

# MODULAR STATION CP LAB

*Jan Mohelník<sup>1</sup>, Pavel Trnka<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Jan.Mohelnik @fs.cvut.cz*

<sup>2</sup> *České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Pavel.Trnka @fs.cvut.cz*

*Abstrakt: Tato práce pojednává o třech laboratorních úlohách, které byly vytvořeny na modulární stanici CP Lab. Využíváme tak technologii, jenž se běžně vyskytuje v praxi, na aplikování naučené teorie z předmětu Automatické řízení v bakalářském studiu. Studenti zde mají možnost vidět jak hardwarové zpracování stanice, tak se podílet na jejím programování a propojit si teorii řízení s praxí.*

*Klíčová slova:* CP Lab; Automatické řízení; Laboratorní úloha

*Abstract:* This work deals with three laboratory tasks that were created on a modular station CP Lab. We use the technology that commonly occurs in practice to apply the theory learned from the subject of Automatic Control in the bachelor's degree. Students have the opportunity to see both the hardware processing of the station and participate in its programming and connect control theory with practice.

*Keywords:* CP Lab; Automatic control; Laboratory task

## 1 Úvod

V laboratoři jsem měl na výběr ze dvou možností. Vrtací stanice, nebo horkovzdušný tunel. Každá z nich byla připevněna k paletovému dopravníku s ovládacím panelem. Já jsem si zvolil horkovzdušný tunel, jelikož mi přišel jako ideální kandidát pro všechny tři úlohy. Samotné stanice již byly fyzicky sestaveny a naprogramovány. Bohužel však dodaný program nesplňoval potřebné požadavky. Sloužil spíše, jako ukázka funkčnosti stanice, než pomůcka pro studenty v jejich rozvoji v oblasti automatizace. Bylo tedy zapotřebí stanici celou přeprogramovat, vymyslet způsob, jakým budou moci studenti na ní pracovat a zachovat původní program, jako ukázkou původního řešení.

### 1.1. CP Lab Heat Tunnel

Horkovzdušný tunel – Tato stanice má za úkol simulovat průmyslové řešení sušení nátěru (barvy) při průjezdu tunelem. Jako akční člen zde slouží ventilátor se zabudovanou výhřevnou spirálou, kterou lze regulovat na výkonu, pro měření teploty zde používáme odporový teploměr PT100 a jako možnost simulace vnějšího rušení procesu sušení, kovový rošt s dírami, jenž je přidělán na peci a ovládán skrze pohybový šroub přes plastové kolečko. Jako ukazatele zapnuté pece, tedy probíhajícího procesu schnutí, zde máme červenou LED lampu, která nám symbolizuje svou červenou barvou rozžhavenou pec. Senzor nám dovoluje měřit až do teplot okolo 200°C. Jelikož se ale jedná o školicí stanici, tak z důvodu bezpečnosti skutečná maximální dosažitelná teplota, po kterou můžeme pec rozežhát je 75~80 °C. [1]



Obr. 1. Heat Tunnel[1]

## 1.2. CP Lab Pallet Transfer Line

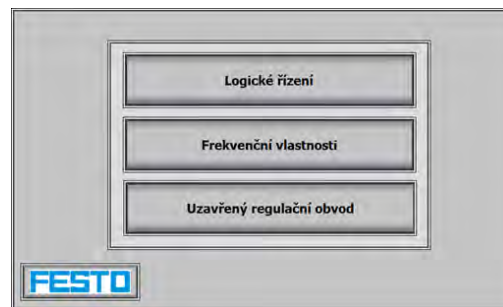
Dopravníkový pás - Slouží jako určitý základní modul pro všechny ostatní aplikační moduly (např. pec, vrtačka, kamerová kontrola a mnoho dalších). Každá dopravníková stanice je vybavena na svých stranách fotoelektrickými senzory, které zajišťují celkové propojení s více stanicemi sériově za sebou. Máme zde velké zastoupení indukčních a kapacitních senzorů, sloužících pro sledování pozice vozíku na páse a RFID senzor, který zpracovává data, jenž vozík se sebou přenáší v datové minci. Nejdůležitější část je zde rozvodná skříň, která v sobě ukrývá veškerou řídicí elektroniku. Velice důležitou součástí pro studenta, je ovládací dotykový panel, na němž probíhá veškeré měření a nastavování laboratorních úloh. [2]



Obr. 2. Pallet Transfer Line[2]

## 2. Samotné laboratorní úlohy

Při výuce automatizace v laboratořích přistupujeme ke třem základním typům úloh: Logické řízení, Frekvenční vlastnosti a Uzavřený regulační obvod.



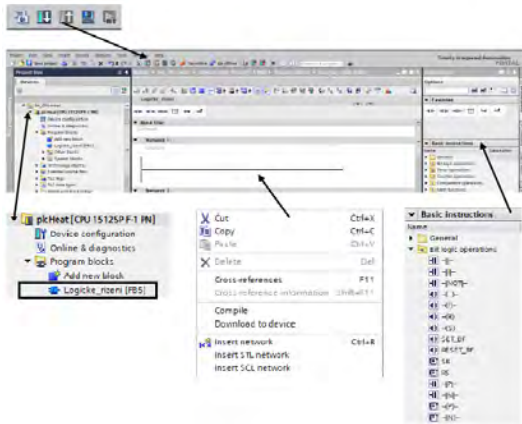
Obr. 3. Menu – Jednotlivé úlohy

### 2.1. Logické řízení

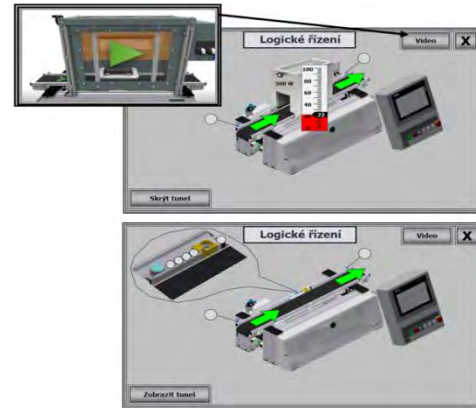
Pro úlohu mám připravenou obrazovku s modelem tunelu a vyznačenými čidly. Obrázek stanice na obrazovkách jsem použil přímo od výrobce stanice[1,2]. Jednotlivé puntíky nám zobrazují, či je čidlo „senzor“ v log.1 (zelené „●“), nebo v log.0 (šedé „●“). Jako ukázkou principu fungující naprogramované stanice jsem zde přidal tlačítko „Video“, které spustí na obrazovce animaci funkční linky, kterou jsem stáhl od výrobců této sestavy. Směr otáčení dopravního pásu je znázorněn blikajícími zelenými šipkami ve směru jízdy „←→“. V levém dolním rohu pak máme možnost zobrazení, nebo skrytí aplikační stanice horkovzdušného tunelu. Na něm je ukázána aktuální teplota a sepnutý výkon tunelu. Program, v němž budou studenti tuto úlohu programovat, se nazývá TIA Portal. Jedná se o platformu firmy SIEMENS. Prostředí tohoto softwaru je vcelku obsáhlé, a proto jsem ve své práci popsal jen části, které využijí studenti při svém programování. Ostatní věci si jde samozřejmě vyhledat na internetu, kde jsou volně dostupné návody od autorů programu. Pro programování jsem vytvořil funkční blok „Logické řízení [FBS]“, v kterém budou moct studenti tvořit svůj algoritmus horkovzdušného tunelu. Způsob programování je již na studentech. Dá se říct, že s jakýmkoliv (pro PLC dostupným) jazykem dokážeme naprogramovat funkční stanici, je ale otázka, jaký způsob je pro nás nejpříjemnější. Jsou k dispozici jazyky dle normy IEC 61131-3[8]. Co se týče přehlednosti, tak bych určitě doporučil LAD jazyk, jelikož se dá velice dobře pozorovat v jednotlivých reléových schématech funkčnosti programu. Co se týče pracování s daty tak SCL. Velice jednoduchá metoda pomocí základních znalostí programování, které vám ušetří spoustu starostí, například při práci s nepřímou adresací dat v LAD. Hlavní výhoda je, že LAD, SCL a STL, se dají používat a kombinovat v jednom bloku naráz. Co se týče FBD a GRAPH, tak pro jejich použití musíme vytvořit bloky s patřičným jazykem zvlášť. [7]

### 2.1.1. Postup studenta

Studenti tak na začátku dostanou seznam dostupných PLC adres, na které jsou připojena jednotlivé zařízení a dle zadání mají za úkol zprovoznit chod stanice v automatickém režimu.



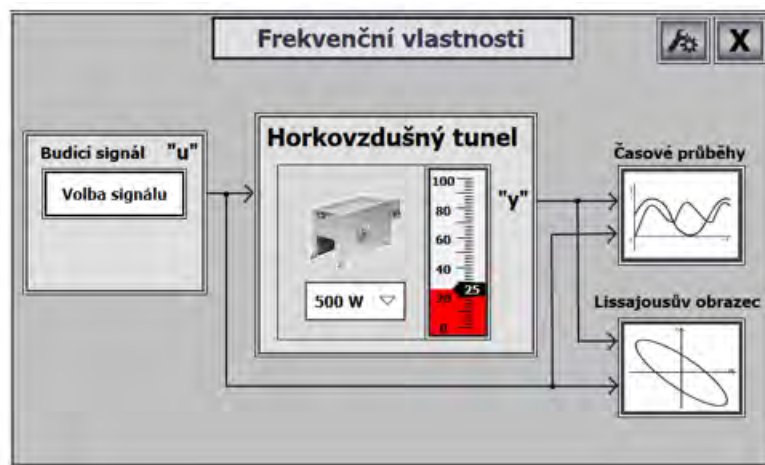
Obr. 4. TIA Portal prostředí



Obr. 5. Obrazovka – Logické řízení

## 2.2. Frekvenční vlastnosti

Tato úloha se zabývá metodami pro analýzu chování neznámých soustav, tedy v našem případě „**horkovzdušného modelu**“. To provádíme tak, že za pomoci budícího harmonického signálu  $u = A \cdot \sin(\omega t)$  působíme na soustavu a sledujeme její chování skrze vynucený výstup  $y = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ . Vynucené kmity bývají opožděny za budícím signálem a to právě skrze průběhy pozorujeme a měříme. [4]



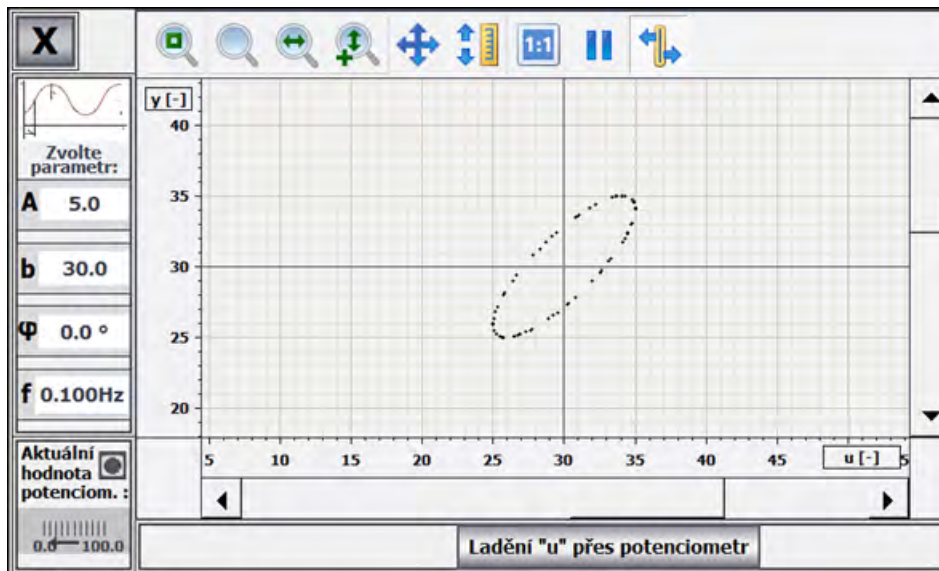
Obr. 6. Obrazovka – Frekvenční vlastnosti

### 2.2.1. Lissajousův obrazec

Lissajousova křivka „**obrazec**“ je vytvořená dvěma harmonickými signály, promítanými na osách  $x, y$ , kde:  $x = A_1 \cdot \sin(\omega t + \varphi_1) + b_1$ ;  $y = A_2 \cdot \sin(\omega t + \varphi_2) + b_2$  (1.1)

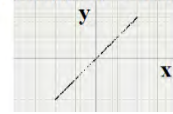
Co se týče laboratorní úlohy pro studenty, tak na ose „ $x$ “ je zobrazován „ $u$ “ budící harmonický signál z generátoru, který si sami nadefinujeme a na ose „ $y$ “ je zobrazena hodnota teploty soustavy, která je právě vynucená měnicími se požadavky budícího signálu a jejíž chování je pro nás neznámé.

Vykreslování křivky funguje skrze funkci „**f(x)** (TrendView)“, kde nám **jeden bod jezdí po vypočtených souřadnicích křivky „ $x, y$ “** a přibližně co 150 ms zaznamenává do grafu černým puntíkem svou dráhu. Po uplynutí určité doby tedy dostáváme z těchto bodů celkový graf „**obrazec**“. [4, 5]

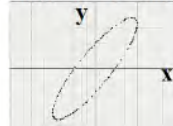


Obr.7. Obrazovka – Vykreslování křivek

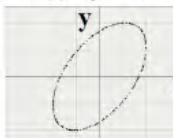
$$x = 10 \cdot \sin(t) \quad y = 10 \cdot \sin(t)$$



$$x = 10 \cdot \sin(t) \quad y = 10 \cdot \sin(t+0,5)$$



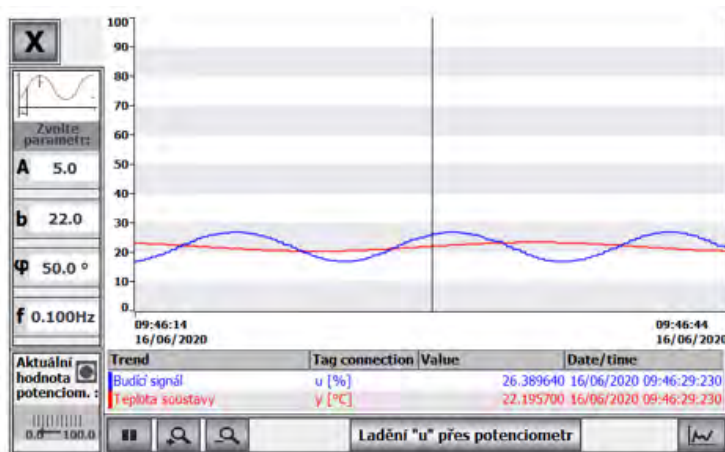
$$x = 10 \cdot \sin(t) \quad y = 10 \cdot \sin(t+1)$$



### 2.2.2. Časové průběhy

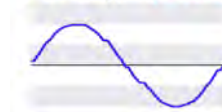
Stejně jako u předchozí metody, tak na ose „x“ je zobrazován „u“ budící harmonický signál z generátoru a na ose „y“ je zobrazena hodnota výstupu soustavy. Rozdíl oproti předchozí metodě je tedy pouze v tom, že tyto rovnice zobrazujeme společně na jedné časové ose.

Vykreslování křivky funguje skrze funkci „TrendView“, kde se nám v závislosti na přibývajícím čase (který řídí PLC) zobrazují co 100ms nové hodnoty v grafu ve formě bodů, které jsou interpolovány „spojeny“ s předchozími, aby tak křivka vypadala spojitě a hladce. Máme zde možnost pomocí posuvné osy měřit hodnoty jednotlivých křivek a změřené hodnoty se nám pak zobrazují společně s časem ve spodní tabulce grafu. Další z možností, je zde pak pomocí potenciometru na panelu ovlivňovat „ladit“ parametry budícího signálu. [4]

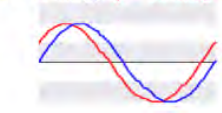


Obr.8. Obrazovka – Vykreslování křivek

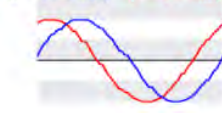
$$x = 10 \cdot \sin(t) \quad y = 10 \cdot \sin(t)$$



$$x = 10 \cdot \sin(t) \quad y = 10 \cdot \sin(t+0,5)$$



$$x = 10 \cdot \sin(t) \quad y = 10 \cdot \sin(t+1)$$

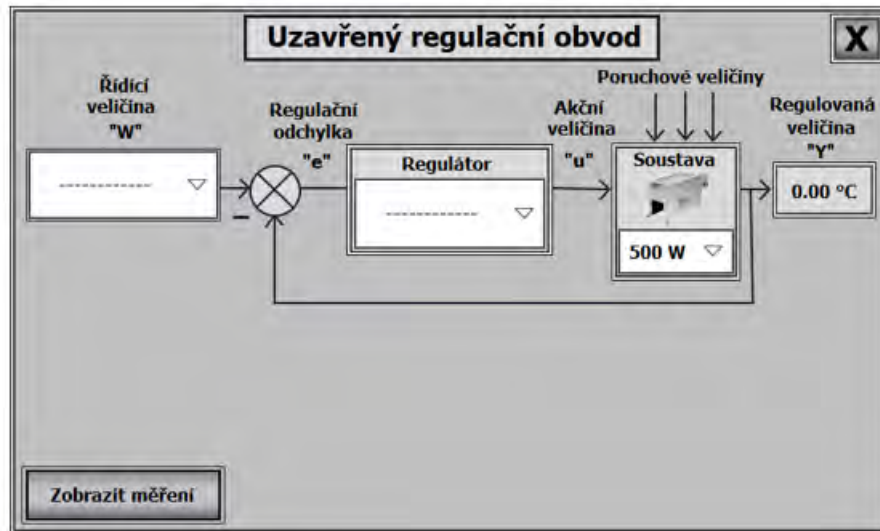


### 2.2.3. Postup studenta

Student si tak na začátku zvolí řídicí „budící“ hodnotu teploty, a to z několika možností pomocí generátoru signálu a poté má za úkol zjistit odezvu neznámé soustavy. Pomocí Lissajuse, či časových průběhů (tedy grafických metod) pak vyhodnocuje chování horkovzdušného tunelu na měnící se požadovanou hodnotu. Grafy jsou ukládány do excelu, z kterého pak student zpracovává protokol. Pro pracování s grafy je popsán podrobný návod v manuálu pro tuto laboratorní úlohu.

### 2.3. Uzavřený regulační obvod

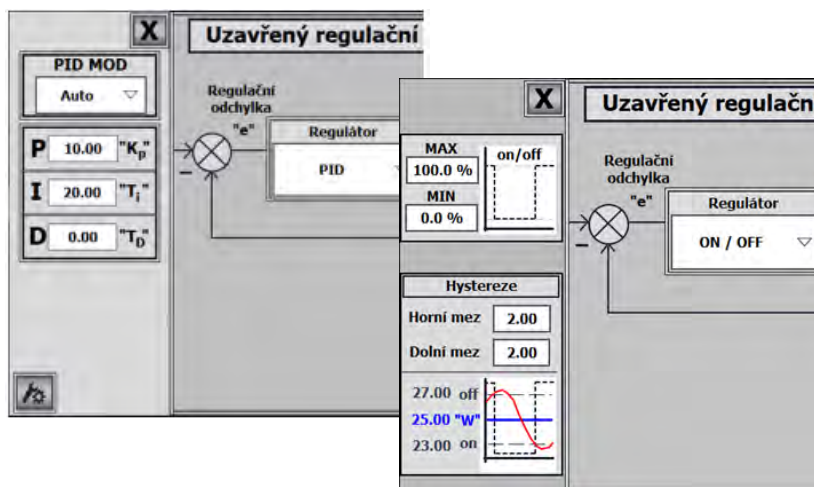
Jedním ze základních znalostí, jakožto studenta automatického řízení, je nastavování a rozpoznání různých typů regulátorů. A o tomto taky tato úloha bude. Úkolem studenta, je zde seřadit nastavování teploty horkovzdušného tunelu dle žádané hodnoty.



Obr.9. Obrazovka – Uzavřený regulační obvod

#### 2.3.1. Možnosti volby regulátoru

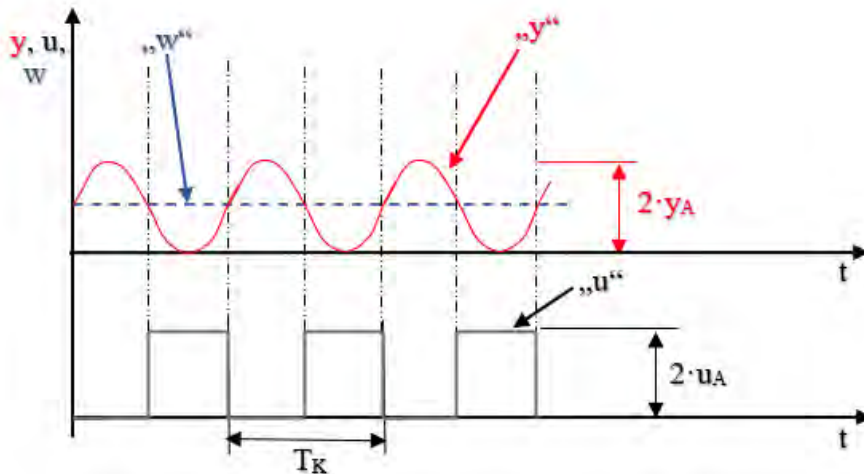
Jako prvotní krok je důležité zvolit správný regulátor. S tím pak studenti pracují a správně jej parametrizují pomocí různých metod. S největším zastoupením v praxi se dá považovat PID regulátor (či jeho modifikace PI, PD, kdy nevyužíváme všechny tři složky). Sice se již nepoužívá jako v dřívějších letech ve formě hardwaru, tedy určitého zařízení, ale dnes se vyskytuje spíše ve formě programové a to tak, že je jeho algoritmus naprogramován v PLC. Velice často používaný regulátor je také typu ON/OFF. Jedná se o primitivnější metodu dvupolohové regulace, avšak často velmi dostačující (např. pro ohřev vody v bojleru, napouštění a vypouštění nádrží). Oba tyto regulátory zde máme a pro laboratorní úlohu využíváme. [6]



Obr.10. Volba regulátoru

### 2.3.2. Typy řízení a seřizování regulátoru

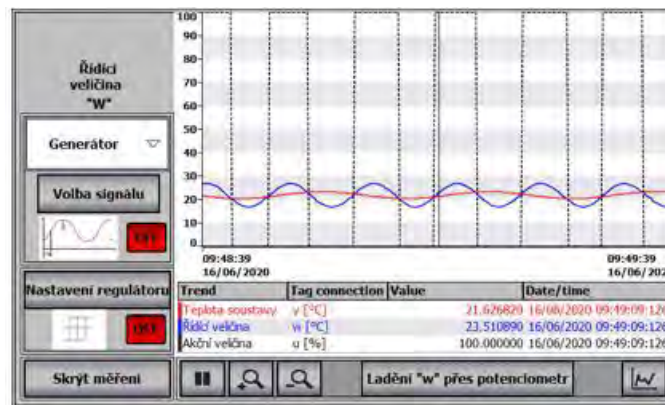
V práci jsou také osvětleny možné přístupy k řízení výstupu daného regulátoru (PWM, či analogový způsob). A to jejich výhody i nevýhody. Nejdůležitějším je zde však metodika nastavování regulátoru. Těchto metod je obrovské množství, a proto jsem popsal pouze pět možných přístupů. Každá metoda je popsána krok, po kroku i s patřičnými grafy a tabulkami. Doporučenou cestu pro studenty jsem však zvolil **Metodu relé Åström-Hägglund**. Tímto způsobem mají možnost využít obou typů regulátoru a pro naši úlohu, je to jedna z nejlepších možností nastavení správného řízení teploty. [3, 6]



Obr.11. Metodika seřizování[3]

### 2.3.3. Postup studenta

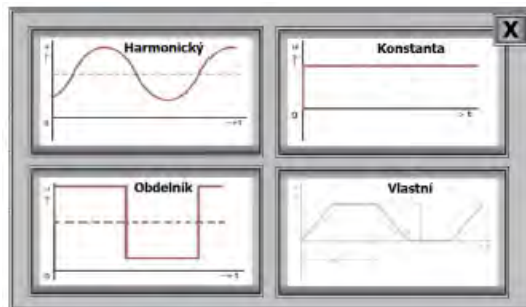
Úloha je dělána tak, aby byla co nejvíce intuitivní. Student si tak na začátku zvolí řídicí „požadovanou“ hodnotu teploty, a to z několika možností pomocí generátoru signálu. Poté přidá patřičný regulátor a může zvolit výkon pece. Pomocí TrendView „Zobrazit měření“ pak vyhodnocuje, jestli PLC nastavuje teplotu dobře, nebo je třeba něco upravit. Graf je přitom ukládán do excelu, z kterého pak student zpracovává protokol. Pro zvědavější studenty jsem zde připravil možnost auto-tuningu a rozsáhlejšího nastavení regulátoru (jenž je nad rámec požadovaných znalostí). Hodnoty řídicí veličiny jdou navíc měnit i po-mocí potenciometru, který je fyzicky přítomen na ovládacím panelu. Díky vykreslování na operátorském panelu tak můžou studenti v reálném čase vidět, jak jejich nastavování mění chování stroje.



Obr.12. Probíhající měření

### 3. Generátor signálu

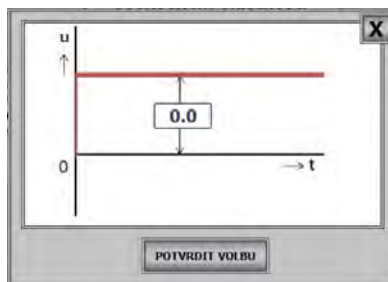
V druhé a třetí laboratorní úloze bylo třeba generovat určitý signál. V případě frekvenčních vlastností to byl „signál budící“ a pro uzavřený regulační obvod zase „žádaná hodnota“. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl vytvořit generátor, který bude mít na výběr ze čtyř plně nastavitelných signálů. Jedná se vlastně o funkční blok FB1, jenž je volán v hlavním organizačním bloku OB1. Jeho vnitřní struktura je napsaná v LAD a SCL jazyce a je ovládán skrze grafické rozhraní HMI ovládacího panelu. Podrobný popis naprogramování je pak vysvětlen v bakalářské práci. Specificky pak pro signál Vlastní, bylo třeba vymyslet vykreslování dané křivky již přímo v editoru, aby uživatel viděl, co přesně do PLC posílá. Hlavní snahou byla jednoduchost zadávání hodnot a jejich přehlednost.



Obr.13. Menu - Generátor signálu

#### 3.1. Konstanta

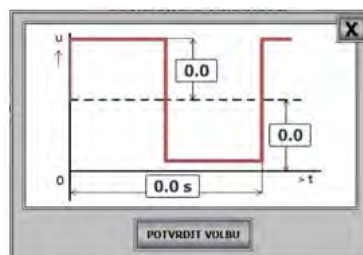
Jedná se o nejjednodušší druh signálu, pouze zde přečteme zadanou hodnotu v HMI, která se však nahraje na výstup generátoru až po stlačení tlačítka „POTVRDIT VOLBU“.



Obr.14. Generátor signálu – Konstanta

#### 3.2. Obdélník

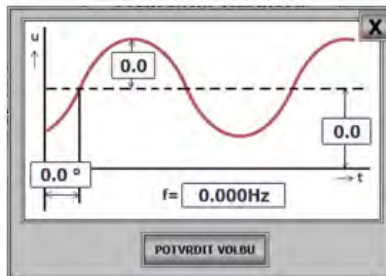
Tento signál je tvořen třemi volenými parametry v HMI (Amplitudou, Offsetem a Periodou). Generátor poté co dostane „POTVRDIT VOLBU“, periodu rozpůlí a v první polovině hodnotu amplitudy k offsetu přičítá a v druhé polovině zase odečítá, přičemž na konci periody časovač vynuluje a jede znovu.



Obr.15. Generátor signálu – Obdélník

### 3.3. Harmonický

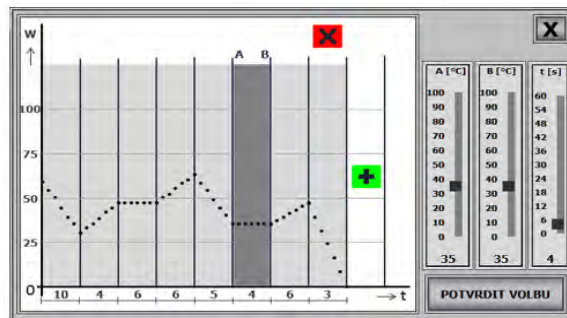
Zde máme sinus, který pracuje přes matematický blok s parametry (Amplituda, Frekvence, Posuv a Offset). Ty spolu tvoří rovnici:  $Y = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + f_0) + b$   
 Veškeré parametry jsou zde vloženy skrze HMI a následným „POTVRDIT VOLBU“ nahrány do generátoru. Fázový posuv je zde přepočten, aby šel zadávat ve stupních.



Obr.16. Generátor signálu – Harmonický

### 3.4. Vlastní

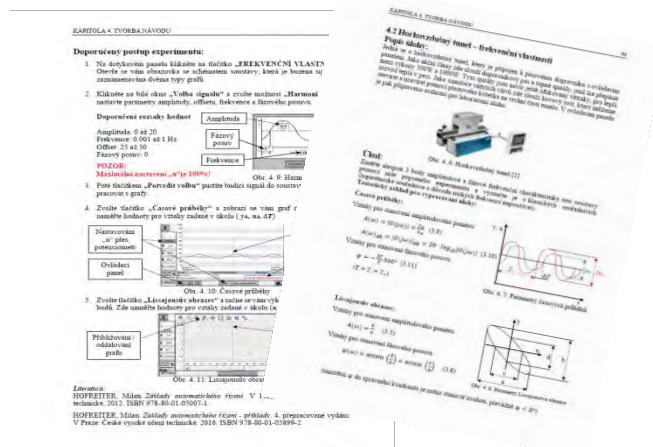
Generátor může mít celkově až devět nastavitelných polí, kde každé pole má maximální periodu trvání 60ti sekund. Tvar signálu je zde tvořen pomocí dvou posuvných jezdců „A, B“, které mají maximální nastavení 100°C). Periodu „t“ také nastavujeme pomocí jezdců, ale je zde pouze v číselné reprezentaci a na tvar křivky signálu v tomto editoru nemá žádný vliv.



Obr.17. Generátor signálu – Vlastní

### 4. Tvorba návodu

Pro každou úlohu je pak vytvořen podrobný návod postupu v laboratoři. Na každou jsou vymyšleny tři úkoly, z kterých se pak vypracovává protokol. Kromě zadání a popisu, je pak přesně popsáno co, a jak se zadává, nebo měří, aby měli studenti v poměrně krátkém časovém úseku laboratorního cvičení vůbec šanci vše stihnout.





Obr.18. Návodů k úlohám

## 5. Závěrečné informace

Pro každou úlohu jsem vytvořil jak samotný program, tak grafické rozhraní v HMI, společně s podrobným návodem do laboratoře. Jelikož samotné FESTO stanice již měly určitý algoritmus v sobě, tak jsem ho zachoval a pouze vše zablokoval. Je zde tak kdykoliv možnost přejít do původního „ukázkového programu“ chodu stanice přímo od výrobce, a to skrze tlačítko na hlavní obrazovce. Přidal jsem zde i další funkce, jakož jsou různé nastavení limitů zadávaných parametrů, simulace a další. Které však nejsou bez zadání hesla přístupny, a to jak z důvodu bezpečnosti, tak i proto, aby se studenti nepustili do něčeho, co po nich není v zadání požadováno. Jsou to tedy spíše funkce pro pokročilejší studenty, když by jim zbyl čas navíc.

## Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS19/158/OHK2/3T/12.

## Literatura

- [1] Heat Tunnel manual. In: *Festo didactic - CP Factory/Lab - Application modules* [online]. Denkendorf: Festo Didactic SE, c2019 [cit. 2019-02]. Dostupné z: <https://ip.festo-di-dactic.com/InfoPortal/CPFactoryLab/data/download.php?model=CP-AM-HEAT&file=manual&lang=en>
- [2] CP Lab Conveyor circuit diagrams. In: *Festo didactic - CP Factory/Lab - Base modules* [online]. Denkendorf: Festo Didactic SE, c2018 [cit. 2018-26-11]. Dostupné z: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/CPFactory-Lab/data/download.php?model=CP-L-CONV&file=cir-cuit-diagram&lang=en>
- [3] ÅSTRO□M, Karl J., Tore HA□GGLUND a Karl J. ÅSTRO□M. *PID controllers*. 2nd ed. Research Triangle Park, N.C.: International Society for Measurement and Control, c1995. ISBN 1-55617-516-7.
- [4] HOFREITER, M.: *Základy automatického řízení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05007-1.
- [5] *Croline Teti*, Introduction to Lissajous Figures. In: *Acade-mia.edu* [online]. University fo California, c2018 [cit. 2018]. Dostupné z: [https://www.acade-mia.edu/37261286/Introduction\\_to\\_Lissajous\\_Figures\\_Exploring\\_Variable\\_Effects\\_in\\_a\\_System\\_of\\_Pa-rametric\\_Equations](https://www.acade-mia.edu/37261286/Introduction_to_Lissajous_Figures_Exploring_Variable_Effects_in_a_System_of_Pa-rametric_Equations)
- [6] VÍTEČKOVÁ, M., VÍTEČEK, A.: *Vybrané metody seřizování regulátorů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2011. ISBN 978-80-248-2503-8.
- [7] Programming guideline for S7-1500. In: <https://support.industry.siemens.com/> [online]. Siemens c2017 [cit. 2017-03]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/90885040/programming-guide-line-for-s7-1200-s7-1500?dti=0&lc=en-CZ>
- [8] ČSN EN 61131-3. *Programovatelné řídicí jednotky – Část 3: Programovací jazyky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2013



**Selected article from**

**Tento dokument byl publikován ve sborníku**

**Nové metody a postupy v oblasti přístrojové  
techniky, automatického řízení a informatiky 2021  
New Methods and Practices in the Instrumentation,  
Automatic Control and Informatics 2021  
15. 9. – 17. 9. 2021, Žatec**

**ISBN 978-80-01-06889-2**

Web page of the original document:

<http://iat.fs.cvut.cz/nmp/2021.pdf>

Obsah čísla/individual articles:

<http://iat.fs.cvut.cz/nmp/2021/>

Ústav přístrojové a řídicí techniky, FS ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6