

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Prediktivní řízení založené na modelu pro průmyslovou tavicí pec
Jméno autora:	Filip Vodňanský
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra řídicí techniky
Oponent práce:	Ing. Pavel Trnka, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Honeywell International, Advanced Technology Europe, Aerospace

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	průměrně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Matematická formulace různých variant prediktivního řízení a následná softwarová implementace jsou poměrně náročné, ale to je kompenzováno tím, že zadání zůstává pouze u simulací.	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Všechny body zadání byly splněny.	

Zvolený postup řešení	částečně vhodný
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Cílem práce podle zadání je navrhnout prediktivní řízení pro tavicí pec, které má udržovat výstupní teplotu taveniny a minimalizovat ekonomické náklady. Zvolený postup tento cíl řeší pouze částečně. Řeší pouze jeho druhou část a to optimální plánování energetického mixu mezi plyn a elektřinu (power split scheduling) s časově proměnnou cenou a s možností akumulace tepelné energie (Economic MPC).	
První část problému je regulace teploty, která v tomto případě od regulátoru vyžaduje kompenzaci externích poruch (disturbance rejection), kterými jsou především změna v přísunu materiálu k roztavení a změna v odběru taveniny. Obecně je to kompenzace proměnné tepelné zátěže pece. Navržený prediktivní regulátor bude mít při změně tepelné zátěže (při její odchylce od linearizačního bodu) konstantní ustálenou regulační chybu teploty a to i navzdory použití diferenčních penalt na výkony plynu a elektřiny. Pro regulaci teploty bez konstantní poruchy je třeba prediktivní regulátor rozšířit o pozorovatel tepelné zátěže (disturbance observer). Podobný problém bude s neshodou mezi modelem a skutečným systémem. Neshoda v dynamice bude způsobovat degradaci kvality řízení v přechodových režimech, což je přijatelné, ale problémem může být chyba v zesílení modelu (výchvěvnost plynu), což bude opět způsobovat konstantní ustálenou regulační chybu teploty. Řešení zmíněného problému nebude složité. Bude k němu stačit doplnit model na vhodných místech o integrátory a navrhnout jednoduchý pozorovatel stavu.	
Postup řešení druhé části problému (Economic MPC) je zvolený vhodně.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce je po odborné stránce kvalitní.	
<ul style="list-style-type: none"> • (Strana 14) Co to znamená "(non)linearly changing reference"? • (Strana 14) "If we decide to keep it as a variable we get so called dense (sequential) MPC and in the other case sparse (simultaneous) MPC." Není to přesně obráceně? • (Strana 29) Figure 4.4 "Block size" neodpovídá popisu v textu. 	

- (Strana 32) Figure 4.12, Proč se hodnota „Remaining gas“ skokově zvýší v čase "Mar 13, 06:00"?
- (Page 36) Formulaci levé strany nerovnostního omezení chybí škálovací koeficient.
- (Page 38) Formulaci levé strany nerovnostního omezení (4.9) chybí škálovací koeficient.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

B - velmi dobře

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je vypracovaná v anglickém jazyce. Některé větné formulace jsou hůře srozumitelné a obecně by si práce zasloužila jazykovou korekturu. Typografické zpracování je bez výhrad.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Způsob citování je v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Práce je solidním základem, na kterém se dá v budoucnu postavit ekonomicky zajímavé řešení praktického problému.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Navržený prediktivní regulátor tavicí pece sice neřeší problém regulace samotné teploty, jak bylo výše vysvětleno, ale za to vhodně řeší problém ekonomicky optimálního plánování energetického mixu mezi plyn a elektřinu s časově proměnnou cenou a s možností akumulace tepelné energie. Úloha vyžadovala vyřešit formulaci netriviálních omezení na výkonovou a energetickou spotřebu a dále navrhnout řešení redukcující výpočetní náročnost úlohy plánování na dlouhém horizontu. Práce je solidním základem, na kterém se dá v budoucnu postavit ekonomicky zajímavé řešení praktického problému.

Otázky (v případě možnosti předběžné přípravy):

- 1) Můžete porovnat ekonomickou úsporu prediktivního řízení ve srovnání se strategií, která by maximálně využívala aktuálně levnější zdroj? Alespoň v případě bez možnosti akumulace.
- 2) Ukažte, že při prediktivní regulaci triviálního systému $\mathbf{x}_{t+1} = -\mathbf{a}\mathbf{x}_t + \mathbf{a}\mathbf{u}_t + \mathbf{a}\mathbf{v}_t$ na nulový stav, bude ustálená chyba regulace nenulová, pokud nemeřená porucha \mathbf{v}_t bude mít nenulovou konstantní hodnotu. Zdůvodněte, proč prediktivní regulátor ustálenou chybu nevykompenzuje a to ani v případě kdy použijete penalty na vstupů (zdánlivě integrační charakter).

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Datum: 6.5.2023

Podpis: