POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Model Predictive Control for Buildings with the One-pipe Hydronic Heating**
Jméno autora:	**Bc. Jan Předota**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra kybernetiky
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Dostál
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra řídicí techniky

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **náročnější**

Zvolené téma zasahuje do problematiky fyzikálního modelování toků kapalin, termodynamiky, matematického programování a dynamických systémů.

Splnění zadání **splněno s menšími výhradami**

Student prokázal, že se dokáže zorientovat v problematice teplovodních topných systémů, které popisuje v kapitole dva a tři. Ve třetí kapitole jsou též formulovány úlohy pro optimální návrh jednotrubkové teplovodní sítě v ustáleném stavu. Následující kapitoly jsou věnovány optimálnímu řízení vytápění pomocí prediktivního regulátoru (MPC). Pro účely nelineárního MPC byl model rozšířen o možnost formulace gradientu s pomocí nástroje pro automatickou diferenciaci, což vedlo k významnému zkrácení výpočetního času a rozšíření řešitelnosti pro složitější kritéria.

V práci bych ocenil o trochu hlubší formulaci MPC a diskuzi nad řešitelností nelineárního MPC. Rovněž validace na hi-fidelity modelu by mohla patrněji poukazovat, zda je zvolené řešení praktické použitelné.

Zvolený postup řešení **A - výborně**

Strukturu řešení hodnotím kladně. Z práce je patrný systematický přístup k řešení zadaného problému.

Odborná úroveň **B - velmi dobře**

Přes menší nedostatky, které uvádím v komentáři v závěru posudku, je práce velmi dobrá.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **C - dobře**

Posuzovaná diplomová práce je psána v anglickém jazyce a až na pár výjimek je dobře srozumitelná. Upozornil bych především na četné gramatické chyby u přivlastňovacího pádu neživotných podstatných jmen. Úroveň jazyka hodnotím subjektivně úrovní FCE.

Technicky bych upozornil na nepřesné formulace typu: „..interior-method was found to perform the best by far," či „..mathematically by several orders of magnitude more difficult (model)."

Výběr zdrojů, korektnost citací **A - výborně**

Formát citací hodnotím kladně.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Student dovedl systematicky zpracovat rozsáhlé téma prediktivního řízení v jednotrubkové otopné soustavě. Od formulace návrhového kritéria pro výběr velikosti otopných těles, až po formulaci složité nelineární optimalizační úlohy, kterou navíc dokázal efektivně vyřešit s pomocí automatických gradientů.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře.**

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Otázky:

- Pro účely regulace (MPC) byl zvolen dynamický model, který vychází z dynamiky místnosti dané její tepelnou kapacitou. Jak velká by byla tepelná kapacita uvažovaného otopného tělesa (přibližně) vzhledem k tepelné kapacitě místnosti? A jak by uvažovaná dynamika otopného tělesa ovlivnila složitost nelineárního MPC?
- Jakým způsobem byl inicializován solver pro nelineární MPC? Ovlivnila tato inicializace někdy řešitelnost úlohy?

Komentář k DP

Druhá kapitola obsahuje stručný úvod k teplovodnímu vytápění a popisuje a srovnává různé typy zapojení otopných těles.

Ve třetí kapitole jsou popsány základy přenosu tepla a je odvozen model výměníku. Dále je definován způsob sériového řazení výměníků pro následující příklady statické optimalizace. Cílem kapitoly je analyzovat ustálený stav v jednotrubkové otopné soustavě z hlediska optimálního nastavení primárních a sekundárních toků soustavou, resp. návrhové teploty zdroje topné vody či velikosti otopných ploch.

Mimo zmíněné tři optimalizační úlohy bych ocenil též kritérium, které bude vycházet přímo z minimalizace nákladů na vytápění. Například kombinace účinnosti kondenzačního kotle a ceny energie na pumpování vody. Nesprávně je uváděna účinnost kotle jako funkce rozdílu teplot na vstupu a výstupu. Správně jde spíše o funkci teploty zpátečky (viz. kondenzační teplota spalin) a výkonu kotle.

V kapitole čtyři jsou na simulačních příkladech předvedeny zmíněné formulace statických optimalizačních úloh. V obrázku 4.2 nesedí zmiňované omezení průtoku vody v primárním okruhu na jednu čtvrtinu. Jinak příklady hezky demonstrují návrhová kritéria jednotrubkové otopné soustavy.

Kapitola pět začíná obecným popisem prediktivního regulátoru (MPC), ale definován je konkrétní MPC problém pro lineární systémy s kvadratickým kritériem. Dále je představen zjednodušený dynamický model zóny. Za hůře formulovaný považuji způsob představení modelu pro více zón, který využívá matice sousednosti.
Kapitola pokračuje formulací lineárního MPC pro centralizovaný systém (více zón) se „soft" omezením a „range control." Zde je trochu zavádějící význam proměnné „**u**," která zřejmě plně nekoresponduje s výše definovanou proměnnou (5.7). Zároveň není jasné, co jsou optimalizované proměnné.
V části 5.3 je uvedená formulace nelineární verze MPC. Opět by bylo čtenářsky příjemnější zdůraznit, co jsou optimalizované proměnné. V rovnici 5.14 je pravděpodobně chybně uvedeno „m_p(k)" jako vektorová veličina.

Šestá kapitola obsahuje simulační příklady s aplikací MPC. Kladně hodnotím využití CasADi pro konstrukci gradientů.

- Z obrázku 6.1 nejsou dobře patrné začátky a konce jednotlivých zdí.
- Již zmíněná matice sousednosti (6.2) zde příliš nepřispívá k pochopení a je spíše vytržená z kontextu.
- Obrázek 6.2 by si zasloužil úpravu měřítka, aby byly viditelné změny v set-pointech.
- Validace na modelu: simulace ve zpětné vazbě zobrazují **pouze průběhy teploty v místnostech**. Chybí zobrazení akčního zásahu – nezbytné pro alespoň částečné posouzení kvality řízení.

Datum: 16.5.2018 Podpis:

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	**Model Predictive Control for Buildings with the One-pipe Hydronic Heating**
Jméno autora:	**Bc. Jan Předota**
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra kybernetiky
Oponent práce:	Ing. Jiří Řehoř
Pracoviště oponenta práce:	Honeywell Laboratory, Honeywell, spol. s r.o.

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání — **náročnější**

Zvolené téma zasahuje do problematiky fyzikálního modelování toků kapalin, termodynamiky, matematického programování a dynamických systémů.

Splnění zadání — **splněno s menšími výhradami**

Student prokázal, že se dokáže zorientovat v problematice teplovodních topných systémů, které popisuje v kapitole dva a tři. Ve třetí kapitole jsou též formulovány úlohy pro optimální návrh jednotrubkové teplovodní sítě v ustáleném stavu. Následující kapitoly jsou věnovány optimálnímu řízení vytápění pomocí prediktivního regulátoru (MPC). Pro účely nelineárního MPC byl model rozšířen o možnost formulace gradientu s pomocí nástroje pro automatickou diferenciaci, což vedlo k významnému zkrácení výpočetního času a rozšíření řešitelnosti pro složitější kritéria.

V práci bych ocenil o trochu hlubší formulaci MPC a diskuzi nad řešitelností nelineárního MPC. Rovněž validace na hi-fidelity modelu by mohla patrněji poukazovat, zda je zvolené řešení praktické použitelné.

Zvolený postup řešení — **A - výborně**

Strukturu řešení hodnotím kladně. Z práce je patrný systematický přístup k řešení zadaného problému.

Odborná úroveň — **B - velmi dobře**

Přes menší nedostatky, které uvádím v komentáři v závěru posudku, je práce velmi dobrá.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce — **C - dobře**

Posuzovaná diplomová práce je psána v anglickém jazyce a až na pár výjimek je dobře srozumitelná. Upozornil bych především na četné gramatické chyby u přivlastňovacího pádu neživotných podstatných jmen. Úroveň jazyka hodnotím subjektivně úrovní FCE.

Technicky bych upozornil na nepřesné formulace typu: „..interior-method was found to perform the best by far," či „..mathematically by several orders of magnitude more difficult (model)."

Výběr zdrojů, korektnost citací — **A - výborně**

Formát citací hodnotím kladně.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Student dovedl systematicky zpracovat rozsáhlé téma prediktivního řízení v jednotrubkové otopné soustavě. Od formulace návrhového kritéria pro výběr velikosti otopných těles, až po formulaci složité nelineární optimalizační úlohy, kterou navíc dokázal efektivně vyřešit s pomocí automatických gradientů.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře.**

POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Otázky:

- Pro účely regulace (MPC) byl zvolen dynamický model, který vychází z dynamiky místnosti dané její tepelnou kapacitou. Jak velká by byla tepelná kapacita uvažovaného otopného tělesa (přibližně) vzhledem k tepelné kapacitě místnosti? A jak by uvažovaná dynamika otopného tělesa ovlivnila složitost nelineárního MPC?
- Jakým způsobem byl inicializován solver pro nelineární MPC? Ovlivnila tato inicializace někdy řešitelnost úlohy?

Komentář k DP

Druhá kapitola obsahuje stručný úvod k teplovodnímu vytápění a popisuje a srovnává různé typy zapojení otopných těles.

Ve třetí kapitole jsou popsány základy přenosu tepla a je odvozen model výměníku. Dále je definován způsob sériového řazení výměníků pro následující příklady statické optimalizace. Cílem kapitoly je analyzovat ustálený stav v jednotrubkové otopné soustavě z hlediska optimálního nastavení primárních a sekundárních toků soustavou, resp. návrhové teploty zdroje topné vody či velikosti otopných ploch.

Mimo zmíněné tři optimalizační úlohy bych ocenil též kritérium, které bude vycházet přímo z minimalizace nákladů na vytápění. Například kombinace účinnosti kondenzačního kotle a ceny energie na pumpování vody. Nesprávně je uváděna účinnost kotle jako funkce rozdílu teplot na vstupu a výstupu. Správně jde spíše o funkci teploty zpátečky (viz. kondenzační teplota spalin) a výkonu kotle.

V kapitole čtyři jsou na simulačních příkladech předvedeny zmíněné formulace statických optimalizačních úloh. V obrázku 4.2 nesedí zmiňované omezení průtoku vody v primárním okruhu na jednu čtvrtinu. Jinak příklady hezky demonstrují návrhová kritéria jednotrubkové otopné soustavy.

Kapitola pět začíná obecným popisem prediktivního regulátoru (MPC), ale definován je konkrétní MPC problém pro lineární systémy s kvadratickým kritériem. Dále je představen zjednodušený dynamický model zóny. Za hůře formulovaný považuji způsob představení modelu pro více zón, který využívá matice sousednosti.
Kapitola pokračuje formulací lineárního MPC pro centralizovaný systém (více zón) se „soft" omezením a „range control." Zde je trochu zavádějící význam proměnné „**u**," která zřejmě plně nekoresponduje s výše definovanou proměnnou (5.7). Zároveň není jasné, co jsou optimalizované proměnné.
V části 5.3 je uvedená formulace nelineární verze MPC. Opět by bylo čtenářsky příjemnější zdůraznit, co jsou optimalizované proměnné. V rovnici 5.14 je pravděpodobně chybně uvedeno „m_p(k)" jako vektorová veličina.

Šestá kapitola obsahuje simulační příklady s aplikací MPC. Kladně hodnotím využití CasADi pro konstrukci gradientů.

- Z obrázku 6.1 nejsou dobře patrné začátky a konce jednotlivých zdí.
- Již zmíněná matice sousednosti (6.2) zde příliš nepřispívá k pochopení a je spíše vytržená z kontextu.
- Obrázek 6.2 by si zasloužil úpravu měřítka, aby byly viditelné změny v set-pointech.
- Validace na modelu: simulace ve zpětné vazbě zobrazují **pouze průběhy teploty v místnostech**. Chybí zobrazení akčního zásahu – nezbytné pro alespoň částečné posouzení kvality řízení.

Datum: 16.5.2018 Podpis: