

Oponentský posudek na habilitační práci Ing. Lukáše Ferkla, Ph.D.

Název habilitační práce: **Identification and Control of Large Scale Systems**

Předkládá: **Ing. Lukáš Ferkl, Ph.D.**, Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze

Oponent: prof. Ing. Roman Prokop, CSc., Fakulta aplikované informatiky UTB ve Zlíně.

Obor habilitace: Technická kybernetika

Téma práce a aktuálnost zkoumané problematiky.

Autor Ing. Lukáš Ferkl, Ph.D. předložil habilitační práci **Identification and Control of Large Scale Systems**, která se zabývá metodami pro identifikaci a řízení rozlehlých systémů. Autor využil §72 odst. 3 Zákona o VŠ č.111/98 Sb. pro formu habilitační práce jako „soubor uveřejněných vědeckých nebo inženýrských prací doplněný komentářem“. Vlastní komentář v rozsahu 6 stran je napsán v anglickém jazyce. Dále je uvedena bibliografie s 11 vlastními publikacemi. Přílohy pak obsahují 11 publikací, které nejsou totožné s uvedenými v referencích. V přiložených 11 publikacích je prvním autorem ve třech případech, u dalších je třetím nebo čtvrtým spoluautorem.

Zvolené metody zpracování a dosažené výsledky.

Z publikovaných prací je zřetelné, že autor mnoho let zdařile aplikuje metody modelování, identifikace, řízení a optimalizace pro procesy, jež se vyskytují u ventilace tunelů, vytápění budov, chlazení nebo spalování. Vesměs se jedná o aktivity, které jsou v dnešní době žádané a které přinášejí nemalé finanční a ekonomické efekty. Z pohledu teorie systémů jsou studovány a aplikovány modely statické, dynamické, mnohorozměrné a rozlehlé. Identifikační principy reprezentují pojmy „subspace identification“, autoregresní modely, statistické metody, metoda nejmenších čtverců. V pojmech teorie automatického řízení dominuje „Model-based Predictive Control“, ale také „Youla-Kučera“ parametrizace nebo nelineární zpětná vazba. Jednotlivé publikace jsou v komentáři svázány s jednotlivými pojmy a také s referencemi na zdroje, z nichž autoři publikací čerpali. Dále autor uvádí spolupráci s řadou osob a institucí. Z významných pracovišť, která jednoznačně s náplní práce souvisí, kromě mateřské FE ČVUT lze jmenovat Twente universiteit, KU Leuven, ETH Zürich, NTNU Trondheim, z firem Energocentrum Plus, Feramat Cybernetics, ICADE, GmbH a další. Výsledky aktivit a příslušné publikace byly podporovány řadou grantů, které jsou také vyjmenovány.

Dále v komentáři jsou uvedeny příklady využití. První je aplikace tunelové ventilace pro budovaný tunel Blanka, druhým je řízení tepla v budovách.

Hodnocení uvedených publikací a připomínky.

Habilitační práce je koncipována jako výsledek celé etapy teoretické a programové výzkumné činnosti autora a kolektivu, se kterým spolupracoval. Autor uvádí 11 publikací, z nichž 4 časopisecké mají nezanedbatelný impact factor. Jedná se o Tunnelling and underground space technology, Building and environment, Energy and building. Uvádí 27 citací. Ostatní jsou konferenční příspěvky, většina kvalitní řady IEEE, v jenom případě se jedná o „invited lecture“. V databázi Scopus má autor uvedeno 14 publikací, z toho 7 na prvním místě s 28

citacemi. Databáze Web of Science uvádí 12 publikací (5 na prvním místě), 17 citací (11 bez autocitací) s průměrem 1.42 a h-indexem 3. Lze konstatovat, že uvedených 11 publikací je velmi kvalitních, příslušné časopisy a konference zaručují přísné a korektní recenzní řízení.

Připomínky a podněty k textu habilitační práce:

1. Postrádám úplný seznam vlastních prací autora. V přiložených 11 publikacích není zřetelný vlastní podíl Ing. L. Ferkla. U většiny publikací není předkladatel prvním autorem a není zřetelný jeho osobní přínos.
2. Za značný nedostatek pokládám přílišnou stručnost komentáře. Zde se ani tak nejedná o počet stránek, ale o systémové zhodnocení výsledků v jednotlivých oblastech jako modelování, identifikace, statická optimalizace, zpětnovazební nebo optimální řízení apod.
3. Doporučoval bych korektnější hodnocení aplikací. Jedná se např. o část 4.2, která je popsána 8 řádky, odvolává se na přílohu C a na probíhající aplikace v současné době (tunel Blanka).
4. Chybí mi jakékoliv informace o pedagogické činnosti autora. Chápu, že mohou být uvedeny ve zvláštní tabulkové příloze, přesto přehled formulovaný stručným výčtem by mohl být součástí komentáře.
5. Domnívám se, že přehledy uvedené na www stránkách autora mohly být také součástí předložené práce.

Význam práce pro teoretický rozvoj oboru a praxi.

Předložená práce a vůbec veškerá autorova vědecká aktivita představuje důležitý příspěvek pro oblast analýzy a řízení rozlehlych systémů. Mezinárodní činnost, spolupráce s věhlasnými osobnostmi i institucemi, vědecký ohlas mají nespornou úroveň i v mezinárodním měřítku. Aplikační přístup využitý v mnoha publikacích je teoretickým, vědeckým a metodickým přínosem pro rozvoj dané problematiky a to s nesporným mezinárodním ohlasem. Doporučuji však doplnění vlastního přínosu autora a uvedení jeho pedagogických aktivit.

Závěr.

Závěrem konstatuji, že publikace v předložené habilitační práci Ing. Lukáše Ferkla Ph.D. prokazují vysokou vědeckou erudici autora a schopnosti využít teoretické poznatky v praxi. Práce splňuje požadavky kladené podle Zákona o vysokých školách č.111/98 Sb. (§ 72 odst. 3), doporučuji ji k obhajobě v oboru Technická kybernetika.

Ve Zlíně 2.3.2012

prof. Ing. Roman Prokop, CSc.

**Oponentský posudek habilitační práce
pana Ing. Lukáše Ferkla Ph.D.
s názvem
Identification and Control of Large-Scale Systems**

Následující posudek byl vypracován na základě dopisu č.j. 62/3951/12 pana prof. Ing. Zbyňka Škvora, CSc. proděkana pro doktorské studium a výzkum Fakulty elektrotechnické ČVUT.

Z několika možných forem habilitační práce, které připouští Zákon o vysokých školách, byla zvolena varianta podle § 72, odst. 3 b) soubor uveřejněných vědeckých prací nebo inženýrských prací doplněný komentářem. Základem práce je tak soubor celkem jedenácti časopiseckých a konferenčních příspěvků publikovaných v letech 2007 až 2011. Celkový dojem z tohoto souboru textů je již při prvním pohledu velmi dobrý. Časopisecké články byly publikovány v časopisech s přiřazeným impact faktorem vydávaných renomovaným nakladatelstvím Elsevier. Konferenční příspěvky pocházejí z valné většiny z významných konferencí, jejichž hlavním či jediným pořadatelem je IEEE. Jedná se tedy o konference velmi slušné kvality.

Již po přečtení komentáře a letmém pohledu na seznam prací se však přímo vnučuje následující připomínka. Jedná se vesměs o práce s minimálně dvěma autory, většinou je však autorů ještě více. To je samo o sobě zcela v pořádku, protože popsané výsledky rozhodně nelze dosáhnout bez rozsáhlé týmové spolupráce. Domnívám se však, že by komentářová část práce měla obsahovat nějaké explicitnější rozlišení toho, co je autorovým vlastním přínosem v jednotlivých článcích, a co je výsledkem práce jeho spoluautorů.

Jakýkoliv rozsáhlejší soubor publikací bude obvykle do jisté míry heterogenní. V případě posuzované práce však lze říci, že problematika identifikace a řízení rozsáhlých systémů uvedená v názvu práce skutečně je leitmotivem sjednocujícím zaměření většiny textů tohoto souboru. Poněkud se vymyká pouze článek „Probabilistic risk assessment of highway tunnels“, který je primárně zaměřen na otázku analýzy rizik, a jehož souvislost s identifikací a řízením je jen velmi okrajová. Vhodnost jeho zařazení do celku práce proto pokládám za spornou. Sám kvalitu tohoto článku v podstatě ani nemohu přímo posoudit, protože z mého pohledu je to text z jiného oboru, který nespadá do oblasti mého odborného vzdělání ani zájmu.

Ostatní texty se již přímo dotýkají identifikace a řízení dálničních tunelů a topních a chladicích systémů velkých budov, tedy technických zařízení, která lze řadit do kategorie rozsáhlých systémů. V některých případech je toto zařazení nicméně rovněž poněkud diskutabilní. Pokud je třeba prováděno řízení topného systému jednoho bloku budovy ČVUT na základě měření teploty v jedné referenční místnosti a několika pomocných teplot, je to jistě poměrně složitá regulační úloha. Je však řešitelná a evidentně také řešená pomocí jednoho centrálního regulátoru pro příslušný blok a nedomnívám se, že by vyžadovala využití nějakých zvláštních technik vyvinutých specificky pro rozsáhlé systémy. To však nevidím jako zcela zásadní problém. Již proto ne, že samotný pojem rozsáhlého systému lze definovat různými způsoby a mezi rozsáhlými a nerozsáhlými systémy asi nelze vést zcela jednoznačnou dělicí hranici.

Celkově pokládám úroveň předloženého souboru textů, resp. těch deseti z nich, které mohu posoudit, za velmi vysokou. Teorie řízení je obecně dosti výrazně poznamenána velkou propastí mezi dosaženými teoretickými výsledky a praktickými aplikacemi. Obávám se, že z tohoto hlediska je na tom oblast řízení asi hůře než většina jiných technických oborů. Z tohoto důvodu je velmi pozitivním přínosem této práce skutečnost, že v podstatě všechny dosažené výsledky jsou jasně motivovány potřebami netriviálních praktických aplikací a zároveň také existuje zřetelná snaha provádět jejich ověřování nejen pomocí simulačních studií, ale přinejmenším v případě

topných a chladicích systémů budov také pomocí rozsáhlých experimentů s reálnými řízenými soustavami. Praktický přínos výsledků práce je tedy značný a dosažené úspory tepla, zejména ty které jsou shrnuty v souhrnném článku „Model predictive control of a building heating system: The first experience“, jsou velmi slušné. V tomto ohledu lze tedy práci hodnotit jako přímo vzorovou ukázku toho, jak by habilitační práce z oblasti automatického řízení měla vypadat. Pokročilé metody identifikace a řízení jsou v ní tvůrčím způsobem rozvinuty a použity k řešení složitých a prakticky relevantních problémů.

Zejména v případě regulace topných a chladicích systémů budov s využitím přístupu prediktivního řízení založeného na modelu se jedná o problematiku, které je v současné době věnována značná pozornost na větším počtu výzkumných pracovišť. Výsledky popsané v práci však nesporně splňují požadavek na původnost a originalitu řešení a rozhodně se nejedná o pouhé mírné rozšíření či zopakování výsledků a experimentů již provedených jinde.

Pokud by měl být hodnocen čistě teoretický přínos práce z pohledu teorie řízení chápané jako spíše matematická než technická disciplína, lze hovořit o zajímavých dílčích přínosech, zejména pak v oblasti metod podprostorové identifikace.

V celkovém hodnocení lze tuto práci hodnotit jako vynikající a v některých aspektech pak přímo vzorovou, především z hlediska dotažení výsledků až do praktické implementace. Práci proto doporučuji k přijetí a obhajobě.

V Liberci dne 8.3. 2012



Doc. Dr. Ing. Mgr. Jaroslav Hlava
Oddělení automatizace a robotiky
Ústav mechatroniky a technické informatiky
Fakulta mechatroniky, TU v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec 1

Prof. Ing. Boris Rohaľ-Ilkiv, CSc.
Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky
Strojnícka fakulta, Slovenská Technická Univerzita v Bratislave

Oponentský posudok habilitačnej práce:

Ing. Lukáš Ferkl, Ph.D.,

Identification and Control of Large-Scale Systems

Predložená habilitačná práca je zostavená ako výber vedeckých publikácií autora tématicky zameraných na problémy identifikácie a riadenia rozsiahlych systémov. Tieto systémy sú v práci analyzované na dvoch vybraných prípadových štúdiach modelovania a riadenia, a to na úlohe odvetrávania cestných tunelov a na úlohe vykurovania viaczónových rozsiahlych školských, resp. administratívnych budov. Autor sa v týchto vybraných publikáciach cielene zameriava najmä na uplatnenie metód podpriestorovej identifikácie pri stavovom modelovaní týchto systémov a na využitie získaných modelov pri následnom návrhu prediktívneho riadenia. Zvolený súbor vedeckých publikácií autor doplnil o spoločný úvodný 9 stránkový komentár, v ktorom poskytuje čitateľovi stručný prehľad súčasného stavu v riešenej problematike a motiváciu k vybraným prípadovým štúdiám, na ktoré sa v habilitačnej práci zameriava. V tomto vybranom súbore 11-tich priložených článkov obsahujúcim, ako impaktované publikácie, tak i publikácie na konferenciách série IEEE, habilitant vystupuje ako prvý autor, prípadne jeden zo spoluautorov. Priložený súbor neobsahuje samostatnú publikáciu autora.

Problémom modelovania a riadenia odvetrávania spalín v cestných tuneloch sú venované publikácie umiestnené v prvých dvoch prílohách, A a B. Na konkrétnych príkladoch mestských tunelov situovaných v Prahe, *Mrázovka* a *Blanka*, habilitant ilustruje metodiku modelovania rozloženia jednotlivých zložiek spalín v týchto objektoch a navrhuje procedúru prediktívneho riadenia stabilizujúceho úrovne sledovaných zložiek spalín v tunelových rúrach na prípustnej hodnote. Efektívnosť výsledneho riadenia overuje simulačne na získaných modeloch. Samostatnému problému analýzy bezpečnostných rizík

spojených s prevádzkov tunelových odvetrávacích systémov je venovaná treťa príloha, C. Predložená metodika analýzy rizík je ilustrovaná na konkrétnej prípadovej štúdii *Strahovského* tunela, pre ktorý je tu zostavený a analyzovaný strom poruchových udalostí. Metodika podpriestorovej identifikácie a jej uplatneniu pri stavovom modelovaní vykurovacích/chladiacích systémov rozsiahlych administratívnych, alebo školských budov sú venované publikácie uvedené v prílohách D až F. Na konkrétnom príklade vybraných budov komplexu ČVUT v Prahe s vykurovacom systémom typu *Crittal* ilustruje niektoré prednosti a výhody podpriestorovej identifikácie v porovnaní zo štandardným prístupom založeným na ARMAX modeloch. Habilitant tu predkladá reálne výsledky modelovania získané z viacerých úsekov dvoch vykurovacích sezón. Zároveň tu navrhuje postup identifikácie pre slabo vybudene systémy. Pre prípad známeho statického zosilenia systému, ako určitej apriornej informácie, navrhuje postup ako túto informáciu zaviesť do použitého algoritmu podpriestorovej identifikácie. Publikácie uvedené v nasledujúcich prílohach, G až K, potom cielene spájajú analyzovaný postup podpriestorovej identifikácie s vlastným návrhom algoritmov prediktívneho riadenia pre tieto rozsiahle systémy, a spolu tvoria podstatné výstupy predloženej habilitačnej práce. Tieto výstupy sú, ako v rovine simulácií s príslušnou programovou podporou umožňujúcou obísť niektoré problémy zo získavaním dát z reálnych budov, tak i v rovine reálnych experimentov na existujúcich budovách. Získané výsledky potvrdzujú efektívnosť prediktívnych metód riadenia a ich potenciál pri získavaní úspor energií v reálnej prevádzke vykurovacích systémov rozsiahlych budov.

Spracovaná téma habilitačnej práce je z pohľadu možností ďalšieho rozvoja teórie modelovania a riadenia rozsiahlych systémov, ako aj z pohľadu možností jej praktického využitia veľmi aktuálna a zaujímavá a predstavuje prínos pre ďalší rozvoj vedného odboru. Ciele, ktoré si habilitant vo svojej práci vytýčil, možno považovať za dostatočne splnené. Prínosy predloženej práce z pohľadu oponenta sú nasledovné:

- návrh a využitie metodiky podpriestorovej identifikácie pri modelovaní konkrétnych rozsiahlych systémov, akými sú cestné tunelové systémy a systémy vykurovania/klimatizácie rozsiahlych budov,
- návrh metodiky zavedenia apriornej informácie o systéme do algoritmu podpriestorovej identifikácie,
- účelne spojenie metodiky podpriestorovej identifikácie s návrhom pre-

diktívneho riadenia a overenie tohto prístupu pri znižovaní energetickej náročnosti budov.

Po formálnej a logickej stránke je predložená habilitačná práca vypracovaná starostlivo a kvalitne. Po obsahovej stránke mám k práci nasledujúce otázky:

- v práci vyšetrované rozsiahle systémy sú klasickým príkladom procesov s výraznými dopravnými oneskoreniami. Ako boli tieto oneskorenia uvažované pri modelovaní, identifikácii a pri syntéze prediktívneho riadenia?
- ako navrhovaný koncept riadenia poskytuje potenciál pre zahrnutie dôležitých väzieb od merateľných poruchových a pomocných veličín (a predikcie ich vývoja) do syntézy prediktívneho riadenia na zvolenom horizonte predikcie?
- ako sa u skúmaných procesov pri uvažovaných obmedzeniach, zabezpečovala garantovaná stabilita prediktívneho riadenia v uzavorennej slučke v reálnom čase?

Výsledky prezentované v habilitačnej práci Ing. Lukáša Ferkla,Ph.D., ako i rozsah a kvalita jeho publikácej činnosti, potvrdzujú veľmi dobrú odbornú a vedeckú úroveň menovaného. Jeho celkový vedecký prínos hodnotím kladne a na základe posudzovanej habilitačnej práce jednoznačne odporúčam vymenovanie Ing. Lukáša Ferkla,Ph.D., za docenta v odbore Technická kybernetika.



V Bratislave 27.02.2012

Prof. Ing. B.Roháč-Ilkiv, CSc.

