tohto riešenia je nutnosť lokálnej inštalácie daného softvéru u klienta, najmä pri cenách proprietárnych riešení. Existuje navyše riziko, že používateľ nevedome alebo so zámerom poškodenia odošle súbor s regulátorom obsahujúci kód, ktorý môže byť nebezpečný pre experiment alebo pre vzdialený server (napr. prekročenie povolených rozsahov prístrojov, rôzne systémové nástroje, ktoré by mohli narušiť integritu systému, atď.).

Riziko poškodenia je do určitej miery znížené tým, že sa pri experimentovaní nepoužije celý súbor, ktorý používateľ odoslal. Namiesto toho sa z odoslaného súboru vyberú len relevantné časti súboru, ktoré obsahujú iba samotný regulátor bez zvyšných častí blokovej schémy, a nahradia pôvodný preddefinovaný regulátor.

Piata možnosť využívajúca grafické rozhranie v prostredí webového portálu servera pre vzdialený experiment poskytuje pohodlný spôsob modifikácie algoritmov riadenia. Obsahuje podobný grafický editor schém, ako ponúkajú existujúce desktopové riešenia (Simulink alebo Xcos). Tým eliminujú nutnosť lokálnej inštalácie daného softvéru u klienta. Klient navyše edituje vždy len schému regulátora, pričom ostatné časti ostávajú nedotknuté. Spolu s obmedzením dostupnosti „rizikových“ a potenciálne nebezpečných blokov a s kontrolou vstupov je možné docieľiť vyššiu bezpečnosť pre server a pre zariadenia, ktoré sa podieľajú na experimente.

---

## Kapitola 3

# Architektúra vzdialeného laboratória s podporou riadenia v reálnom čase

Jedným z podstatných prínosov dizertačnej práce je návrh a vybudovanie modulárnej architektúry laboratórneho systému pre podporu riadenia vzdialených experimentov v reálnom čase. V tejto kapitole je predstavená nami navrhnutá architektúra navrhnutá na princípe modelu *PaaS* – „*Platform as a Service*“ (platforma ako služba).

### 3.1 Riadenie v reálnom čase

Definícia systému reálneho času zdôrazňuje, že čas je najdôležitejšou entitou v systéme. „Systém reálneho času je taký systém, v ktorom správnosť výsledku nezáleží len na logickej správnosti výpočtu, ale aj na čase, v ktorom je výsledok dostupný.“[45] Úlohy vykonávajúce riadenie alebo inú interakciu s okolitým svetom obsahujú časové obmedzenia, v rámci ktorých musia pre každý nameraný vstup poskytnúť vypočítaný výstup. Každá úloha reálneho času teda musí byť schopná udržať tempo s takýmito externými udalosťami. V oblasti automatizácie a riadenia rozoznávame dva typy systémov reálneho času – tzv. „soft real-time“ (SRT) a „hard real-time“ (HRT).

Systém reálneho času SRT je taký systém, ktorý je schopný vykonávať úlohu, ktorej priemerné časy poskytnutia výstupov zodpovedajú ča-

sovým požiadavkám (napr. audio a/alebo video prenos). Náhodná strata alebo oneskorenie vzoriek nespôsobí významnú degradáciu systému, pokiaľ priemerný dosahovaný výkon spĺňa zvolené požiadavky. V takýchto systémoch sa na kompenzáciu stratených vzoriek často používa interpolácia.

Systém reálneho času HRT musí striktne udržiavať tempo s plánovaným časovaním, pretože zmeškanie termínu výpočtu je považovaný za zlyhanie systému (napr. detekcia porúch v raketoplánoch alebo riadenie jadrového reaktora). To znamená, že v systéme HRT nie je akceptovateľná priemerná doba výpočtu, pretože všetky výpočty musia byť dostupné načas.

Desktopové prostredia pre simulácie a riadenie dynamických systémov, akými sú napríklad Simulink v Matlabe, resp. Xcos v Scilabe alebo Scicos v ScicosLabe, obsahujú nástroje pre riadenie v reálnom čase. Napriek dostupnosti takýchto nástrojov a ich ekvivalentov sú však uvedené prostredia závislé na operačnom systéme, na ktorom bežia. To znamená, že okrem podpory riadenia v reálnom čase v koncových aplikáciách je nevyhnutne potrebná takáto podpora aj priamo zo strany operačného systému. Z toho dôvodu je potrebné použitie operačného systému so špeciálne upraveným jadrom.

## 3.2 Návrh architektúry

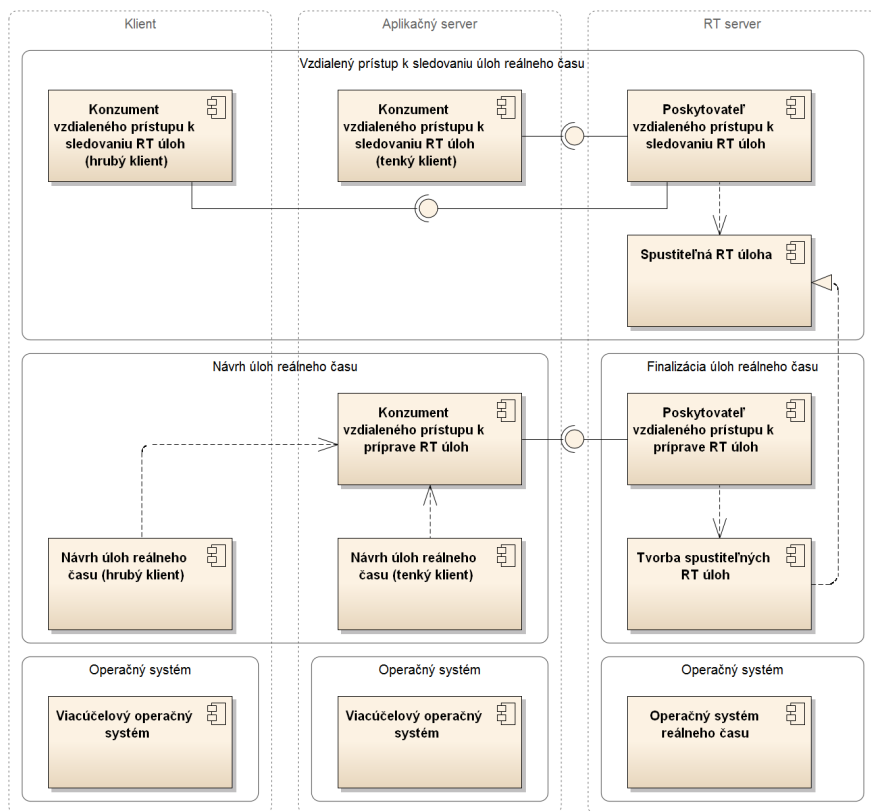
Pre sprístupnenie platformy on-line laboratória s podporou riadenia v reálnom čase sme navrhli modulárnu architektúru pozostávajúcu z viacerých nezávislých modulov. Diagram navrhutej architektúry je uvedený na obr. 3.1.

Architektúra je vertikálne rozdelená 3 základné oblasti:

- koncový používateľ – klient,
- aplikačný server,
- server s podporou reálneho času (RT).

Horizontálne rozdelenie architektúry je zvolené nasledovným spôsobom na niekoľko špecializovaných vrstiev:

- vrstva operačného systému,
- vrstvy pre prípravu úloh reálneho času (vrstva návrhu a vrstva finalizácie),
- vrstva sledovania úloh reálneho času.



Obr. 3.1: Komponentový diagram – návrh konceptuálnej architektúry on-line laboratória s podporou riadenia v reálnom čase

Vrstva operačného systému v prípade koncového klienta a aplikačného servera nevyžaduje špeciálne funkcie. Z toho dôvodu je možné použiť ľubovoľný viacúčelový operačný systém, ktorý je schopný spolupracovať s modulmi vyšších vrstiev navrhutej architektúry. Naopak, na strane servera s podporou riadenia reálneho času je zo zrejmých dôvodov nevyhnutné použitie operačného systému, ktorý je schopný vykonávať úlohy v režime reálneho času. Takisto je nutné, aby bol použitý operačný systém reálneho času schopný spolupracovať s modulmi vyšších vrstiev architektúry RT servera.

Vrstva návrhu úloh reálneho času obsahuje moduly pre *Návrh úloh reálneho času*, ktoré umožňujú používateľovi vytvoriť si vlastné úlohy, ktoré majú byť následne realizované v reálnom čase na strane RT servera. Pre účely on-line laboratória predpokladáme, že pôjde o návrh riadiacich algoritmov vo forme blokových schém alebo vo forme zápisu vzťahov priamo v skripte. Navrhnutá architektúra zohľadňuje použitie nástrojov na návrh riadenia vo forme hrubých (napr. bežné desktopové CACSD aplikácie), ako aj tenkých klientov (napr. webové aplikácie).

Výstupy modulov na návrh úlohy reálneho času (nezavisle od toho, či bol použitý hrubý alebo tenký klient) sú smerované do modulu *Konzument vzdialeného prístupu k príprave RT úloh*. Tento modul je určený na sprostredkovanie komunikácie s RT serverom a odoslanie vytvorených úloh na spracovanie.

Vrstva finalizácie úloh reálneho času obsahuje modul *Poskytovateľ vzdialeného prístupu k príprave RT úloh*, ktorý je určený na príjem vlastných návrhov úloh reálneho času. Každý prijatý návrh úlohy reálneho času je odovzdaný modulu pre *Tvorbu spustiteľných RT úloh*, ktorý má na starosti samotnú prípravu do spustiteľnej podoby. Týmto spôsobom bude následne sfinalizovaná úloha reálneho času dostupná pre pripojenie vzdialených klientov.

Vrstva vzdialeného prístupu k sledovaniu úloh reálneho času obsahuje na strane RT servera modul *Poskytovateľa vzdialeného prístupu k sledovaniu RT úloh*. K tomuto modulu sa pripájajú klientske moduly *Konzument vzdialeného prístupu k sledovaniu RT úloh*. Klientske aplikácie môžu byť realizované v podobe hrubého klienta (komunikácia medzi koncovým používateľom a RT serverom) alebo tenkého klienta (komunikácia medzi aplikačným a RT serverom).

Takto navrhnutý koncept architektúry vzdialeného laboratória je v súlade s filozofiou modelu PaaS. Vhodná aplikácia navrhutej architektúry umožní plnohodnotné využívanie možností vzdialeného laboratória podporujúceho zložitejšie experimenty vyžadujúce riadenie v reálnom čase.

---

## Kapitola 4

# Platforma pre využívanie vzdialeného laboratória s podporou riadenia v reálnom čase

Cieľom dizertačnej práce je popri návrhu architektúry aj aplikácia navrhnutej architektúry na existujúce softvérové riešenia. Nasledujúca kapitola popisuje softvérové nástroje a systémy, na ktoré bola aplikovaná nami navrhnutá architektúra predstavená v predchádzajúcej kapitole.

### 4.1 Prostredie pre aplikácie reálneho času

Existuje viacero riešení podporujúcich spúšťanie procesov v reálnom čase, ktoré sú odvodené od štandardných viacúčelových operačných systémov (tab. 4.1). Jedným z nich je „open-source“ projekt *RTAI*, v rámci ktorého bolo vyvinuté jadro pre operačný systém Linux podporujúce vykonávanie úloh v reálnom čase. Jadro *RTAI* je súčasťou balíka aplikácií s názvom *Real-Time Suite*.

Softvérový balík Real-Time Suite [51] poskytuje všetky nástroje potrebné na zriadenie stroja plne podporujúceho HRT v prostrediach CACSD (Matlab, SciLab, ScicosLab). Jeho súčasťou sú komponenty:



Názov	Licencia	Platforma	Zdrojový OS
ChronOS [1]	GPL	x86, ARM	Linux
eCos [3]	GPL	x86, ARM a i.	Linux, Windows
eCosPro [4]	modif. GPL	x86, ARM a i.	Linux, Windows
IntervalZero RTX [5]	proprietárna	x86	Windows
Kithara RTS [6]	proprietárna	x86, x64	Windows
RedHawk Linux [8]	proprietárna	x86	Linux
Real-Time Linux [7]	GPL	x86	Linux
RTAI [18]	GPL	x86, x64, ARM	Linux
TUD:OS [9]	GPL	x86, x64	Linux
Windows CE [11]	proprietárna	x86	Windows
Xenomai [12]	GPL	x86, x64 a i.	Linux

Tabuľka 4.1: Zoznam viacúčelových operačných systémov s podporou reálneho času

- *RTAI* – rozšírenie linuxového jadra o možnosť spúšťania procesov v reálnom čase,
- *COMEDI* – balík ovládačov pre DAQ karty,
- *RTAI-Lab* – framework integrujúci podporu riadenia v reálnom čase do CACSD,
- *RTAI-XML* – server umožňujúci vzdialené sledovanie experimentov reálneho času,
- *QRtaiLab* – softvér na monitorovanie a zmenu parametrov bežiacej úlohy reálneho času,
- *jRTAILab* – softvér na vzdialené monitorovanie a zmenu parametrov bežiacej úlohy reálneho času.
- *ScicosLab* – CACSD prostredie pre návrh blokových schém vychádzajúce zo Scilabu,

## 4.2 Analýza existujúceho riešenia a návrh konceptu pre rozšírený vzdialený prístup

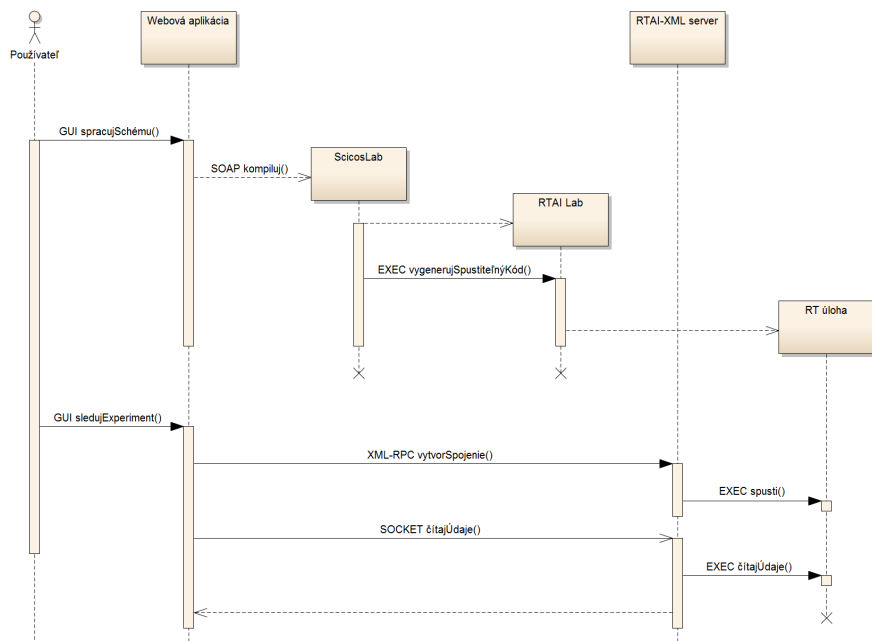
Softvérové riešenia uvedené v predchádzajúcej časti samé osebe nepostačujú na naplnenie účelu navrhnutého konceptu on-line laboratória, pretože doteraz nebolo dostupné riešenie, ktoré by umožnilo realizovať komunikáciu medzi modulmi na úrovni vrstiev návrhu a finalizácie úloh reálneho času z navrhutej architektúry, t.j. nebolo možné vytváranie vlastných úloh reálneho času. V rámci práce bola navrhnutá a vyvinutá sada nezávislých modulov, ktorá tento nedostatok odstraňuje a dopĺňa funkcionality existujúceho riešenia. Navrhnuté moduly budú jednoducho integrovateľné do systémov realizujúcich vzdialené experimenty a tým sprístupnia laboratórnu infraštruktúru on-line. Tieto moduly tvoria podporu pre využívanie možností laboratória na princípe modelu PaaS a webových služieb podľa štandardov WSDL (Web Service Description Language), SOAP (Simple Object Access Protocol) a XML-RPC (Extensible Markup Language – Remote Procedure Call).

Pre účely integrácie súčastí Real-Time Suite do prostredia on-line laboratória bolo nutné modifikovať štandardné postupy pri ich využívaní. Nevyhnutné je vloženie ďalšej vrstvy medzi používateľa a softvérový balík Real-Time Suite podporujúci riadenie v reálnom čase. Touto vrstvou môže byť laboratórny portál, prostredníctvom ktorého používateľ využíva bežné súčasti on-line laboratória. Používateľ teda zostane bez priameho kontaktu s prostredím Real-Time Suite, ale bude komunikovať výlučne s webovou aplikáciou, ktorá ďalej distribuuje požiadavky používateľa smerom k prostrediu pre podporu riadenia v reálnom čase. Vloženie vrstvy pre webovú aplikáciu tým vytvorilo priestor pre zrušenie aplikačnej vrstvy vyhradenej na sledovanie vzdialených úloh (pôvodne riešené aplikáciou jRTAILab), pretože túto funkcionality je schopná zastrešiť takisto webová aplikácia.

Hlavnou myšlienkou navrhovaného konceptu je zjednotenie prostredia, s ktorým používateľ pracuje. V rámci laboratórneho portálu by mal mať možnosť prispôsobiť riadenie vlastným požiadavkám (v pôvodnom stave riešené ručne v prostredí ScicosLab) a následne spustiť a sledovať priebeh experimentu v prostredí portálu bez nutnosti použitia rôznych samostatných aplikácií.

Uvedený koncept navrhovanej funkcionality je zobrazený na sekvenčnom diagrame na obr. 4.1.

## 4.2. ANALÝZA EXISTUJÚCEHO RIEŠENIA A NÁVRH KONCEPTU PRE ROZŠÍRENÝ VZDIALENÝ PRÍSTUP



Obr. 4.1: Sekvenčný diagram - navrhnutá komunikácia komponentov Real-Time Suite v prostredí on-line laboratória

### 4.3 Návrh infraštruktúry

Z pohľadu infraštruktúry sme prostredie vzdialeného laboratória rozdelili na niekoľko základných samostatných súčastí. Navrhnutá základná infraštruktúra je zobrazená na obr. 4.2.

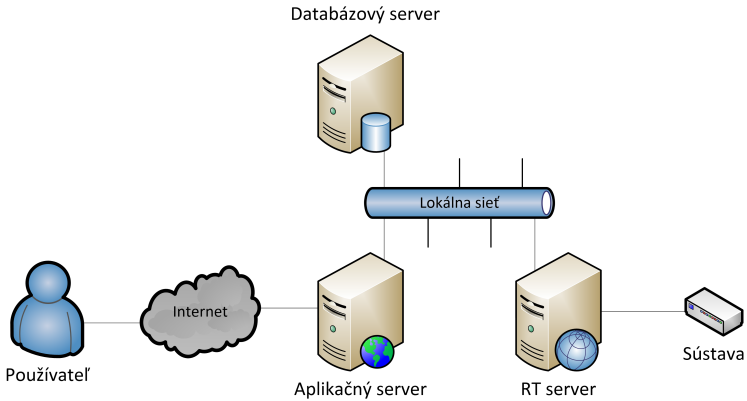
Kľúčovú úlohu má server určený na riadenie v reálnom čase, ďalej označovaný ako „*RT server*“. Okrem jeho primárnej úlohy, ktorou je realizácia riadenia v reálnom čase, zabezpečuje aktivity týkajúce sa spracovania blokových schém, ich kompiláciu a finalizáciu pre účely vzdialeného prístupu k takto pripraveným úlohám. Tento server musí obsahovať operačný systém Linux s jadrom RTAI, CACSD prostredie ScicosLab vrátane frameworku RTAI-Lab, ovládače COMEDI a RTAI-XML server. Uvedené softvérové prvky sú súčasťou balíka Real-Time Suite a boli opísané v kapitole 4.1. Priamo k RT serveru je možné pripojiť jednu alebo viacero laboratórnych sústav, na ktorých majú prebiehať vzdialené experimenty. Správca servera má možnosť definovať priority jednotlivých úloh reálneho času pre prípad ich súbežného spustenia.

Ďalšou dôležitou súčasťou je *aplikačný server*. Na aplikačnom serveri je dostupný laboratórny portál, s ktorým prichádzajú do styku jednotliví internetoví používatelia. Aplikačný server obsluhuje všetky štandardné požiadavky laboratórneho portálu, ktorými je najčastejšie autentifikácia používateľov, používanie rezervačného systému k hardvérovým experimentom a podobne. Špecializované požiadavky týkajúce sa riadenia v reálnom čase posieľa aplikačný server na RT server, ktorý ich následne zrealizuje.

Tretím dominantným prvkom je *databázový server* uchovávajúci všetky potrebné údaje laboratórneho portálu. Databázový server býva často súčasťou aplikačného servera, preto je jeho použitie vo výslednej infraštruktúre nepovinné.

### 4.4 Procesný model

Možnosť práce obomi metódami opisovanými v kapitole 4.2 – priamo pomocou aplikácií balíka Real-Time Suite alebo prostredníctvom navrhnutého konceptuálneho riešenia – je z procesného hľadiska zachytená na diagramoch, ktoré sú uvedené v dizertačnej práci. Predkladaný návrh je vypracovaný tak, aby zostali zachované pôvodné možnosti využívania prostredia pre riadenie v reálnom čase a aby bolo súčasne možné využívať ich vzdialene z prostredia laboratórneho portálu.



Obr. 4.2: Sieťový diagram on-line laboratórneho systému

Lokálny používateľ pracujúci priamo na stroji obsahujúcom kompatibilné prostredie pre riadenie v reálnom čase<sup>1</sup> môže naďalej pracovať bežným spôsobom. Standardné použitie balíka Real-Time Suite zahŕňa návrh kompletnej blokovej schémy obsahujúcej regulátor, generátor signálov, komunikáciu a ďalšie nevyhnutné súčasti blokovej schémy v grafickej verzii aplikácie ScicosLab. Pre kompiláciu blokovej schémy do podoby vhodnej pre riadenie v reálnom čase musí používateľ vybrať požadovanú položku z menu ScicosLabu, ktorý následne spustí potrebné makrá RTAI-Labu. Pokiaľ má používateľ záujem sledovať úlohu reálneho času lokálne, spustí aplikáciu QRtaiLab a prostredníctvom nej ďalej pracuje s bežiacim experimentom. Používateľ má možnosť sledovať vytvorenú úlohu aj vzdialene z inej pracovnej stanice, k čomu môže využiť aplikáciu jRTAILab.

Vzdialený používateľ pracujúci na ľubovoľnom systéme realizuje svoje aktivity prostredníctvom webového laboratórneho portálu. Do procesu s využitím navrhovaného rozšírenia on-line laboratória sme zahrnuli viacero alternatív. Všetky začínajú prihlásením sa do portálu. Následne má používateľ možnosť výberu spôsobu návrhu regulátora.

Pokiaľ používateľ zvolí možnosť návrhu vlastného regulátora v grafickom editore Scicos<sup>2</sup>, navrhne blokovú schému regulátora s využitím desktopovej

<sup>1</sup>Na strane používateľa sa vyžaduje lokálna inštalácia aplikácie ScicosLab bežiacia na Linuxe s RTAI.

<sup>2</sup>Na strane používateľa sa vyžaduje lokálna inštalácia aplikácie ScicosLab bežiacia

verzie tejto aplikácie. Návrh kompletnej blokovej schémy z predchádzajúceho prípadu (lokálny používateľ) sa v tomto prípade nevyžaduje. Vytvorenú blokovoú schému regulátora používateľ nahrá na server, ktorý zabezpečí dodatočné spracovanie a kompiláciu úlohy reálneho času. Pri vzdialenom sledovaní vytvorenej úlohy má používateľ na výber použitie webovej klientskej aplikácie na portáli alebo použitie aplikácie jRTAILab.

V prípade, že používateľ zvolí možnosť návrhu vlastného regulátora vo webovom grafickom editore na portáli<sup>3</sup>, navrhne časť blokovej schémy obsahujúcej regulátor priamo vo webovom editore. Po jej vytvorení a následnom spracovaní prebehne jej kompilácia na strane servera. Vzdialené sledovanie vytvorenej úlohy je opäť možné prostredníctvom webovej klientskej aplikácie alebo aplikácie jRTAILab.

Treťou možnosťou je voľba niektorého z vopred pripravených regulátorov. Pri tejto možnosti nie je nutné dodatočné spracovanie na strane RT servera, pretože predvolené úlohy budú dostupné už v podobe skompletizovaných a skompilovaných schém, ktoré pripravuje správca on-line laboratória.

Podproces pre spracovanie a kompiláciu blokovej schémy regulátora je vykonávaný priamo na RT serveri, pretože pre svoju činnosť vyžaduje prítomnosť kompatibilného prostredia pre riadenie v reálnom čase. Kompiláciu nie je možné realizovať na strane používateľa ani na strane aplikačného servera kvôli nutnosti kompilácie s použitím takej softvérovej a hardvérovej konfigurácie, na ktorej má bežať skompilovaná úloha reálneho času. Aktivity, ktoré by štandardne vykonal lokálny používateľ priamo cez ScicosLab/Scicos, v tomto prípade vykonáva novo navrhnutá medzivrstva medzi ScicosLabom a používateľom (resp. portálom), pomenovaná názvom „WS Provider“.

WS Provider má za úlohu verifikovať odoslanú blokovoú schému z pohľadu výskytu potenciálne nebezpečných blokov alebo kódu. Následne doplní blokovoú schému regulátora o zvyšné povinné časti blokovej schémy týkajúce sa zvoleného experimentu (napr. komunikácia s hardvérom, generovanie signálov a i.). Finálna podoba blokovej schémy je skompilovaná pomocou ScicosLabu spusteného v textovom režime.

---

na ľubovoľnom operačnom systéme bez RTAI.

<sup>3</sup>Na strane používateľa sa nevyžaduje lokálna inštalácia aplikácie ScicosLab ani RTAI.

## 4.5 Začlenenie navrhnutej platformy do navrhnutej konceptuálnej architektúry

Jednotlivé moduly a ich funkcie boli navrhnuté tak, aby dokázali zastrešiť procesy opísané v kapitole 4.4. Základná architektúra umožňujúca plnohodnotné vzdialené využívanie funkcionality softvérového balíka Real-Time Suite je znázornená na obr. 4.3. Komponenty označené zelenou farbou sú novo vytvorené moduly, ktorých návrh bol riešený v rámci tejto dizertačnej práce. Svetlejším zeleným sfarbením je označený existujúci framework RTAI-Lab, ktorý síce patrí do balíka Real-Time Suite, no kvôli nutnosti jeho prispôsobenia pre účely vzdialeného prístupu obsahuje nové prvky. Ostatné moduly tvoria pôvodné existujúce riešenia.

Architektúra je nahrubo rozdelená na základe infraštruktúry uvedenej v kapitole 4.3. Základné rozdelenie modulov podľa navrhnutej infraštruktúry je:

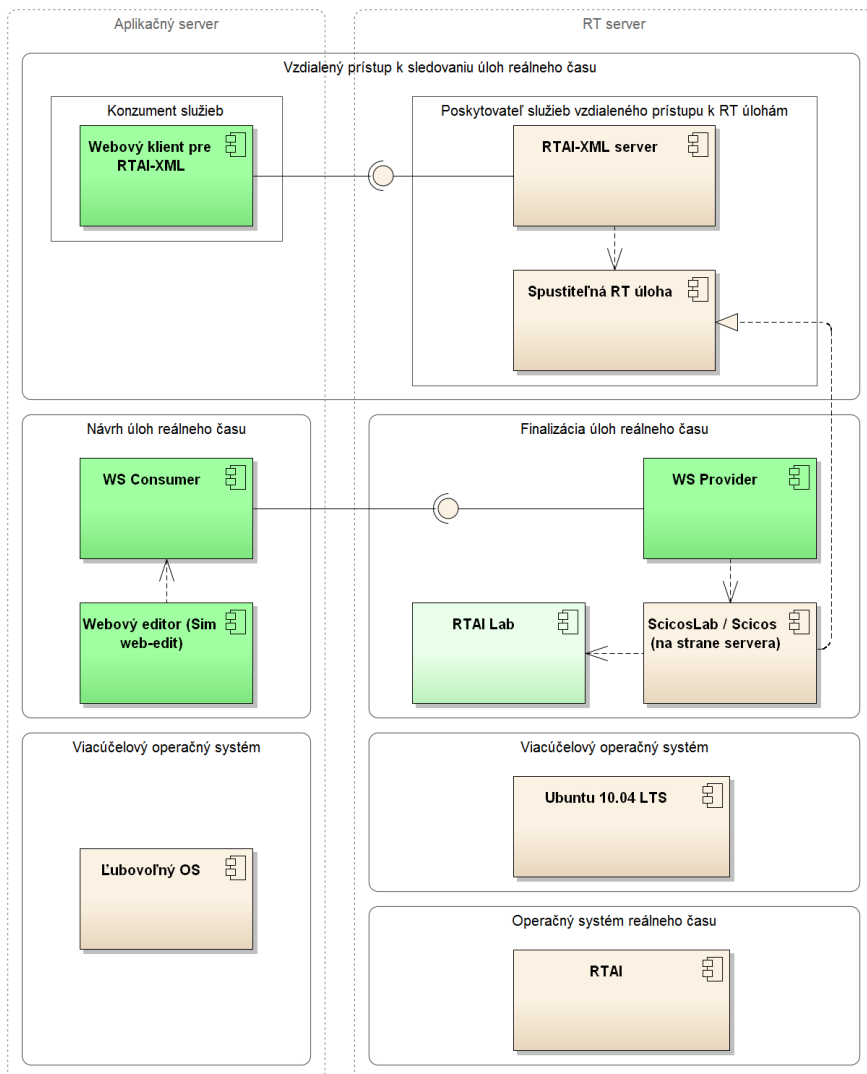
1. moduly aplikačného servera,
2. moduly RT servera.

Použitá architektúra je ďalej rozdelená na viacero vrstiev podľa vzoru konceptuálnej architektúry (kapitola 3.2). Od RT servera sa prirodzene očakáva prítomnosť operačného systému reálneho času, nad ktorým beží kompatibilný viacúčelový operačný systém. Táto dvojica je v prípade RT servera stanovená pevne na Linux RTAI. Aplikačný server môže využívať ľubovoľný viacúčelový operačný systém.

V rámci RT servera existuje nad operačným systémom aplikačná vrstva určená na spracovanie a kompiláciu blokových schém. Táto vrstva zahŕňa CACSD prostredie ScicosLab a framework RTAI-Lab. Tieto dva moduly sú zodpovedné za kompiláciu poskytnutej blokovej schémy do spustiteľného binárneho súboru. Modul WS Provider zabezpečuje verejné rozhranie k funkcionalite ScicosLabu prostredníctvom webových služieb. Takto vytvorené rozhranie umožňuje realizovať vzdialenú kompiláciu blokových schém, čo doteraz nebolo možné.

Konzumentom služieb poskytovaných modulom WS Provider je modul s názvom WS Consumer, ktorý bol zahrnutý do vrstvy návrhu riadenia na aplikačnom serveri. WS Consumer využíva vytvorené rozhranie, prostredníctvom ktorého odosiela požiadavky na kompiláciu blokových schém používateľov portálu. Používatelia portálu môžu na návrh vlastných schém

# KAPITOLA 4. PLATFORMA PRE VYUŽÍVANIE VZDIALENÉHO LABORATÓRIA S PODPOROU RIADENIA V REÁLNO M ČASE



Obr. 4.3: Komponentový diagram – návrh architektúry on-line laboratória s podporou riadenia v reálnom čase



využívať ďalší modul vrstvy návrhu riadenia, ktorým je webový editor blokových schém.

Oba servery obsahujú vrstvu pre vzdialený prístup k úlohám reálneho času. Na strane RT servera poskytuje služby vzdialeného prístupu existujúci modul RTAI-XML server, ktorý už obsahuje použiteľné rozhranie. Na strane aplikačného servera je konzumentom služieb nový modul v podobe webovej klientskej aplikácie pre monitorovanie a interakciu so vzdialenými úlohami reálneho času.

Novo navrhnuté moduly (webový editor blokových schém, WS Consumer, WS Provider, webový klient pre RTAI-XML) sú navrhnuté tak, aby boli navzájom úplne nezávislé. Namiesto modulu WS Consumer bude možné použiť alternatívneho klienta pre využívanie služieb modulu WS Provider (pokiaľ takýto vznikne). Rovnako aj webový editor je možné nahraďiť napríklad desktopovou verziou Scicosu na strane klienta. Webový klient pre RTAI-XML môže byť takisto nahradený (napríklad za applet jRTAILab alebo jeho samostatne spustiteľnú verziu). Vzhľadom na modularitu uvedenej riešenia sa zvyšuje využiteľnosť celej navrhutej architektúry.

---

# Kapitola 5

## Záver

Prínosom tejto dizertačnej práce je posunutie možností on-line laboratórií na vyššiu úroveň a dodať im rovnaké možnosti, ako majú konvenčné „off-line“ laboratóriá – či už z pohľadu komfortu používateľských zmien riadiacich schém, alebo z pohľadu kvality a rýchlosti odozvy pri riadení v reálnom čase. V kapitole 3.2 sme uviedli nami navrhnutú konceptuálnu architektúru vzdialeného laboratória, ktorá je schopná priblížiť sa k dosiahnutiu uvedeného cieľa. Konkrétnu podobu navrhutej architektúry vrátane novo navrhnutých modulov uvádzame v kapitole 4.

V rámci dizertačnej práce sme navrhli a vyvinuli balík modulov určený na podporu spúšťania vzdialených experimentov s riadením v reálnom čase. Základom nášho riešenia je server podporujúci riadenie v reálnom čase (RT server), ktorý je určený výhradne na spúšťanie úloh bežiacich v reálnom čase. RT server používa voľne dostupný projekt *Real-Time Suite*, ktorý obsahuje všetky potrebné súčasti na sprevádzkovanie on-line experimentov.

Túto existujúcu softvérovú výbavu sme doplnili o novo vyvinuté makrá pre ScicosLab, vďaka ktorým sme schopní vzdialene spúšťať kompiláciu vlastných blokových schém, čím sme eliminovali nutnosť návrhu blokových schém priamo na tomto stroji (RT serveri). V rámci tejto platformy beží nami navrhnutá webová aplikácia (modul s označením *WS Provider*) poskytujúca webové služby s využitím štandardov WSDL a SOAP, ktoré tvoria vstupné rozhranie na prácu s vlastnými blokovými schémami a prípravu experimentov reálneho času.

Druhou časťou riešenia sú podporné moduly pre aplikačný (laboratórny) server, ktorého úlohou je sprostredkovanie prístupu k RT serveru. Labora-

---

tórne servery často obsahujú autentifikačný modul, rezervačný modul a iné súčasti. Naše riešenie ponúka moduly na grafický návrh blokovej schémy regulátora prostredníctvom webového editora, modul na komunikáciu s webovými službami RT servera (modul s označením *WS Consumer*). Okrem toho sme navrhli a implementovali modul (webovú klientsku aplikáciu) pre sledovanie vzdialeného experimentu bežiaceho v reálnom čase. Vzniklo tým komplexné modulárne prostredie spájajúce možnosti bežných on-line laboratórií a prostredia pre riadenie experimentov v reálnom čase. Vytvorený systém bol overený na vzdialenom riadení sústavy magnetickej levitácie v reálnom čase.

Dizertačná práca má významný prínos najmä vďaka nasledujúcim kľúčovým častiam:

- Návrh novej **unifikovanej platformy** pre prístup k on-line experimentom riadeným v reálnom čase.
- Návrh **univerzálnej štruktúry** on-line laboratórneho systému nezávislého od použitého typu fyzických experimentov.
- **Unifikácia komunikačných rozhraní** v rámci vytvoreného riešenia (XML-RPC, SOAP, WSDL) a použitie webových služieb v štandardizovanom tvare.
- Vybudovanie **modulárnej architektúry** systému, v ktorom sú jednotlivé moduly vzájomne nezávislé, sú nahraditeľné za moduly tretích strán a sú ľahko integrovateľné do iných systémov.

---

# Literatúra

- [1] ChronOS. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://www.chronoslinux.org/>>
- [2] e-lab. [Online], [cit. 2012-01-06].  
URL <[http://kf.truni.sk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=107&Itemid=147](http://kf.truni.sk/index.php?option=com_content&view=article&id=107&Itemid=147)>
- [3] eCos. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://ecos.sourceware.org/>>
- [4] eCosPro. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://www.ecoscentric.com/ecos/ecospro.shtml>>
- [5] IntervalZero RTX. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://www.intervalzero.com/>>
- [6] Kithara RTS. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://www.kithara.de/>>
- [7] Real-Time Linux. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://www.osadl.org/Realtime-Linux.projects-realtime-linux.0.html>>
- [8] RedHawk Linux. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://real-time.ccur.com/home/products/redhawk-linux>>
- [9] TUD:OS (TU Dresden Operating Systems). [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <[http://demo.tudos.org/eng\\_about.html](http://demo.tudos.org/eng_about.html)>
- [10] VOS. [Online], [cit. 2012-01-06].  
URL <<http://matlab.fei.tuke.sk/vos/>>
- [11] Windows CE. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<http://www.microsoft.com/windowseembedded/en-us/windows-embedded.aspx>>
- [12] Xenomai. [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<https://gna.org/projects/xenomai/>>
- [13] RFC768 – User Datagram Protocol. Technická správa, Darpa, 1980.  
URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc768>>
- [14] RFC791 – Internet Protocol. Technická správa, Darpa, 1981.  
URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc791>>

- 
- [15] RFC793 – Transmission Control Protocol. Technická správa, Darpa, 1981.  
URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc793>>
- [16] CE 152 Magnetic Levitation Model. 1991-2012, [Online], [cit. 2012-06-20].  
URL <<http://www.humusoft.cz/produkty/models/ce152/>>
- [17] 802.3<sup>TM</sup> IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications. 2002.  
URL <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf>>
- [18] RTAI – the RealTime Application Interface for Linux from DIAPM. 2005-2006, [Online], [cit. 2014-06-20].  
URL <<https://www.rtai.org/>>
- [19] GNU General Public License Version 3. 2007.  
URL <<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>>
- [20] GNU Lesser General Public License Version 3. 2007.  
URL <<http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>>
- [21] IEEE 802.3<sup>TM</sup>: Ethernet. Technická správa, IEEE Standards Association, 2011.  
URL <<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.3.html>>
- [22] Common Object Request Broker Architecture (CORBA)<sup>®</sup>. Technická správa, Object Management Group, 2012.
- [23] Humusoft MF6xx. 2014, [Online], [cit. 2014-11-27].  
URL <[http://rtime.felk.cvut.cz/hw/index.php/Humusoft\\_MF6xx](http://rtime.felk.cvut.cz/hw/index.php/Humusoft_MF6xx)>
- [24] JavaScript reference. 2014, [Online], [cit. 2014-10-17].  
URL <<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference>>
- [25] PHP documentation. 2014, [Online], [cit. 2014-06-20].  
URL <<http://www.php.net/docs.php>>
- [26] Python documentation. 2014, [Online], [cit. 2014-06-20].  
URL <<https://docs.python.org/3/>>
- [27] REX Controls – Virtuální laboratoře. 2014, [Online], [cit. 2014-11-19].  
URL <<https://www.rexcontrols.cz/virtualni-laboratoře>>
- [28] Andújar, J. M.; Mejías, A.; Márquez, M. A.: Augmented Reality for the Improvement of Remote Laboratories: An Augmented Remote Laboratory. *IEEE Transactions on Education*, august 2011.
- [29] Aydogmus, Z.; Aydogmus, O.: A Web-Based Remote Access Laboratory Using SCADA. *IEEE Transactions on Education*, február 2009.
- [30] Barros, C.; Leão, C. P.; Soares, F.; et. al.: Issues in remote laboratory developments for biomedical engineering education. In *International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 25.-27. september 2013.
- [31] Basso, M.; Bucher, R.; Romagnoli, M.; et. al.: Real-Time Control with Linux: A Web Services Approach. In *44th IEEE Conference on Decision and Control and the European Control Conference*, Seville, Spain, december 12-15 2005.
-

- [32] Berners-Lee, T.; Masinter, L.; McCahill, M.: RFC1738 – Uniform Resource Locators (URL). Technická správa, CERN, Xerox Corporation, University of Minnesota, 1994. URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc1738>>
- [33] Bolea, Y.; Grau, A.: „Green“ remote laboratory for Chemical Engineering Degree: A new paradigm for training. In *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 12.-15. október 2011.
- [34] Boniface, M.; Nasser, B.; Papay, J.; et. al.: Platform-as-a-Service Architecture for Real-time Quality of Service Management in Clouds. In *Fifth International Conference on Internet and Web Applications and Services*, Barcelona, Spain, 2010, s. 155–160. URL <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5476775>>
- [35] Booth, D.; Haas, H.; McCabe, F.; et. al.: Web Services Architecture. Technická správa, W3C, 2004. URL <<http://www.w3.org/TR/ws-arch/>>
- [36] Bucher, R.; Balemi, S.: Scilab/Scicos and Linux RTAI – A unified approach. In *IEEE Conference on Control Applications*, Toronto, Canada, august 2005.
- [37] Bucher, R.; Dozio, L.; Mantegazza, P.: Rapid Control Prototyping with Scilab/Scicos and Linux RTAI. In *International Scilab Conference*, Paris, France, 2008.
- [38] Christensen, E.; Curbera, F.; Meredith, G.; et. al.: Web Services Description Language (WSDL) 1.1. Technická správa, W3C, 2001. URL <<http://www.w3.org/TR/wsdl>>
- [39] Dierks, T.; Rescorla, E.: RFC5246 – The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2. Technická správa, RTFM, Inc., 2008. URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc5246>>
- [40] Djalil, V.; Maric, P.; Kopic, D.; et. al.: Remote laboratory for robotics and automation as a tool for remote access to learning content. In *15th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, 26.-28. september 2012.
- [41] El-Medany, W. M.: FPGA remote laboratory for hardware e-learning courses. In *IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering. SIBIRCON 2008.*, 21.-25. júl 2008.
- [42] Fielding, R.; et. al.: RFC2616 – Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. Technická správa, IETF, W3C, 1999. URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc2616>>
- [43] Frtala, T.; Žáková, K.: Virtualization - an answer to secure development of online experiments. In *Proceedings of the 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control*, 24.-29. august 2014.
- [44] Freier, A.; Karlton, P.; Kocher, P.: RFC6101 – The Secure Sockets Layer (SSL) Protocol Version 3.0. Technická správa, Netscape Communications, 2011. URL <<http://tools.ietf.org/html/rfc6101>>
- [45] Gambier, A.: Real-time Control Systems: A Tutorial. In *5th Asian Control Conference*, ročník 2, 2004, s. 1024–1031.
- [46] Gao, H.: Development of a remote laboratory for process control experiments. In *International Conference on E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies (EDT)*, 17.-18. apríl 2010.

- 
- [47] Gomes, L.; Bogosyan, S.: Current Trends in Remote Laboratories. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 56, č. 12, december 2009.
- [48] Gosling, J.; McGilton, H.: The Java Language Environment. Technická správa, Sun Microsystems, Inc., 1996.  
URL <<http://www.oracle.com/technetwork/java/langenv-140151.html>>
- [49] Gravier, C.: *Vers la généralisation de manipulations distantes et collaboratives d'instruments de haute technologie*. Dizertačná práca, Université Jean Monnet de Saint-Étienne, 2007.
- [50] Gudgin, M.; Hadley, M.; Mendelsohn, N.; et. al.: SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition). Technická správa, W3C, 2007.  
URL <<http://www.w3.org/TR/soap12-part1/>>
- [51] Guiggiani, A.: RealTime Suite. 2011, [Online], [cit. 2014-06-20].  
URL <<http://www.rtaixml.net/realtime-suite/>>
- [52] Hargreaves, D. J.: Student Learning and Assessment Are Inextricably Linked. *European Journal of Engineering Education*, ročník 22, č. 4, december 1997.
- [53] Hassan, H.; Domínguez, C.; Martínez, J.-M.; et. al.: Remote Laboratory Architecture for the Validation of Industrial Control Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 54, č. 6, december 2007.
- [54] Hercog, D.; Gergic, B.; Uran, S.; et. al.: A DSP-Based Remote Control Laboratory. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 54, č. 6, december 2007.
- [55] Hu, W.; Liu, G.-P.; Rees, D.; et. al.: Design and Implementation of Web-Based Control Laboratory for Test Rigs in Geographically Diverse Locations. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 55, č. 6, jún 2008.
- [56] Huba, M.; Šimuněk, M.: Modular Approach to Teaching PID Control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 54, č. 6, december 2007.
- [57] ISO: Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model: The Basic Model. 1994.
- [58] Janík, Z.: *Internetom podporovaná modifikácia blokových schém v Matlab/Simulinku*. Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2010.
- [59] Jurčík, P.: *Real-time Communication over Cluster-tree Wireless Sensor Networks*. Dizertačná práca, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze, 2010.
- [60] Kalúz, M.; Ľuboš Čírka; Fikar, M.: Simplifying the implementation of remote laboratories in educational environments using industrial hardware. In *International Conference on Process Control (PC)*, 18.-21. jún 2013.
- [61] Kalúz, M.; Čírka, L.; Fikar, M.: Remote control software for thermo-optical plant. In *18th International Conference on Process Control*, Tatranská Lomnica, Slovakia, jún 2011.
- [62] Kalúz, M.; Čírka, L.; Fikar, M.: Virtual and Remote Laboratories in Education Process at FCFT STU. In *14th International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2011) – 11th International Conference Virtual University (vu'11)*, Piešťany, Slovakia, september 2011.
- [63] Kang, W.; Jo, H.-G.; Ku, H.; et. al.: Electronics & Telecommunications Remote Laboratory for RF transmitter and power amplifier test. In *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, 7.-10. december 2010.
-

- [64] Kodagoda, S.; Alempijevic, A.; Huang, S.; et. al.: Moving away from simulations: Innovative assessment of Mechatronic subjects using remote laboratories. In *International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 10.-12. október 2013.
- [65] Koike, N.: Cyber laboratory for hardware logic experiments: A seamless integration of actual laboratory and remote laboratory. In *International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET)*, 21.-23. jún 2012.
- [66] Koike, N.: Cyber Laboratory for Hardware Logic Experiments: Realizing Real Life Experiences for Many Students at Remote Sites. In *International Conference on Cyberworlds (CW)*, 25.-27. september 2012.
- [67] Koochi, S.; Shafaei, A.; Hessabi, S.: Development of a Remote Process Control Laboratory Using Configuration Software. In *International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE)*, 25.-27. jún 2010.
- [68] Leva, A.; Donida, F.: Multifunctional remote laboratory for education in automatic control: The CrAutoLab experience. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 55, č. 6, jún 2008.
- [69] Lowe, D.; Murray, S.; Lindsay, E.; et. al.: Evolving Remote Laboratory Architectures to Leverage Emerging Internet Technologies. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, ročník 2, č. 4, október - december 2009.
- [70] Magyar, Z.: *Využitie programového prostredia SciLab pre Internetom podporované riadenie systémov*. Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2011.
- [71] Mantegazza, P.; Bianchi, E.; Dozio, L.; et. al.: RTAI: Real-Time Application Interface. *Linux Journal*, ročník 72, 2000.  
URL <<http://www.linuxjournal.com/article/3838>>
- [72] Marangé, P.; Gellot, F.; Riera, B.: Control validation of D.E.S. systems: Application to remote laboratories. In *2nd International Conference on Digital Information Management*, ročník 2, France, október 2007.
- [73] Marques, R.; Rocha, J.; Rafael, S.; et. al.: Design and Implementation of a Reconfigurable Remote Laboratory, Using Oscilloscope/PLC Network for WWW Access. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 55, č. 6, jún 2008.
- [74] Mell, P.; Grance, T.: The NIST Definition of Cloud Computing. Technická správa, National Institute of Standards and Technology, 2011.  
URL <<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>>
- [75] Mendes, M. J. G. C.; Martins, L.: An internet remote laboratory to teach Industrial Automation. In *7th International Conference on Human System Interactions (HSI)*, 16.-18. jún 2014.
- [76] Münz, U.; Schumm, P.; Wiesebrock, A.; et. al.: Motivation and Learning Progress Through Educational Games. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 54, č. 6, december 2007.
- [77] Mohtar, A.; Nedic, Z.; Machotka, J.: A remote laboratory for microelectronics fabrication. In *38th Annual Frontiers in Education Conference. FIE 2008.*, 22.-25. október 2008.



- 
- [78] Monroy, V. M.; de Dios Calderón, J.; Miranda, J. C.: Taking the Lab into the Classroom: Using Mobile Technology to Monitor and Receive Data from CNC Machines. *Journal of Manufacturing Systems*, ročník 24, č. 3, 2005.
- [79] Nedic, Z.: Demonstration of collaborative features of remote laboratory NetLab. In *9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 4.-6. júl 2012.
- [80] Pearson, T. R.: A full-featured remote laboratory for hands-on engineering education. In *IEEE Frontiers in Education Conference*, 23.-26. október 2013.
- [81] Pengfei, L.; Luhua, N.: Remote Control Laboratory Based On LabVIEW. In *Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA '09)*, 10.-11. október 2009.
- [82] Petrovič, P.; Lúčny, A.; Balogh, R.; et. al.: Remotely-Accessible Robotics Laboratory. *Acta Mechanica Slovaca*, , č. 2-A, 2006, iSSN 1335-2393.
- [83] Quin, L.: CGI: Common Gateway Interface. Technická správa, W3C, 2009.
- [84] Rajasekhar, Y.; Kritikos, W. V.; Schmid, A. G.; et. al.: Teaching FPGA system design via a remote laboratory facility. In *International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL 2008)*., 8.-10. september 2008.
- [85] Riečan, P.: *Matlabom podporované vzdialené riadenie sústav*. Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2010.
- [86] Santana, I.; Ferre, M.; Izaguirre, E.; et. al.: Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, február 2013.
- [87] Santana, I.; Hernández, L.; Ferre, M.; et. al.: Analysis of a thermal system through remote laboratories. In *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 17.-20. apríl 2012.
- [88] Schleef, D.; et. al.: Comedi – Control and Measurement Interface. 2008, [Online], [cit. 2014-06-20].  
URL <<http://www.comedi.org/>>
- [89] Sedlák, M.: *Vzdialené riadenie sústavy magnetickej levitácie*. Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2007.
- [90] Severský, B.: *Modifikácia blokových schém aplikácie Scicos vo webovom grafickom prostredí*. Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2014.
- [91] Sivakumar, S. C.; Robertson, W.; Artimy, M.: A web-based remote interactive laboratory for Internetworking education. *IEEE Transactions on Education*, november 2005.
- [92] Temeltas, H.; Gokasan, M.; Bogosyan, S.: Hardware in the Loop Robot Simulators for On-site and Remote Education in Robotics. *International Journal of Engineering Education*, ročník 22, č. 4, august 2006.
- [93] Vicente, A. G.; Muñoz, I. B.; Galilea, J. L. L.: Remote Automation Laboratory Using a Cluster of Virtual Machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, október 2010.
- [94] Vince, T.: *Riadiaci a regulačný systém na báze internetu*. Dizertačná práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky TU v Košiciach, 2011.
-

- [95] W3C: Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition). 2008.  
URL <<http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/>>
- [96] W3C: HTML5 – A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML. 2014.  
URL <<http://www.w3.org/TR/html5/>>
- [97] Web3D Consortium: ISO/IEC 14772-1:1997 and ISO/IEC 14772-2:2004 – Virtual Reality Modeling Language (VRML). 1997-2004.  
URL <<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/>>
- [98] Winer, D.: XML-RPC Specification. Technická správa, UserLand Software, Microsoft, 1999.  
URL <<http://xmlrpc.scripting.com/spec>>
- [99] Wu, M.; She, J.-H.; Zeng, G.-X.; et. al.: Internet-based Teaching and Experiment System for Control Engineering Course. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 55, č. 6, jún 2008.

---

# Dodatok A

## Publikačná činnosť autora

### A.1 Zahraničné časopisy

- Janík, Z.; Žáková, K.: Online Design of Matlab/Simulink Block Schemes. In *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, ISSN 1863-0383. - Vol. 6, Special Issue 1 (2011), s. 11-13 (SCOPUS)
  - Citácie:
  - Yu, J. W.; Wang, G. C.; Jin, X. B.; Wang, F.: Simulation of Bungee Jumping System and Open Experiment Teaching Using Simulink. In *Advanced Materials Research*, 680 (2013), 571-574.
  - Ľapák, P.: Disturbance observer based controllers in constrained PID control course. In *11th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)* (2013), s. 375-379
- Janík, Z.; Žáková, K.: A Contribution to Real-Time Experiments in Remote Laboratories. In *International Journal of Online Engineering*, ISSN 1861-2121, ISSN 1868-1646. - Vol. 9, Iss. 1 (2013), s. 7-11 (SCOPUS)
  - Citácie:
  - Huba, M.; Rovánová, Ľ.; Marko, Ľ.: From automatic feedback systems to MOOCs. In *11th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)* (2013), s. 151-158
  - Huba, M.; Rovánová, Ľ.: Impact of the new learning environment on traditional engineering courses. In *12th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)* (2014), s. 175-180

- Janík, Z.; Žáková, K.: Cloud-based remote laboratory supported by RTAI. In *International Journal of Computers*, ISSN 1998-4308. - Vol. 8 (2014), s. 166-171
- Žáková, K.; Janík, Z.: Web Service Oriented Generation of LaTeX Plots. In *International Journal of Computers and Communications*, ISSN 2074-1294. - Vol. 8 (2014), s. 177-182

### A.2 Domáce časopisy

- Janík, Z.; Žáková, K.: Internetom podporovaný návrh blokových schém v Matlab / Simulinku. In *Posterus*. - ISSN 1338-0087. - jún (2010)

### A.3 Medzinárodné konferencie

- Janík, Z.; Žáková, K.: Online Design of SciLab/Xcos Block Schemes. In *Process Control 2011 : Proceedings of the 18th International Conference*, Tatranská Lomnica, Slovakia, 14.-17.6. 2011. - Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2011. - ISBN 978-80-227-3517-9. - S. 583-386
- Janík, Z.; Žáková, K.: Online Design of Matlab/Simulink and SciLab/Xcos Block Schemes. In *ICL 2011 : 14th International Conference on Interactive Collaborative Learning and 11th International Conference Virtual University*, Piešťany, Slovakia, September 21-23, 2011. - Piscataway : IEEE, 2011. - ISBN 978-1-4577-1746-8. - S. 241-247 (SCOPUS)
- Janík, Z.; Žáková, K.: Real-Time Experiments in Remote Laboratories Based on RTAI. In *ICL 2012 : 15th International Conference on Interactive Collaborative Learning and 41st International Conference on Engineering Pedagogy*, 26 - 28 September, Villach, Austria. - Piscataway : IEEE, 2012. - ISBN 978-1-4673-2426-7. - CD-ROM [4] s. (SCOPUS)
  - Citácie:
    - Blaho, M.; Bielko, S.; Farkas, L.; Fodrek, P.: Computer based control with real-time capabilities. In *WSEAS Transactions on Systems and Control*, E-ISSN 2224-2856. Vol. 9 (2014), s. 16-27
- Janík, Z.; Žáková, K.: One Example of RTAI-Based Remote Experiment. In *IN-TECH 2013 : Proceedings of International Conference on Innovative Technologies*, Budapest, Hungary 10.-13.09.2013. - Rijeka : Faculty of Engineering University of Rijeka, 2013. - ISBN 978-953-6326-88-4. - S. 273-276
- Janík, Z.; Žáková, K.: Remote Access to RTAI-Lab Using SOAP. In *Advances in Information Science and Applications - Volume I. : Proceedings of*

*the 18th International Conference on Computers*, Santorini Island, Greece, July 17-21, 2014. - ISSN: 1790-5109. ISBN: 978-1-61804-236-1. - S. 177-180

– Citácie:

- Zolotová, I.; Lojka, T.: Online data stream mining in distributed sensor network. In *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, ISSN 11092734. Vol. 13 (2014), s. 412-421
- Buzák, P.; Žáková, K.; Janík, Z.: Service Based Generation of Latex Graphical Dependencies. In *Mathematics and Computers in Science and Industry : 2014 International Conference on Mathematics and Computers in Sciences and Industry (MCSI 2014)*. Varna, Bulgaria, September 13-15, 2014. - [s.l.] : IEEE Computer Society, 2014. - ISBN 978-1-61804-247-7. - S. 179-182

## A.4 Domáce konferencie

- Janík, Z.; Žáková, K.: Online Design of Matlab/Simulink Block Schemes. In *Virtual University 2009 : 10th International Conference*, Bratislava, Slovak Republic, December 10-11, 2009. - Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2009. - ISBN 978-80-89316-11-3. - CD-Rom
- Janík, Z.: Contribution to Hard Real-Time Control of Experiments. In *ELI-TECH'12 : 14th Conference of Doctoral Students*, Bratislava, Slovak Republic, 22 May 2012. - Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2012. - ISBN 978-80-227-3705-0. - CD-ROM, [4] s.
- Janík, Z.; Žáková, K.: Performance tests of MyISAM and InnoDB database engines for online based real-time experiments. In *Kybernetika a informatika 2014 : Medzinárodná konferencia SSKI*, Oščadnica, Slovenská republika, 5.-8. 2. 2014. - Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2014. - ISBN 978-80-227-4122-4. - CD-ROM [6] p.

## A.5 Záverečné práce

- Janík, Z.: Optimalizácia web stránok pre ich prehliadanie na mobilných zariadeniach a pre tlač. Bakalárska práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2008.
- Janík, Z.: Internetom podporovaná modifikácia blokových schém v Matlab / Simulinku. Diplomová práca, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU, 2010.

## A.6 Študentské konferencie

- Janík, Z.; Zajac, P.: Bible Code. In *ŠVOČ 2007. Zborník víťazných prác*, Bratislava, Slovak Republic, 25.4.2007. - Bratislava : STU v Bratislave, 2007. - ISBN 978-80-227-2650-4. - CD-Rom
- Janík, Z.; Žáková, K.: Optimalizácia web stránok pre mobilné zariadenia a pre tlač. In *ŠVOČ 2008 : Zborník víťazných prác*, Bratislava, Slovak Republic, 23.4.2008. - Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2008. - ISBN 978-80-227-2865-2. - CD-Rom
- Janík, Z.; Ševčíková, Z.: Internetom podporovaná analýza Petriho sietí. In *ŠVOČ 2009 : Študentská vedecká a odborná činnosť. Zborník víťazných prác*, Bratislava, Slovak Republic, 29.4.2009. - Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2009. - ISBN 978-80-227-3094-5. - CD-Rom
- Janík, Z.; Žáková, K.: Internetom podporovaný návrh blokových schém v Matlab/Simulinku. In *ŠVOČ 2010 : Študentská vedecká a odborná činnosť. Zborník vybraných prác*, Bratislava, Slovak Republic, 21.4.2010. - Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2010. - ISBN 978-80-227-3286-4. - CD-Rom

---

## Dodatok B

# Účasť v projektoch

### B.1 Zodpovedný riešiteľ projektov

Názov projektu: **PaaS pre podporu riadenia v reálnom čase v on-line laboratóriách**

Akronym projektu: **RRČ-PaaS**

Termín riešenia: **14. 4. 2014 – 31. 12. 2014**

Názov projektu: **Podpora riadenia v reálnom čase vo vzdialených laboratóriách**

Akronym projektu: **RRČ-VL**

Termín riešenia: **1. 2. 2013 – 6. 12. 2013**

### B.2 Riešiteľ projektov

Názov projektu: **Pokročilé metódy nelineárneho modelovania a riadenia mechatronických systémov**

Číslo projektu: **VEGA 1/0937/14**

Termín riešenia: **1. 1. 2014 – 31. 12. 2014**

Názov projektu: **Online laboratórium pre výučbu predmetov automatického riadenia**

Číslo projektu: **KEGA 032STU-4/2013**

Termín riešenia: **1. 1. 2013 – 31. 12. 2014**

Názov projektu: **Integrácia a rozvoj nelineárnych a robustných metód riadenia a ich aplikácie na riadenie lietajúcich zariadení**  
Číslo projektu: **VEGA 1/0656/09**  
Termín riešenia: 1. 1. 2011 – 31. 12. 2012

Názov projektu: **Budovanie virtuálnych a vzdialených experimentov pre sieť on-line laboratórií**  
Číslo projektu: **KEGA 3/7245/09**  
Termín riešenia: 1. 1. 2011 – 31. 12. 2011

### B.3 Školiteľ diplomových projektov

Názov: **Modifikácia blokových schém aplikácie Scicos vo webovom grafickom prostredí**  
Autor: Bc. Boris Severský  
Študijný program: Aplikovaná informatika  
Termín odovzdania: 23. 5. 2014

Názov: **Pokročilé metódy optimalizácie rýchlosti webových aplikácií**  
Autor: Bc. Peter Aust  
Študijný program: Aplikovaná informatika  
Termín odovzdania: 22. 5. 2012

Názov: **Interaktívna vektorová grafika v systémoch pre elektronické vzdelávanie**  
Autor: Bc. Martina Marčeková  
Študijný program: Aplikovaná informatika  
Termín odovzdania: 22. 5. 2012