

Návrh řešení pro SIL simulaci výukové sestavy stroje

Jan Ferkl^{1,*}

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení, Horská 3, 128 00 Praha 2, Česká republika

Abstrakt

Tato práce je věnována návrhu a realizaci software-in-the-loop (SIL) (software vrací zpětnou vazbu softwaru) simulaci výukové sestavy stroje. Zařízením je funkční model pracoviště od firmy Fischertechnik. Ten slouží jako pomůcka při výuce programování PLC. Těžiskem práce je tvorba řídicího programu modelu pracoviště a následně i funkčního simulačního modelu. Práce se nezabývá bezpečností stroje. Úkolem simulace je generovat zpětnou vazbu ovládaného zařízení v případě, že není fyzicky připojeno. To umožňuje testovat řídicí program i mimo prostor pracoviště. V průmyslové praxi by to dále znamenalo umožnění vývoje řídicího programu bez nutnosti čekat na vývoj prototypu stroje. Praktická část byla realizována pomocí programu Siemens TIA Portal, který slouží jako vývojové prostředí PLC programování. Samotná simulace pak byla řešena jako sekundární program běžící paralelně s programem řídicím.

Klíčová slova: PLC; řídicí automat; automatizace; simulace

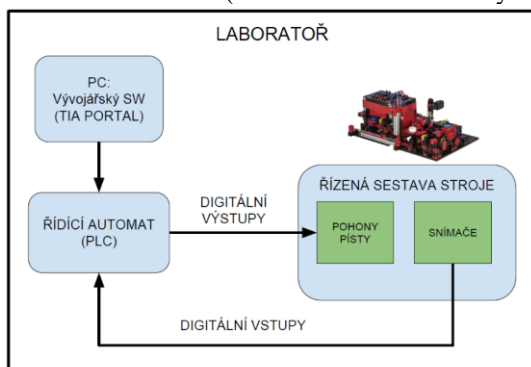
1. Úvod

Tato práce je věnována řešení Software-In-the-Loop simulace výukové sestavy stroje, která slouží jako pomůcka při výuce programování PLC. Motivací k vytvoření simulace je především omezený přístup do laboratoří, kde se zařízení nachází. Dále omezený počet fyzických zařízení. Úkolem virtuálního modelu sestavy je generovat zpětnou vazbu, která bez připojení k fyzickému modelu chybí, a tedy umožnit testování řídicího programu PLC i mimo výuku.

Úvod je věnován stručné charakteristice zařízení. Dále je osvětlen princip simulace SIL a jeho využití v rámci testování řídicího programu zařízení. Následuje představení dostupných způsobů řešení, ale také rozbor výhod a nevýhod konkrétních přístupů včetně výběru vhodného z nich.

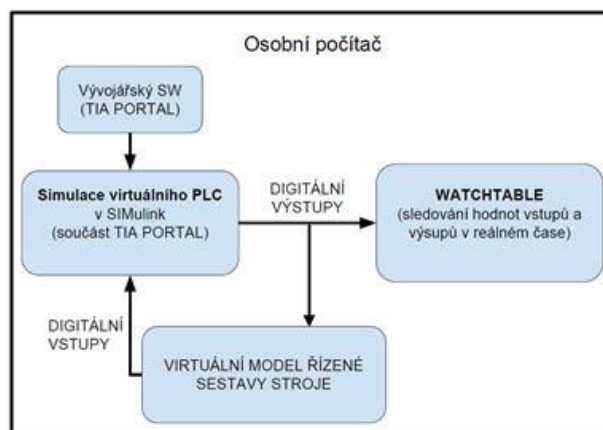
1.1. SIL simulace řízené sestavy stroje

Pro pochopení významu samotné simulace, konkrétně pak simulace SIL, je vhodné nejprve popsat ideální situaci, kdy programátor, píšící řídicí program PLC, má k dispozici veškerá zařízení (PLC včetně HMI a řízený stroj).



Obr. 1-ideální situace

Programátor pracuje na osobním počítači a ve vývojovém prostředí (v případě PLC od firmy Siemens se jedná o program TIA Portal) píše řídicí program, který následně pomocí síťového rozhraní po kompilaci nahraje do PLC. K tomu je kromě osobního počítače také připojeno řízené zařízení, které je osazeno aktory a snímači. Pomocí digitálních výstupů PLC jsou řízeny aktory a naopak zařízení o sobě poskytuje informace ve formě digitálních vstupů generovaných snímači. Pro chod, a tedy i testování řídicího programu je potřeba: PLC, digitální vstupy PLC a možnost ovládat manuálně řízené proměnné (pomocí HMI panelu nebo osobního počítače připojeného k PLC).



Obr. 2-situace vyžadující kompilaci

Simulaci vyžaduje případ, kdy se plnohodnotný chod řídicího programu odehrává pouze v rámci osobního počítače. Vedle TIA Portal firma Siemens také nabízí nástroj určený k softwarové simulaci řídicího automatu zvaný PLCSIM. Do virtuálního PLC je analogickým způsobem jako do PLC skutečného (hardwarového) nahrán řídicí program a pomocí tak zvaných sledovacích tabulek (v anglické verzi TIA Portal „watch tables“) jsou sledovány hodnoty výstupů řídicího programu. Bez připojené sestavy stroje ale chybí hodnoty digitálních vstupů PLC,

* Kontakt na autora:

J.Ferkl@rcmt.cvut.cz

kteří jsou pro chod programu nepostradatelné. Je tedy nutné vytvořit virtuální model řízeného stroje, který bude schopen generovat potřebnou zpětnou vazbu. Celá simulace se odehrává pouze softwarově. Jedná se o simulaci nazývanou Software-In-the-Loop (software ve smyčce, software vrací zpětnou vazbu softwaru). Řešení popsané problematiky a tvorbě virtuálního modelu řízené sestavy stroje je věnována tato práce.

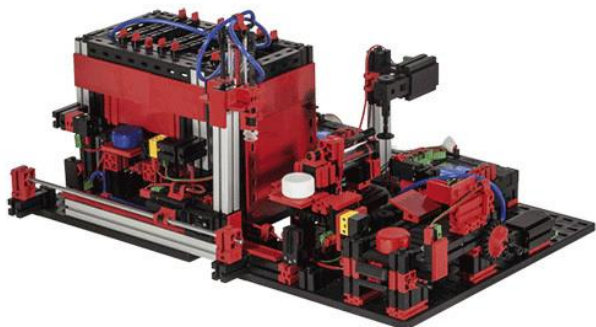
1.2. Motivace

Přínosů simulace je celá řada. Tato krátká kapitola je věnována pouze stručnému nastínění významu simulace při automatizaci průmyslových zařízení. V dosavadní praxi byla tvorba řídicího programu striktně fixována na vznik prototypu případně výsledného zařízení. Možnosti vývoje řídicího programu byly velmi omezené a vázané na konstrukci. Tato skutečnost mnohdy vedla k snižování časových prostředků, které byly pro automatizaci vyhrazeny. Virtuální model vyráběného stroje popsanou problematiku plnohodnotně řeší. Umožňuje pracovat na tvorbě řídicího programu paralelně s vývojem konstrukce.

Při výuce tvorby řídicích programů, konkrétně pak ve školství, zmíněná pozitivita přestávají být zásadní. Výukové modely průmyslových zařízení jsou k dispozici ve finální podobě. Problém je však jejich omezená dostupnost, a to pouze v prostorách školních laboratoří. Dále také omezený počet fyzických PLC. Okamžitá zpětná vazba (možnost spustit psaný program) pro nezkušeného programátora je však velmi přínosná a mimo výuku nedostupná. Simulace SIL umožňuje studentům otestovat vlastní zdrojový kód, a to i v případě, že zařízení není fyzicky přítomné. Ke spuštění napsaného programu pak stačí osobní počítač dostatečně softwarově vybavený pro simulaci PLC a výukové sestavy stroje.

1.3. Výuková sestava stroje

Řízené (a simulované) zařízení je stylizovaný model pracoviště, které se skládá z žíhací pece, podtlakového dopravníku, otočného stolu, frézky a pásového dopravníku. Tato sestava nese katalogové označení „536632 - Multi Processing Station with oven 24V“, výrobcem je německá společnost Fischertechnik. Nutno podotknout, že veškeré aktory a snímače pracují čistě s booleovskými proměnnými.



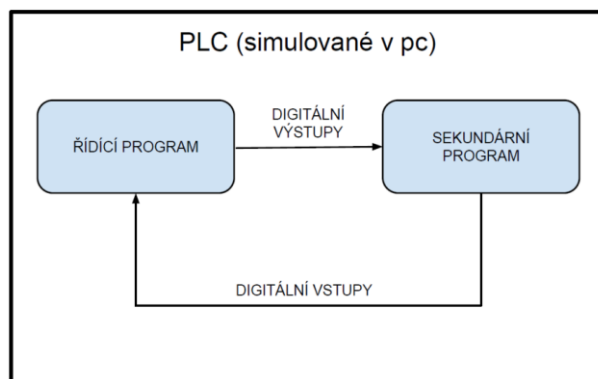
Obr. 3-ovládaná sestava stroje [4]

2. Možnosti řešení

Pro tvorbu virtuálního modelu sestavy stroje, která by sloužila k testování řídicích PLC programů jsou dostupné dva způsoby řešení. Jejich představení, srovnání a následnému výběru jsou věnovány následující kapitoly

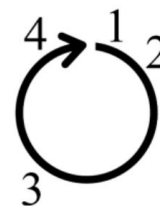
2.1. Sekundární program

První, jednodušší řešení spočívá ve vytvoření sekundárního programu, který by pracoval na pozadí s programem řídicím na stejném virtuálním PLC. Tento program by sledoval výsledky práce programu řídicího a na jejich základě generoval potřebnou zpětnou vazbu. Jinak řečeno: vstupy sekundárního programu jsou výstupy programu řídicího, a naopak výstupní hodnoty sekundárního programu slouží jako hodnoty vstupní pro program řídicí.



Obr. 4-komunikace programů

Řídicí automaty pracují v takttech. Jeden takt řádově trvá desítky až stovky milisekund (zásadní vliv má náročnost vykonávaného programu na výpočetní výkon). Během každého taktu proběhne cyklus složený z dílčích úkonů popsaných v následujícím odstavci. [1]



Obr. 5-takt PLC

Pozice 1 symbolizuje zahájení cyklu, kdy dochází ke čtení vstupních proměnných PLC. V tuto chvíli je vhodné poznamenat, že vykonávané programy sice běží z pohledu uživatele paralelně, ale je možné určit, který z nich v rámci jednotlivých taktů řídicího automatu proběhne přednostně. Po načtení vstupních proměnných následuje vykonávání samotných programů. Je velmi důležité, aby sekundární program (pozice 2) proběhl před zahájením chodu programu řídicího (pozice 3) a stihl tak přepsat digitální vstupy na hodnoty nově vytvořené (simulované). Celý cyklus uzavírá zápis výstupních proměnných PLC (výstup práce řídicího programu; pozice 4).

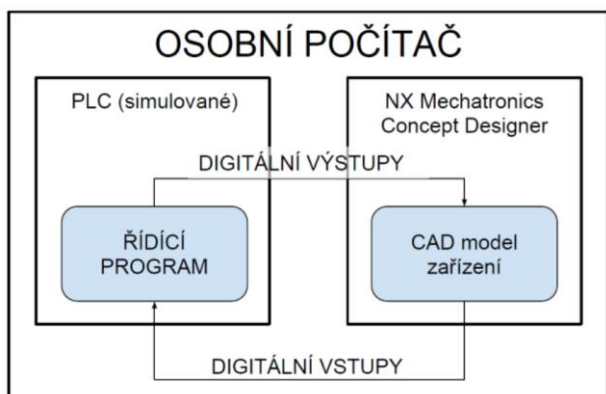
Z principu práce PLC v takttech vyplývá, že hodnoty vstupů se nepřeházejí mezi jednotlivými cykly. Tedy každá hodnota vytvořená sekundárním program pro konkrétní digitální vstup je ukončením taktu ztracena. Z toho důvodu je potřeba pro každý digitální vstup vytvořit pomocnou proměnnou, která disponuje vlastním bitem v paměti PLC, její hodnotu určuje sekundární program a v rámci každého taktu je zapsána do příslušné vstupní proměnné.

Přístup popsáný v této kapitole je účelný. Plnohodnotně splňuje jediný požadavek kladený ze strany programátora automatizace, a sice simulace zpětné vazby zařízení (digitálních vstupů PLC). Mezi výhody zcela jistě patří také nulové zvýšení požadavků na softwarové vybavení osobního počítače uživatele a možnost naprogramování chybových stavů zařízení (vhodné k testování bezpečnosti řídicího programu). (Tato práce neřeší bezpečnost stroje ve smyslu splnění norem!) Virtuální model slouží pouze jako pomůcka při psaní řídicího programu. Tato skutečnost má za důsledek relativně nízké časové nároky na realizaci.

Nevýhodou tohoto řešení je velmi specifické využití. Pro práci se sekundárním programem je nutné prvotní seznámení se skutečným zařízením (a představivost).

2.2. Virtuální zprovoznění

Druhý možný přístup nese název „virtuální zprovoznění“. Spočívá ve vytvoření CAD modelu zařízení (tak zvané virtuální dvojče) ve virtuálním prostředí. Tělesům modelu jsou přiřazeny fyzikální atributy, vazby, pohony, snímače a tak dále. Tento model je identický se zařízením skutečným a je tedy vybaven shodnými aktory a snímači. Realizaci popsaného virtuálního modelu umožňuje software NX Mechatronics Concept Designer (řešení od firmy Siemens). Uvedený program je schopný zohlednit významné fyzikální vlivy, které při provozu působí. Výsledně simulované zařízení je schopné vykonávat shodné úkony jako reálný stroj. Nadefinované snímače pak simulovanému PLC vracejí odpovídající zpětnou vazbu (hodnoty digitálních vstupů PLC).



Obr. 6-virtuální zprovoznění

Virtuální zprovoznění patří mezi nové, progresivní metody v průmyslové praxi, výrazně zlepšuje časové možnosti programátora. Jeho další přínos také spočívá ve zlepšení pozice výrobce zařízení při jednání se zákazníkem. Konkrétní detaily a specifikace zakázky mohou být upřesněny na základě virtuálního zprovoznění, a to bez nutnosti vzniku fyzického prototypu stroje.

Širší využití tohoto řešení má za následek zvýšení nároků, a to jak na vybavenost osobního počítače, tak tvůrce virtuálního dvojčete. Ten se neobejde bez znalosti (vedle TIA Portal) dalšího programu.

2.3. Volba řešení, zdůvodnění

Metoda virtuálního zprovoznění své uplatnění nachází především v průmyslové praxi, kdy výrobce zařízení je schopen na požadavky zákazníka reagovat konkrétními specifikacemi (na příklad strojním časem a NC kódem pro výrobu požadovaného obrobku). Uvedené přínosy ale nenacházejí uplatnění v rámci školní výuky.

Očekávané výsledky naopak velmi dobře splňuje relativně nenáročná řešení situace pomocí sekundárního programu.

Na základě pozitiv a negativ uvedených v kapitolách věnovaných konkrétním způsobům řešení volím přístup nazvaný sekundární program. Pro školní účely považuji řešení „virtuální zprovoznění“ za příliš komplikované a tedy nevhodné. Není žádoucí zvyšovat nároky kladené na zprovoznění simulace, pokud jejím účelem je zpřístupnit testování řídicího programu.

3. Stručné pojednání o praktické části práce

3.1. Řídicí program

Jak již bylo zmíněno, výuková sestava stroje je řízena PLC od firmy Siemens, a to modelem Simatic S7-1500. Samotný řídicí program je pak psán ve vývojářském prostředí TIA Portal v jazyce strukturovaného textu (v prostředí TIA Portal je strukturovaný text označován zkratkou SCL- Structured Control Language). Výše uvedený software je velmi rozsáhlý a univerzální nástroj. Tato práce se zabývá zejména psaním zdrojového kódu řídicího a sekundárního programu. Problematika tvorby projektu a zajištění správné komunikace mezi jednotlivými komponenty (PLC a HMI) v této práci popsána není. Jak již bylo zmíněno, práce se nevěnuje ani splnění bezpečnostních norem.

Vytyčené cíle pro tvorbu řídicího programu korespondují s přítomnými digitálními vstupy (snímači) a výstupy (aktory) PLC, které určují možnosti automatizace. Samozřejmě je využití veškerých přítomných zařízení na pracovišti (celé trati) a zajištění co pokud možná nejplynulej-

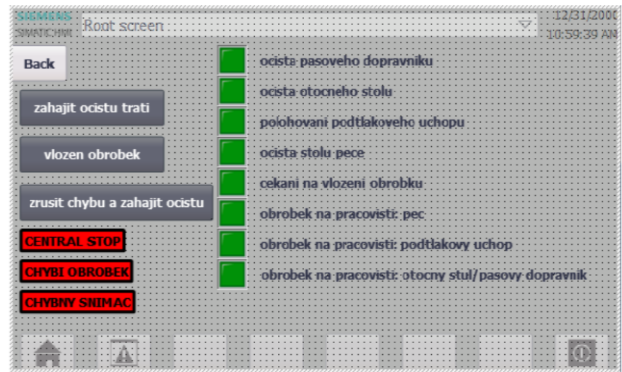
šího provozu. Požadavkem také je možnost vložení druhého obrobku po uvolnění začátku trati (stolu pece). V neposlední řadě by měl být řídicí program bezpečný.

Z důvodu bezpečnosti je v řídicím programu ošetřen i možný chybový stav zařízení. Chybový stav je vyhlášen pokud: doba polohování některé řízené osy je delší než přesně stanovená bezpečná hodnota (ošetření proti nefunkujícímu koncovému snímači); obrobek nedorazil na konec trati; obsluha zmáčkla nouzové tlačítka CENTRAL STOP. Při vyhlášení chyby je nutné, aby se zařízení přestalo pohybovat (jediný pohyb je otevření vrat pece). Také je nutné zajistit, aby kompresor držel podtlak, pokud je spuštěn (a tedy nedošlo k upuštění obrobku převážného podtlakovým dopravníkem) a bylo zastaveno vytápění pece. Poté co obsluha manuálně zruší chybový stav je obrobek odložen na otočný stůl (pokud je uchopen podtlakovým dopravníkem), stůl pece se polohuje na koncové čidlo vně pece a následně je zahájena očista celé trati, která zaručí, že je pracoviště opět připraveno k běžnému provozu.



Obr. 7-řídicí program (očista trati)

Komunikace s obsluhou probíhá pomocí dotykové obrazovky HMI panelu. Při běžném provozu je potřeba aby obsluha stroje ovládala pomocné proměnné řídicího programu, kterými oznamuje určité stavy (na příklad vložení obrobku) nebo příkazy (zahájení očisty trati).



Obr. 8-HMI dotyková obrazovka

3.2. Sekundární program

Sekundární program je řešen stejnými prostředky jako program řídicí. V aplikaci TIA Portal je vytvořen v rámci shodného projektu a je psán stejným programovacím jazykem, tedy strukturovaným textem.

Jak již bylo popsáno v úvodních kapitolách této práce, od sekundárního programu se očekává poskytnutí zpětné vazby řídicímu programu. Jedná se o digitální vstupy PLC, které při standardním zprovoznění generují snímače sestavy stroje. Poskytují informace o poloze jednotlivých zařízení (koncová čidla), ale také o přítomnosti obrobku v daném úseku trati (světelné závory). Nutno zdůraznit skutečnost, že veškeré vstupy PLC jsou proměnné booleovského typu, tedy nabývají pouze hodnot jedna a nula. [2]

Je nutné, aby se simulovaný model svým chováním co nejvíc přiblížil skutečnému. Sekundární program se proto snaží sledovat vztahy mezi jednotlivými aktory a snímači, a to jak logické, tak časové. Při tvorbě simulačního programu byl také kladen důraz na jeho univerzálnost. Programování je činnost velmi tvořivá a simulace musí být schopna reagovat odpovídajícím způsobem na rozdílné řídicí programy vytvořené studenty. [3]

V každém okamžiku je potřeba zajistit, aby simulované hodnoty všech proměnných korespondovaly s chováním skutečného zařízení. Sekundární program proto na rozdíl

od řídicího už není rozdělen do jednotlivých kapitol (které se navzájem volají a ukončují), ale je aktivní celý zdrojový kód. Jedinou podmínkou je pak hodnota jedna proměnné „go_01_man_sim“. Tato podmínka dovoluje vypnout simulaci při zprovoznění projektu na skutečném PLC s připojenou sestavou stroje.

Zdrojový kód je psán v odstavcích, kde každý odstavec odpovídá konkrétnímu digitálnímu vstupu. Úzce svázané pak jsou snímače shodného zařízení (na příklad pár koncových snímačů stolu pece).

První ze tří možných chybových stavů je zmáčknutí nouzového tlačítka CENTRAL STOP. Jeho pomyslné zmáčk-

nutí a uvolnění ovládá uživatel simulace pomocí proměnných „g_01_CENTRAL_STOP_zmacknout“ a „g_01_CENTRAL_STOP_uvolnit“.

Druhý chybový stav, který je možné při simulaci vyvolat

je neprojetí obrobku světelnou závorou na konci trati. Projetí obrobku je v sekundárním programu zajištěno automaticky. Tento vztah lze manuálně vypnout a tím vyvolat chybový stav, který v běžném provozu znamená ztrátu nebo uvíznutí obrobku během práce některého ze zařízení pracoviště.

Poslední chybový stav je selhání zpětné vazby pracoviště. Je spuštěn modifikací proměnné „g_01_man_funkce_di“ na hodnotu nula. Tento stav brání dosažení hodnot příslušných pomocných proměnných do digitálních vstupů a ty tak nabydou hodnotu nula.

4. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a zrealizovat vhodné řešení virtuálního SIL modelu výukové sestavy stroje. Tento model umožňuje ladění řídicího PLC programu, a to bez fyzického připojení k výukové sestavě stroje. Virtuální model, kterým se zabývá tato závěrečná práce, je určen jako pomůcka při výuce programování PLC. Stěžejním přínosem je možnost testovat řídicí program i mimo prostory laboratoře školy.

Rešeršní část je věnována popisu dostupných řešení, ze kterých bylo následně jedno vybráno a zpracováno. Konkrétně pak řešení problematiky pomocí simulačního PLC programu, který běží na pozadí programu řídicího. Byla vybrána jedna ze sestav, kterými je laboratoř vybavena. Na této stavebnici následně proběhla realizace zadaných cílů práce. Byl zhotoven virtuální model, který je možné použít pro návrh a testy řídicího PLC programu, a to bez připojení k fyzickému zařízení. Pro chod takového modelu je nezbytné vytvořit i samotný řídicí program, kterým se tato práce také zabývá. Vypracovaný program byl opatřen komentáři a byl zhotoven uživatelský návod.

Seznam zkratk

HMI Human Machine interface
 PLC Programmable logical controller
 SIL Software-in-the-loop

Literatura

[1] Šmejkal, Ladislav. Časopis Automa Esperanto programátorů PLC: programování podle normy IEC/EN 61131-3 (část 1). automa.cz. [Online] [Citace: 2. 5 2017.] http://automa.cz/cz/casopis-clanky/esperanto-programatoru-plc-programovani-podle-normy-iec/en-61131-3-cast-1-2011_08_44606_5601/

[2] Mosaic - Programování dle IEC-61131-3. www.tecomat.com. [Online] 11 2007. [Citace: 11. 5 2017.] http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOCS/cze/TXV0032_1_01_Mosaic_ProgIEC_cz.pdf

[3] Berger, Hans. Automating with SIMATIC S7-1500: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional. s.l. : Publicis, 2014.978-3895784040

[4] 536632 - Multi Processing Station with oven 24V - HELAGO-CZ, s.r.o. helago-cz.cz. [Online] [Citace: 8. 5 2017.] <https://www.helagocz.cz/eshop-536632-multi-processing-station-with-oven-24v.html>