

## Posudok dizertačnej práce.

*Názov práce:* Pravdepodobnostní poradní subsystém jako součást distribuovaného řídicího systému složitého průmyslového procesu.  
*PhD. kandidát:* PUCHR Ivan, Ing.  
*Školiteľ:* doc. Ing. Pavel Herout, Ph.D.  
*Študijný obor:* Informatika a výpočetní technika.  
*Miesto obhajoby:* Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň

### Aktuálnosť dizertačnej práce a jej význam pre odbor

V dizertačnej práci je opísaný súčasný stav a nové podnety pre navrhovanie a realizáciu poradného subsystému v distribuovanom riadiacom systéme zložitého priemyslového procesu. Nové podnety a ich realizácia, teda prínos dizertanta, sú v oblasti procesov získavania a spracovania dát pre poradný subsystém.

Dizertačnú prácu pokladám za výsostne aktuálnu, svojou náplňou plne patrí do odboru doktorandského štúdia "Informatika a výpočetní technika". Pracovisko, na ktorom dizertant prácu realizoval je dlhodobo známe výbornými výsledkami v rozvoji a aplikácii moderných postupov v menovanom odbore doktorandského štúdia. Je v tejto oblasti špičkovým pracoviskom v ČR s dobrým menom aj v zahraničí. Doktorand v dizertačnej práci aplikoval skúsenosti z práce na štyroch výskumných projektoch v COMPUREG Plzeň s.r.o. (viď tab 1 DP). Jeho dizertačná práca je "rozšírením" posledných 2 projektov spomenutej tabuľky a "kľúčové teoretické pozadie" jeho "prínosov" (použitie Bayesovskej teórie pravdepodobnosti na vytvorenie n- rozmerných dátových zmesí z historických údajov, ktoré potom prezentuje poradenský systém operátorovi) má základ v dobrej spolupráci s M. Kárným z ÚTIAAV ČR (viď tab 1 DP, prvá publikácia dizertanta, publikácie [1], [2], [34] a jednu z posledných publikácií: *M. Kárný. Implementable Prescriptive Decision Making. Proceedings of the NIPS 2016 Workshop on Imperfect Decision Makers. Barcelona ES, January 2016*).

Spomenutá spolupráca a prostredia, ktoré akceptovali posledné dva publikácie dizertanta so školiteľom (IFAC World Congress 2017, Toulouse; *Journal of Engineering and Applied Science*) dostatočne jasne deklarujú, že " dizertačná práca je aktuálna a jej významným prínosom pre odbor". Zároveň to deklaruje dobrú spoluprácu doktoranda a školiteľa aj možnosti, ktoré sa im ďalej na pracovisku črtajú. Toto moje "deklarovanie" aktuálnosti a prínosov je podrobnejšie vysvetlené v tomto posudku.

### Postup riešenia, použité metódy a splnenie určeného cieľa dizertačnej práce.

Dizertačná práca má včítane záveru 5 častí plus 2 dodatky. Práca má 95 strán, z toho 43 farebných obrázkov a 6 tabuliek. Práca je napísaná v anglickom jazyku. Štruktúra práce spĺňa požiadavky na DP (viď ďalší komentár). Na začiatku však bolo vhodné napísať zoznam obrázkov, tabuliek a skratiek.

Štruktúra a obsah DP sú nasledovné: kapitola 1: *Introduction* (2 strany); kap. 2: *Reasons for Development of an Advisory System* (2 strany); V týchto 2 kapitolách je formulovaná motivácia dizertanta a cieľ dizertačnej práce. Cieľ práce nie je explicitne deklarovaný (viď pripomienky). Spojením informácií z kapitol 1 a 2 dovoľm si formulovať cieľ dizertačnej práce nasledovne: navrhnuť a realizovať taký rozšírený spôsob spracovania dát v poradnom subsystéme distribuovaného riadiaceho systému zložitého priemyslového procesu, ktorý zabezpečí, prostredníctvom operátora, jeho fungovanie s takmer stabilným výkonom tým, že poskytne operátorovi procesu také spracované informácie z historických dát, ktoré umožňuje predvídanie globálneho trendu smerovania riadeného

procesu. Formu splnenia cieľa DP komentujem v ďalšej časti posudku. Komentár dizertanta resp. komisie k formulácii cieľa, predpokladám počas obhajoby DP.

Ďalej nasleduje kap. 3: *State of the Art* (12 strán); V tejto veľmi dobre spracovanej kapitole je opísaných 17 systémov pre podporu rozhodovania operátora pri riadení procesov. Ku príkladu 3.8 (jadrová elektrárňa), poznamenávam, že bolo viac vhodné použiť domácu literatúru. V krajinách tzv. RVHP sa pri riadení jadrových elektrární, z bezpečnostných dôvodov používal tzv. "Simulátor jadrovej elektrárne" (vývoj "simulátorov sa realizoval vo VUJE Jaslovské Bohunice, pri Trnave). Každý "zásah" operátora do procesu "vykonali" najprv "simulátor". Až po úspešnom priebehu zásahu sa tento realizoval v reálnom procese. Problematika "bezpečnosti" zásahov operátora do procesu resp. "technická diagnostika" (Fault Detection) je úlohou práve "poradného subsystému" ale nie je na ňu zameraná dostatočná pozornosť, ani v tejto DP. V časti 3.18 je dobrý "súhrn súčasného stavu", v ktorom je odvolávka na lit. [21], používajúcu pre riešenie neistoty Bayesovskú štatistiku ako kľúčovú teóriu. Našiel by sa aj novší prístup od M. Kárneho.

Najdôležitejšia a najrozsiahlejšia je kap 4: *Operator Advisory System* (62 strán). Je sympatické, že kapitola, v ktorej sú vysvetlené "vlastné prínosy doktoranda" je tak rozsiahla. Jadrom tejto kapitoly je časť 4.2.4, 4.2.5 a 4.2.6. Nové prínosy sú obsiahnuté aj v 4.3 až 4.5. Podrobnejšie, v patričnej časti posudku.

V kap. 5. *Conclusion* (2,2 strany) je autorov pohľad na splnenie cieľov dizertačnej práce. V tejto časti však formuluje výsledky akoby nepatrili jemu, ale "kolektívu". Predpokladám, že prínosy svojej dizertačnej jednoznačne formuluje pri obhajobe. V časti *Appendix 2 Real-time Database - Description of Principles* je opis princípov databázy pre prácu v reálnom čase, ktorú dizertant pri svojej práci používal.

Postup riešenia a zvolená metóda spracovania dizertačnej práce je v súlade s požiadavkami na diz. práce kladené. V DP je podrobne je vysvetlená terminológia, formulácia problému, opis cieľa dizertačnej práce, podrobný opis "stavu" riešenia v danej oblasti, podrobný opis potrebného matematického aparátu a vysvetlenie jeho aplikácie pri realizácii cieľa dizertačnej práce. Na základe navrhnutého matematického aparátu, Bayesovskej teórie pravdepodobnosti, bolo realizované spracovanie dát z procesu na vytvorenie n- rozmerných dátových zmesí z historických údajov, ktoré potom prezentuje poradenský systém (viacerými originálnymi spôsobmi) operátorovi. Výsledky práce - dizertantom navrhnutou metodikou spracované dáta z riadenia priemyselného procesu valcovania pasov, sú veľmi kvalitne a prehľadne obrazovo spracované aj podrobne komentované. Formálne nedostatky postupu: viď pripomienky.

Konštatujem, že dizertant je výborne zoznámený s problematikou „Návrhu a realizácie poradných subsystémov ako súčasti Distribuovaných riadiacich systémov .... priemyslového procesu“. Výborne zvládol náročný matematický aparát súvisiaci s touto problematikou a potrebný matematický aparát rozsiahlo komentoval pri opise realizácie "poradného systému" v prístupnej forme. (kvalita editovania vzorcov - viď pripomienky). Ciele dizertačnej práce považujem za splnené, podrobnejšia formulácia je v nasledujúcej časti posudku. Úroveň spracovania všetkých častí dizertačnej práce je na veľmi dobrej úrovni.

## **Výsledky dizertačnej práce a prínos predkladateľa dizertačnej práce.**

V tejto podstatnej časti oponentského posudku považujem za potrebné podotknúť, že "novosť poznatkov", z môjho pohľadu, je štruktúrovaná v hierarchii: katedra resp. vedecká škola, vedný odbor v ČR resp. v strednej Európe a vedný odbor celosvetovo. Novosť poznatkov už na úrovni domácej "vedeckej školy" je dostatočným prínosom, lebo zabezpečuje funkciu tzv. "sledovacieho výskumu" vo vednom odbore na príslušnom pracovisku. Bez „sledovacieho“ výskumu nemožno udržať kvalitu vyučovania, aplikačné výsledky a schopnosť pripraviť najlepších pracovníkov na základné prínosy vo vednom odbore ale aj na udržanie kontinuity vedeckej školy. Publikácia poznatkov DP na svetových kongresoch resp. v časopisoch s cit. indexom je potvrdením "novosti" poznatkov aj celosvetovo.

Vzhľadom na predošlý komentár je možné pokladať poznatky prezentované v posudzovanej dizertačnej práci za nové v celej spomenutej hierarchii. Konkrétne sú to nasledovné poznatky:

- vývoj a realizácia softvérových technológií na vysokoefektívnu výmenu údajov medzi procesmi a následné zvýšenie výkonnosti metód dolovania údajov, ktoré počítajú historické zmesi v offline fáze spracovania údajov. Umožnilo sa tak získať historické zmesi s oblasťami s vysokou

pravdepodobnosťou hustoty, predstavujúce úpravy parametrov procesu, požadované pre vysokokvalitnú produkciu.

- zlepšenie výkonu poradného subsystému najmä v on-line fáze spracovania údajov, v ktorej sa vyskytuje skutočný pracovný bod procesu a cieľ operátora
- návrh a čiastočná riešenie pre zlepšenie výkonu výpočtovo náročného spracovania údajov rozdelením do spolupracujúcich sieťových uzlov a použitím závislého hardvéru
- realizácia pokročilých funkcií pre zlepšenie kvality výstupov poradenského systému v oblasti kvality signálu a pokročilej diagnostiky.

Problematika realizácia nových postupov resp. softvérových technológií bola náročná časovo, rozsahom aj realizáciou programového vybavenia pretože ju nebolo možné realizovať formou len simulačných experimentov. Výsledky dizertačnej práce boli overované v reálnom poradenskom subsystéme pri dispečerskom riadení reálneho technologického procesu.

### **Formálna úprava, jazyková úroveň, systematika a prehľadnosť dizertačnej práce.**

Formálne DP má veľmi dobrú úroveň (grafika, štruktúra, označenia, skratky, literatúra, prehľadnosť práce), čo som v posudku pri konkrétnych detailov komentoval. Drobným nedostatkom je niekoľko nezrovnalostí pri písaní matematických výrazov a popise obrázkov. K jazykovej úprave nemám žiadne pripomienky, práca je písaná výbornou angličtinou. Dizertačná práca splňuje, podľa môjho názoru požiadavky stanovené smernicami univerzity, čo predpokladám bude aj predmetom diskusie pri obhajobe tejto dizertačnej práce.

### **Publikácie dizertanta.**

Dizertant má doteraz 14 publikácií. Z publikácií sú 8 v zborníkoch významných zahraničných kongresov a konferencií (SR som nezaradil medzi "zahraničie), z toho 1 krát je to: *IFAC World Congress, Toulouse, FR, 2017*. Publikovanie na IFAC World Congress a tiež posledná z uvedených publikácií v zozname (str.85), ktorá je časopisecká (accepted for publication), sú na tak vysoko rešpektovaných vedeckých "fórach", že umožňujú "oponentovi tejto DP" pokladať jej prínosy za akceptované z celosvetového hľadiska. Kvôli štatistike uvádzam, že v posledných 3 najvýznamnejších publikáciách (spolu so školiteľom) je dizertant prvým autorom. Publikácie dizertanta hodnotím ako kvalitné. Považujem ich za dobrý štart do jeho ďalšej vedecko - pedagogickej kariéry.

### **Pripomienky k dizertačnej práci:**

Sú formálne:

- v prvých dvoch kapitolách DP chýba explicitná časť s formulovanými cieľmi dizertačnej práce. Na začiatku práce mali byť zoznamy: používaná terminológia, význam symbolov, zoznam obrázkov a tabuliek.

- v poslednej kapitole *Conclusion* nie je sú "jednoznačne formulované" prínosy dizertanta, jeho vyjadrenia v "tretej osobe" naznačujú kolektívnu prácu (čo v prípade je celého distribuovaného subsystému je nutné). Bolo však potrebné formulovať jasnejšie vlastné kľúčové prínosy pri realizácii časti poradenského subsystému, lebo v terajšej podobe sú tieto prínosy formulované nejednoznačne. Predpokladám, že to dizertant "formuluje" pri obhajobe svojej dizertačnej práce.

- nedôslednosti v rovniciach a obrázkoch. Str. 29, rovnica (9): posledný exponent mal byť  $v_{0,T}$  a nie  $V_{0,T}$ . V obr. 35 chýba na vodorovnej osi "sample number", v obr.37 a 38 je popis osí v texte pod obrázkom, čo nie je v súlade s ostatnými obrázkami.

## Záver posudku.

Dizertant Ing. Ivan Puchr vo svojej dizertačnej práci: navrhol a realizoval nový, rozšírený spôsob spracovania dát v poradnom subsysteme distribuovaného riadiaceho systému zložitého priemyslového procesu, ktorý zabezpečí, prostredníctvom operátora, jeho fungovanie s takmer stabilným výkonom. Rozšírené spracovanie poskytuje operátorovi procesu nové informácie z historických dát. Podrobne sú nové poznatky, ktoré táto dizertačná práca prináša sú formulované v príslušnej časti posudku. Publikácie dizertanta sú veľmi kvalitné uverejnené na renomovaných kongresoch a konferenciách, prevažne v zahraničí, a vo vedeckom časopise s citačným indexom. Považujem ich za dobrý štart do jeho ďalšej vedecko - pedagogickej kariéry. podrobne sú posúdené v samostatnej časti posudku.

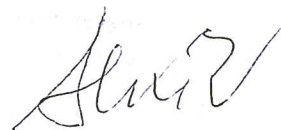
Dizertačná práca je precízne metodicky spracovaná s dokumentovaním dizertantových prínosov. Potvrdzujem, že Ing. I. Puchr je talentovaný a perspektívny vedecký pracovník s výbornými pedagogickými predpokladmi.

Na základe uvedených skutočností podľa § 47, odst. 4 zákona č. 111/98 Sb. a článkom 107, „**Studijného a zkušebného rádu ZČU**“, dizertaci

### doporučuji k obhajobě

a odporúčam, aby po úspešnej obhajobe dizertačnej práce bol Ing. Ivanovi Puchrovi v zmysle vyhlášky MŠ ČR udelený príslušný vedecký titul v študijnom odbore „Informatika a výpočetní technika“.

V Žiline 6. 4. 2018



Prof. Ing. Mikuláš Alexík, CSc.

Oponentský posudek na disertační práci

Pravděpodobnostní poradní subsystém  
jako součást distribuovaného řídicího systému  
složitého průmyslového procesu

Ing. Ivan Puchr

**Význam a aktuálnost disertace**

Předložená disertační práce se zabývá problematikou řízení složitých průmyslových procesů. Zvolený přístup k řešení dané problematiky je konstrukce poradního systému, který na základě zkušenosti získané z historických dat, měřených na řízeném procesu, konstruuje rady pro operátory ovládající daný proces. Zvolená koncepce se jeví jako velmi šťastná. Konečné rozhodnutí při aplikaci rad generovaných poradním systémem je na člověku. To snižuje bariéru odporu, která se obecně ještě stále udržuje vzhledem k automatickému řízení a která je vyvolávána právě skutečností, že řízení celého procesu je v rukou počítače a co kdyby . . . . Nakonec je známo, že lidský prvek se svou intuicí a zkušenostmi je při řízení prakticky optimální. Na druhé straně, dnešní složitě průmyslové procesy jsou natolik rozsáhlé a s tolika různými veličinami, že člověk, byť byl sebezkušenější a měl vrozenou intuici a dobrou znalost řízeného procesu, nemůže ovládnout celý systém a postřehnout různé nebezpečné kombinace veličin, indikující nedobry vývoj řízeného systému nebo dokonce přibližování se k některému z jeho poruchových stavů.

V navrhovaném přístupu zůstává konečné rozhodnutí na operátoru, systém je ale sledován počítačem, který má dost velkou paměť a dostatečně rychlé reakce, aby dokázal sledovat všechny kombinace veličin, a poučen z historie, aby poznal špatný stav systému a operátora na něj upozornil.

Teoretickým základem poradního systému je bayesovská statistika, konkrétně odhad modelu směsi distribucí. Jedná se o moderní metody z oblasti teorie odhadu, nebo chceme-li z oboru data-miningu. Tato silná teorie dává záruky, že výsledné algoritmy budou schopné měřená data dostatečně dobře analyzovat a nalézt v nich potřebné informace.

Z uvedeného plyne, že tematika řešená v předložené disertační práci je významná a v současnosti velmi aktuální.

## Postup a metody řešení

Komplexní řešení předložené úlohy je velmi složité a má celou řadu různých aspektů.

V první řadě se jedná o způsob integrace operátorského poradního systému do celého distribuovaného řídicího systému. Zde se především jedná o návrh platformy použitého hardware a operačního systému pro strukturu poradního systému. Dále je potřeba řešit problematiku měřených dat, zejména zdroje dat, jejich vlastního měření, kvality měřených dat a v neposlední řadě jejich ukládání. Rozhodující je také volba způsobu měření, zejména perioda vzorkování.

Další oblast řešení je teoretický rámec využitý pro zpravování měřených dat, umožňující informaci získanou z dat transformovat do rad, předkládaných řídicím operátorům. Zde byl zvolen bayesovský přístup, konkrétně odhad modelu směsi distribucí. Ten tento model dokáže popsat multimodální mnohorozměrný dynamický systém pracující pod vlivem neurčitosti. Tato neurčitost zde má dvě základní podoby: jednak se jedná o neurčitost v datech (např. přítomnost šumu) a dále je to neurčitost v modelu, který má formu parametrizované distribuce, odhadované z historických dat. Přesnost takového modelu je pouze asymptotická a to ještě nemluvíme o drobných nestacionaritách, které se v reálných systémech mohou vyskytovat.

Uvažovaný model směsi distribucí je tvořen množinou komponent a modelem tzv. ukazovátka. Komponenty modelují jednotlivé pracovní módy systému, ukazovátka, což je diskretní náhodný proces s konečným počtem hodnot, označuje aktivní komponentu (tj. tu komponentu, která aktuálně modeluje systém v jeho pracovním módu).

Pracovní módy, modelované jednotlivými komponentami, odrážejí režimy, ve kterých systém pracuje. Tyto režimy jsou z historických dat ohodnoceny kvalitou výstupu procesu a operátor tak může být informován, v jakém režimu systém pracuje, a co více, může být naváděn na nejbližší lépe ohodnocený režim.

Velkou výhodou bayesovského přístupu je možnost zavedení apriorní znalosti do procesu odhadu. Této skutečnosti se autor práce věnuje velmi pečlivě. Pro demonstraci vlivu expertní znalosti na proces odhadu si zvolil velmi jednoduchý a tedy snadno interpretovatelný kategoričtý model s dvěma hodnotami (jedná se o odhad modelu s alternativním rozdělením). Tento odhad využívá dvouprvkovou postačující statistiku - v prvním prvku se uchovává počet hodnot 1 (úspěchů) a v druhém počet hodnot 0 (neúspěchů). Odhad může začínat bez apriorní informace s nulovou statistikou, nebo se apriorní znalost může vyjádřit jako počet apriorních jedniček a nul. Potom záleží na poměru hodnot apriorní statistiky a také na jejich absolutních hodnotách. Ty určují sílu apriorní znalosti.

Dalším důležitým bodem je řešení otázky, jak prezentovat rady operátorům. Bude-li tato prezentace příliš složitá nebo málo zřetelná, nebudou operátoři brát rady v úvahu.

Další záležitostí je, jak dotovat celý systém výpočetní technikou a jaký software lze nejlépe využít.

V závěru autor ještě zmiňuje některé pokročilé funkce poradního systému a navrhuje způsob diagnostiky systému.

Úspěšnost popsaného poradního systému je patrná z výčtu jeho aplikací, které byly předmětem několika úspěšně obhájených grantů.

Celá tato záležitost je nesmírně rozsáhlá a jak autor zmiňuje, pracovala na ní nejen řada odborníků, ale dokonce celých pracovišť, a to i zahraničních. Autor zde předkládá celkový souhrn problematiky a jejího řešení. Ve své přednášce by rozhodně měl podat přehled svých vlastních přínosů.

### **Vyjádření ke zpracování disertace**

Předložená disertace je psána v anglickém jazyce. Je dobře a přehledně členěná a celý výklad je veden systematicky a v dobré návaznosti jednotlivých částí. Postup výkladu je logický, jednotlivé pojmy jsou vždy pečlivě zavedeny a demonstrovány.

V začátku práce je uvedena formulace problému. Dále je dosti rozsáhlá část věnována přehledu současného stavu problematiky s konkrétními závěry jednotlivých prací.

Na konci práce je uveden závěr, ve kterém jsou shrnuty dílčí závěry a diskutovány pro a proti argumenty pro předvedený poradní systém. Rovněž je naznačen směr dalšího vývoje této problematiky.

Snad jediná vada na kráse je použití textového editoru Word. I když zde přeci jen není tolik matematického textu, editor Latex, případně Lyx by dal výsledky podstatně hezčí.

V práci jsem našel několik nejasností:

1. Odstavec 4.1.3.3.1: zde se hovoří o periodě v délce měsíců - doufám, že jde o dobu sběru dat, nikoli periodu vzorkování.  
Ve stejném odstavci se také zmiňuje spojitý čas - pokud se má na mysli snímání dat ve spojitém čase, pak by mě zajímalo, jak se taková data skladují.
2. Rovnice (1) na straně 27: zde je nějaký překlep. Prosil bych uvést správný tvar.
3. Strana 29 nahoře: v druhém bodě se hovoří o predikci dat. Před tím se ale zmiňuje, že data jsou nezávislá. Prosím o vysvětlení.
4. Obrázek 12 - pravá část: způsob "histogram-like form" mi zůstává utajen. Prosil bych vysvětlení.
5. Obrázek 29: Zde se ukazují dva možné způsoby, jak lze z daného pracovního bodu dosáhnout doporučený. Říká se zde, že jedna cesta je nebezpečná a druhá dobrá. Dále se to slovně vysvětluje. Jak to ale poradní systém pozná z historických dat. Oblasti jsou z historie ohodnoceny? O tom se nikde nic neříká.

### **Publikace disertanta**

Publikace doktoranda jsou přehledně uvedeny v příloze. Je uvedeno 14 publikací, většinou referátů z mezinárodních konferencí. Tento počet je dostačující.

### Vyjádření oponenta

Předložená práce pojednává o velice složité problematice návrhu poradního systému pro operátory řídící složité průmyslové procesy pod vlivem neurčitosti. Autor v práci prokázal schopnost vědeckého myšlení a srozumitelného pojednání o náročném vědeckém problému. Proto doporučuji jeho práci k obhajobě a po úspěšné obhajobě doporučuji, aby mu byl udělen titul Ph.D.



Doc. Ing. Ivan Nagy, CSc.