Laboratoř počítačového řízení s internetovým přístupem

František Zezulka, František Smrčka
Vysoká škola polytechnická Jihlava

Abstrakt

Článek se zabývá problematikou internetové laboratorní výuky. Tento systém výuky nabývá na významu zejména v kontextu s kombinovanou výukou technických oborů, kdy studenti kombinovaného studia mohou vzdáleně absolvovat laboratoře s experimentováním s fyzickými laboratorními úlohami. Avšak i studentům denního studia může být systém vzdáleného absolvování laboratorní výuky přínosem a na mnoha technických školách se začíná prosazovat. V článku se zabýváme především technickým řešením tohoto způsobu výuky a to s ohledem jak na technické problémy řešení, tak na otázky informační bezpečnosti internetového přístupu k laboratoři. Na případových studiích prezentujeme internetovou laboratorní výuku systémů automatického počítačového řízení fyzických i virtuálních modelů. Právě na fyzických modelech, které jsou zpravidla nákladné a unikátní, se výhody internetového přístupu ukazují v nejlepším světle. Spočívají v tom, že unikátní modely mohou být využívány studenty několika vysokých škol, zájemci ze spolupracujících zahraničních institucí i zájemci z řad technické veřejnosti. Příspěvek poskytuje čtenáři komplexní pohled na tuto problematiku od technického řešení přes informační zabezpečení licencovaného SW až k bezobslužnosti fyzických modelů.

Klíčová slova: internetová výuka, řízení systémů počítači, fyzické modely, informační zabezpečení

Úvod

V posledních létech se na technických fakultách vysokých škol celosvětově prosazují internetově přístupné laboratoře. Ideou je umožnit studentům i zájemcům přístup k experimentům s unikátními modely, vyvinutými a realizovanými výukovými, ale i výzkumnými pracovišti technických fakult vysokých škol a univerzit. Tak je tomu již několik let v Německu, Francii a dalších vyspělých evropských i jiných zemích. I na vysokých školách České republiky se tento trend objevuje poslední dobou ve zvýšené míře. Příkladem může být především Elektrotechnická fakulty ČVUT Praha, kde na katedře řídicí techniky byla internetově přístupná laboratoř realizována a využívána již před několika roky jako

produkt projektu Fondu rozvoje vysokých škol (FRVŠ). Tento příspěvek se zabývá komplexním pohledem na smysl, cíl, postupy a výsledky projektu, který na tyto práce navazuje a jehož cílem bylo navrhnout a realizovat obdobnou laboratoř na Vysoké škole polytechnické Jihlava pro účely výuky bakalářských technických oborů studijního programu Elektrotechnika a informatika.

Předmět řešení

Projekt Inovace předmětu počítačové řídicí systémy FRVŠ 1113/2011 navazuje na předchozí vyřešený FRVŠ projekt 1537/2007 Virtuální laboratoř – automatizační techniky. Projekt spočívá v aktualizaci laboratorní výuky předmětu počítačové řídicí systémy. Konečným výsledkem projektu bylo dobudování laboratoře počítačových řídicích systémů na VŠPJ tak, aby kromě standardní laboratorní výuky umožnil i internetovou výuku automatizační techniky pomocí vzdáleného internetově orientovaného přístupu. Internetový přístup se realizuje pomocí virtuálních počítačů na platformě systému VMware. Výkonný server pro realizaci systému vzdáleného přístupu je základem této laboratoře. Předmětem řešení v navrhovaném projektu bylo rovněž nasazení systému Lablink, který byl vyvinut na katedře řídicí techniky FEL ČVUT Praha a je tam již úspěšně v provozu a který FEL ČVUT řešitelům poskytuje ke společnému využití na základě vzájemné spolupráce. Systém Lablink slouží především pro administraci přístupu a správu uživatelů. Vzhledem k tomu, že internetový vzdálený přístup je plně kompatibilní s rozhraním FEL ČVUT v Praze, budou moci laboratorní pracoviště VŠPJ využívat i studenti ČVUT a naopak. Vzdálená práce s připojenými modely bude součástí cvičení předmětů automatizační techniky a tedy součástí výuky na Vysoké škole polytechnické v Jihlavě. Dalším cílem projektu je použití systému ControlWeb (systém softwarového řízení – soft control), respektive řízení pomocí programovatelných automatů (PLC) za účelem internetového (intranetového) přístupu k fyzickým modelům, které jsou předmětem počítačového nebo PLC řízení (Burget 2008).

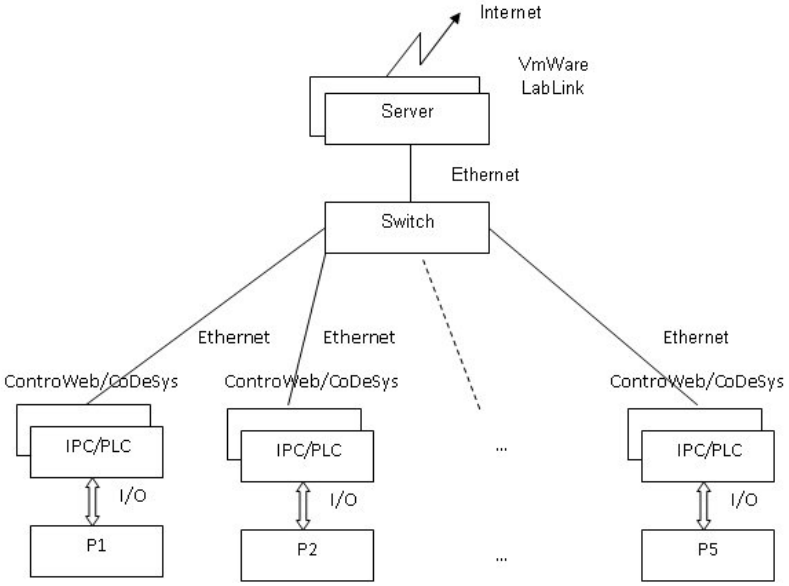
Laboratoř počítačového řízení

Technický popis

Koncepce laboratoře internetového přístupu k počítačově řízeným modelům je ukázána na obr. 1. Internetový přístup k počítačově řízeným modelům může být smysluplný jedině tehdy, jsou-li modely bezobslužné. Bezobslužné modely jsou z principu SW modely, které pouze animují chování fyzických modelů. Tyto čistě SW modely však studentům neposkytují fyzikální pohled na řízený stroj nebo proces v dostatečné míře, protože ve většině případů jsou zjednodušeným modelem se zanedbáním fyzikálních zákonitostí, zejména parazitních vlivů prostředí a nelinearit a dalších. O něco málo lepší jsou elektromechanické nebo elektronicko-mechanické modely, ve kterých se část mechaniky emuluje elektronikou (např. bar graf tvořený LED diodami namísto SW tvorby bar grafu nebo LCD animace otáčení se rotoru čerpadla apod.). Skutečný pohled na fyzickou realitu řízení strojů, linek a technologických procesů podávají však

až skutečné fyzické modely těchto zařízení. Tam student musí respektovat fyzikální zákony a zákony mechaniky těles při řízení pohybu těchto mechanismů a fyzikální, chemické, biologické a další zákony při řízení technologických, biochemických a dalších procesů. Není však snadné nejen zvolit a vyrobit kvalitní, průkazné, dostatečně věrné modely strojů a procesů, ale zvolit a realizovat je jako bezobslužné. Jedině bezobslužný model může uspokojit experimentátora, který přistupuje vzdáleně a nemá žádnou možnost fyzicky obsloužit fyzický model, se kterým experimentuje. Jedině bezobslužný model je akceptovatelný pro obsluhu laboratoře, která dává fyzické modely k disposici internetově orientovanému přístupu.

Obr. 1: Koncepce internetového přístupu k počítačově řízeným modelům

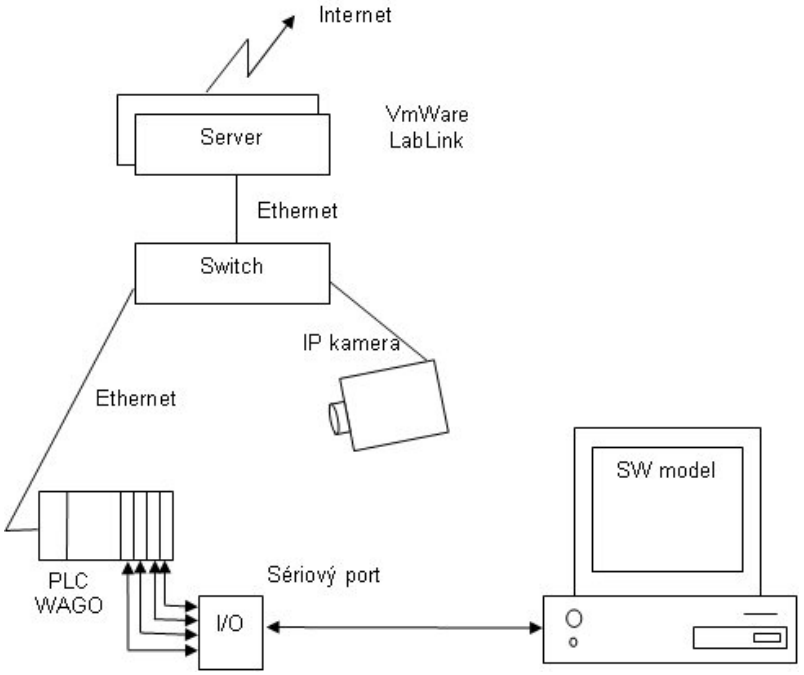


Na obr. 2 je schéma čistě SW pracoviště, kde na PC je vytvořen SW model železnice. Vzdálený experimentátor má možnost buď jen spustit vzorový příklad a sledovat animaci pohybu vlaků v kolejišti a to buď z bitmapy, nebo webovou kamerou, která sleduje monitor simulačního PC nebo naprogramovat jiný pohyb vlaků. Kamerou může experimentátor pohybovat, a tak ji přesněji dostavit s ohledem na možné odlesky apod. Vzhledem k tomu, že model je SW, je pozorování pohybu modelu kamerou redundantní. V případě pracovišť s fyzickými modely je funkce kamery jako vizuální zpětné vazby pro experimentátora (studenta) nezastupitelná. Kromě kamery a simulačního PC s monitorem je pracoviště vybaveno malým programovatelným automatem (PLC) s distribuovanými jednotkami vstupů a výstupů (I/O systém WAGO 750) s komunikačním modulem Ethernet, umožňujícím připojení pracoviště do sítě Internet. Uživatel nahrává do PLC svůj program řízení vlaků, který na svém počítači vytvořil pod systémem CoDeSys. Ještě předtím musí internetově navázat spojení

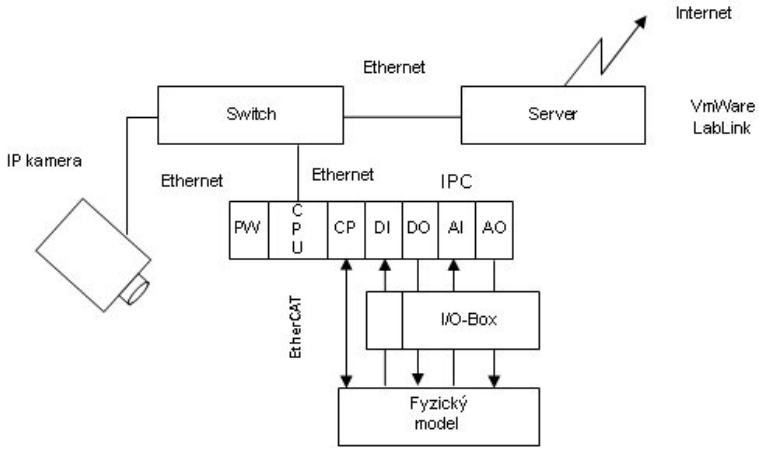
prostřednictvím rezervačního systému LabLink a systému VmWare, které mu umožní využívat vývojový systém CoDeSys a případně další potřebná vývojová a vizualizační prostředí systémem vzdálené plochy. To zaručuje nedotknutelnost případného licencování používaného vývojového prostředí (např. WinCC a STEP 7 v případě řízení modelu programovatelným automatem Simatic S7 firmy Siemens a dalšími obdobnými softwary).

Typické řešení pracoviště s fyzickým modelem je uvedeno na obr. 3. Obsahuje průmyslové IPC s analogovými i digitálními jednotkami V/V (I/O) a velmi rychlým průmyslovým Ethernetem typu EtherCAT pro řízení pohonů synchronních motorů a dalších rychlých akčních členů. Standardní senzory, elektrické a elektronické spínače a vypínače, signalizační diody a žárovky, malé motorky a ventily a další procesní instrumentace, kterými jsou fyzické modely vybaveny, se k IPC připojují přes vstupní/výstupní jednotky průmyslového IPC. Přechodový modul (I/O box), uvedený v obr. 3, slouží k napěťovému, proudovému, impedančnímu a výkonovému přizpůsobení signálů mezi modely a řídicími systémy. Tento přechodový modul byl koncipován jako univerzální tak, aby přizpůsobil různorodé elektrické obvody fyzických modelů různým řídicím systémům (IPC, PLC, distribuovaným jednotkám vstupů/výstupů) a různým výkonovým členům různých výrobců.

Obr. 2: Pracoviště se SW modelem



Obr. 3: Typické pracoviště s internetovým přístupem a řízením rychlých fyzikálních modelů průmyslovým IPC



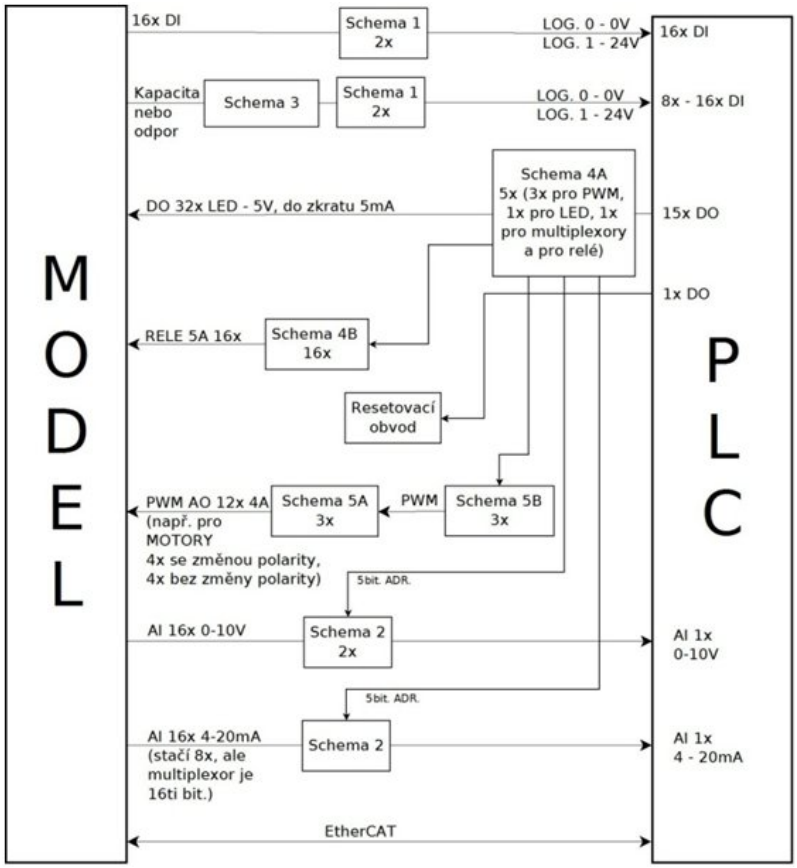
Obvodové řešení přechodového modulu

S ohledem na to, že fyzické modely jsou značně různorodé, je I/O box navržen jako modulární a dle konkrétní potřeby jednotlivých fyzických modelů se realizuje jeho nejvhodnější a nejekonomičtější varianta. Blokové schéma I/O boxu je uvedeno na obr. 4.

Přechodový modul (I/O box) napěťově zesílí digitální výstupy z modelu a přivede je na digitální vstupy řídicího členu. Analogové výstupy modelu jsou adresovány digitálními výstupy řídicího členu. Digitálních vstupů modelu bude více, než mívají řídicí členy digitálních výstupů a některé digitální výstupy budou zesíleny. U analogových vstupů modelu se počítá s jejich větším počtem, než je počet analogových výstupů řídicích členů. Ty navíc nejsou schopny dodat dostatečný elektrický proud například pro pohony modelu (Zezulka 2010).

K vyřešení problému více analogových a digitálních výstupu modelů je použit v I/O boxu mikrokontrolér AT89S52. Výkon tohoto mikrokontroléru je pro tyto účely dostačující. Mikrokontrolér je naprogramovaný v programovacím jazyce C51 ve vývojovém prostředí KEIL. Přechodový modul se skládá z jednotlivých dílčích modulů. Jedná se především o modul pro digitální výstupy laboratorních modelů, modul pro měření kapacity a elektrického odporu, nevýkonové moduly pro binární vstupy laboratorních modelů, výkonové moduly pro binární vstupy laboratorních modelů, výkonové moduly pro analogové vstupy laboratorních modelů, moduly pro analogové výstupy laboratorních modelů a moduly podpůrných obvodů. Z podpůrných modulů jsou nejdůležitější modul pro resetování mikrokontrolérů, modul generující hodinový signál pro mikrokontroléry a modul stabilizující napětí 24 V na 5 V a na 10 V (Váňa 2011).

Obr. 4: Blokové schéma I/O boxu



Zdroj: Matoušek, Zezulka a Smrčka (2008)

Vzdálené připojování a rezervace modelů

Server

Vlastní server je určen pro běh virtuální plochy a pro rezervaci času uživatele na virtuálním počítači, případně na virtuálním počítači s modelem. Z těchto důvodů bylo z hlediska hardwaru zvoleno robustní řešení. Byl zvolen server Dell PowerEdge T710. Server má tyto důležité parametry: 1x Intel Xeon E5530 Processor (2.4 GHz, 8 M Cache, 5.86 GT/s QPI, Turbo, HT), 1066 MHz a paměť:12 GB. Disky jsou v RAID 10 4x 146GB SAS 15k 3.5"HD Hot Plug, optické zařízení: 16x DVD+/-RW ROM Drive SATA with SATA Cable. Tento server zvládne přibližně 30 virtuálních ploch, což je pro náš záměr dostačující.

Switch

Aby nedocházelo k případům, kdy si student rezervuje virtuální plochu pro jeden model a změnou například IP adresy v dané aplikaci (například CoDeSys) se bude připojovat také k jiným modelům, bylo zvoleno řešení, že se vzdáleně

zřídí pomocí přepínače cesta pouze k danému modelu. Pro rozdělení sítě na virtuální podsítě byl zvolen switch 3 Com 4400SE. Tento switch dokáže pracovat s virtuálními LAN (VLAN), což je flexibilní skupina zařízení, která se mohou nacházet kdekoli na síti, a přitom spolu komunikují, jako kdyby se nacházela na stejném fyzickém segmentu. Pomocí virtuálních LAN lze segmentovat svou síť, aniž by byla omezena fyzická spojení. Virtuální LAN umožňují segmentovat síť například podle databáze přepínače. Tedy je přesně určeno, kam má být paket předán a na jaký port by měl být přenesen v případě, že je určen k předání.

IP kamera

Pro sledování jednotlivých modelů byla zvolena IP kamera VIVOTEK PZ 6122. Tato kamera umožňuje motoricky ovládané otáčení a naklápění s funkcí ovládání v obraze pomocí stisknutí myši. Dále má desetinásobný digitální a desetinásobný optický zoom. Má v sobě zabudovaný web server. Také má jeden reléový výstup, na který je možné připojit například bodové světlo pro osvětlení modelu. Má automaticky přepínané rozhraní 10/100BaseT Ethernet pro připojení k internetu. Pro přístup lze definovat až 20 uživatelských účtů (Network cameras 2012).

Obr. 5: Webová kamera typu VIVOTEK PZ 6122

Operační systém severu

Na server byl jako základní operační systém nainstalován Open SUSE verze 11.4, což je v této době jeho nejnovější řada. Z důvodů rychlosti byl nainstalován jen v textovém režimu, bez grafického. Tímto se omezily mnohé zbytečně běžící služby, které by server zatěžovaly. Po nainstalování Open SUSE byla nainstalována aplikace VMware Workstation verze 7 pro vytváření virtuálních počítačů.

Program VMware Workstation umožňuje spustit na jednom počítači simultánně několik operačních systémů (Linux, Windows) a jejich aplikace. Program vytváří izolované zabezpečené virtuální stroje, na kterých běží operační systémy a jejich aplikace. Dále byl na server nainstalován web server a v něm spuštěn systém LabLink, vyvinutý na ČVUT Praha.

Práce se systémem LabLink

Systému LabLink je vyvinutým na katedře řídicí techniky FEL ČVUT a poskytnutý pro účely naší laboratoře internetového přístupu k počítačově řízeným modelům.

Tento systém umožňuje uživatelům rezervaci času u jednotlivých modelů. Při rezervaci si uživatel vybere virtuální plochu, model, se kterým chce pracovat, a časový interval. Modelem se rozumí hardwarové zařízení, které je připojeno ke switchi a ke kterému je zřízena na switchi virtuální cesta. Virtuální plochou se rozumí spouštění virtuálního počítače s nainstalovanými aplikacemi a připravenými soubory pro práci s hardwarovými zařízeními.

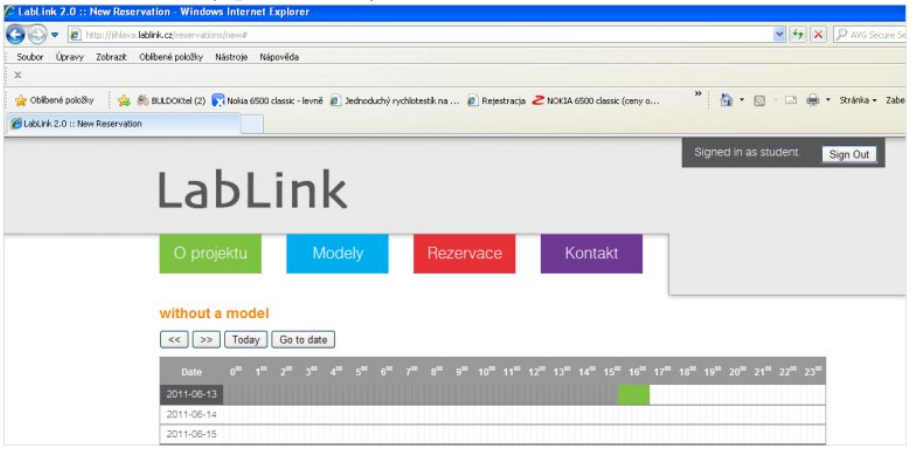
Nyní jsou k dispozici plochy Windows XP určené pro práci se systémem Wago. Na této ploše je nainstalovaná aplikace CodeSys pro ovládání systému Wago. Další plocha Windows XP je připravena pro ovládání modelu železnice pomocí systému Wago. Prozatím poslední virtuální plocha s Windows 7 je připravena pro výukovou stanici automatizačního pracoviště Allen – Bradley.

Do systému LabLink je možné se přihlásit s administrátorským oprávněním. Administrátor zde může vytvářet a spravovat modely, vytvářet a spravovat obrazy virtuálních strojů, spravovat uživatele, spravovat role a spravovat vlastní www stránky.

S LabLinkem se pracuje tak, že si uživatel rezervuje čas práce. Vybírá si model a k němu virtuální plochu. Jakmile nastane doba rezervace, v systému Lablink se objeví RDP (Remote Desktop Protokol), který si uživatel otevře a připojí se ke vzdálené ploše a může pracovat s jednotlivými aplikacemi.

Pro vizuální přehled, co se děje na vzdáleném zařízení, slouží IP kamera. Na tuto kameru se uživatel připojí pomocí internetového prohlížeče na lokálním počítači. Spouštění kamery z lokálního počítače a ne z virtuální plochy bylo zvoleno proto, že protokol RDP není vhodný pro přenos obrazu z kamery a odezvy z kamery by byly pomalé.

Obr. 6: Uživatelský pohled na systém LabLink



Využití laboratoře
Laboratoř počítačového řízení s internetovým přístupem je určena především pro výuku předmětu počítačové řídicí systémy a předmětu programovatelné automaty oboru počítačové systémy a aplikovaná informatika řádného a kombinovaného studia bakalářského studijního programu Elektrotechnika a informatika. Díky webovému přístupu, jsou pracoviště laboratoře k dispozici vlastním studentům, studentů kooperujících fakult a technické veřejnosti vzdáleně.

Diskuse a závěr

Článek popisuje koncepci laboratoře počítačového řízení fyzických i virtuálních (SW) modelů s internetovým přístupem. Pozornost je věnována rezervačnímu systému LabLink, který umožňuje internetový přístup jak studentům Vysoké školy polytechnické Jihlava, tak spolupracujících institucí (FEL ČVUT Praha). Článek se také zabývá serverovým a síťovým řešením dané problematiky.

V budoucnosti se předpokládá zahrnutí laboratoří dalších škol i technické veřejnosti. Je popsáno HW řešení přechodového modulu I/O boxu umožňujícího řízení modelů průmyslovými IPC i programovatelnými automaty PLC. Smyslem internetového přístupu je nejen zvýšení kapacity laboratorní výuky pro studenty řádného studia naší školy, ale i zpřístupnění laboratorních experimentů (v jistém smyslu unikátních), které jsou k dispozici v laboratořích řídicí techniky jen některé z vysokých škol v republice nebo na spolupracujících zahraničních pracovištích studentům všech subjektů i technické veřejnosti.

Reference

ZEZULKA, F. a kol., 2010. Trends in Automation – investigation in Network Control Systems and Sensor Networks. In: 10^{th} *IFAC Workshop on Programmable devices and Embedded Systems PDeS 2010*. Gliwice: Salezian University, 131–135.

BURGET, P. a kol., 2008. RemoteLabs and ResourceSharing in Control Systems Education. In: *Preprints of the* 17^{th} *IFAC World Congress*. Seoul: IFAC. ISBN 978-3-902661-00-5.

MATOUŠEK, D., F. ZEZULKA a F. SMRČKA, 2008. Virtual Lab for Automation. In: *Proceedings the* 8^{th} *International Scientific–Technical Conference Process Control 2008*. Pardubice: University of Pardubice, 191–192. ISBN: 80-7395-077-4.

Network cameras. *Vivotek* [online]. [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: http://www.vivotek.com/products/network_cameras.php

VÁŇA, R., 2012. *Elektronické obvody pro sběr a generování dat pro pohony laboratorních modelů* [Bakalářská práce]. Jihlava: Vysoká škola polytechnická Jihlava.

Další použité zdroje

SMRČKA, F. a kol. Virtuální laboratoř pro výuku automatizace. In: *Pedagogický software 2008*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. ISBN 80-85645-59-9.

ZEZULKA, F. et al. Networked Control Systems, theoretical problems and physical reality. In: *TechSys 2009: International Conference Engineering, Technologies and Systems*. Plovdiv: TU Sofia, 2009, **142**, 37–42. ISSN 1370-271.

BERAN, J., P. FIEDLER and F. ZEZULKA. Virtual Automation Networks. *IEEE industrial electronics magazine*. 2010, **43**, 20–27. ISSN: 1932-4529.

WMWARE. *Products* [online]. 2011 [cit. 2011-06-15]. Dostupné z: www.vmware.com/products/workstation/

Internet Based Laboratory of Control Systems

The article deals with online laboratory teaching. This system of education is gaining importance especially in the context of combined teaching of technical subjects, when students of combined study can remotely participate in the laboratory lessons with laboratory experimentation with physical tasks. However, students of full-time study programs can benefit from remote completion of laboratory education as well and it is gaining ground at a number of technical schools. In the article we deal especially with the technical solution to this particular method of teaching with a view to both solving technical problems and questions of information security of the Internet access to the laboratory. By means of case studies we present Internet laboratory teaching of systems of automatic computer control of physical and virtual models. It is just the Internet access to the physical models, which are usually expensive and unique, that shows the advantages of Internet access in the best light. They consist in the fact that the unique patterns can be used by students from several universities, by those from collaborating foreign institutions, and interested individuals from the engineering community. The article provides readers with a complex view of this issue from the technical solution through the information security of licensed software to the operational safety and unattended character of physical models.

Keywords: Internet based education, computer control systems, physical models, information security

Kontaktní adresa:
prof. Ing. František Zezulka, CSc., Katedra elektrotechniky a informatiky, Vysoká škola polytechnická Jihlava, Tolstého 16, 586 01 Jihlava, *e-mail: zezulka@vspj.cz*

PaedDr. František Smrčka, Ph.D., Katedra elektrotechniky a informatiky, Vysoká škola polytechnická Jihlava, Tolstého 16, 586 01 Jihlava, *e-mail: smrcka@vspj.cz*

ZEZULKA, F. a F. SMRČKA. Laboratoř počítačového řízení s internetovým přístupem. *Littera Scripta.* 2012, **5**(1), 263–273. ISSN 1802-503X.