

Návrh metodiky verifikácie a validácie modelov technologických procesov

Augustín Gese, UIAM STU MTF, TRNAVA
Dušan Mudrončík, UIAM STU MTF TRNAVA

Anotácia: V článku je prezentovaná problematika hodnotenia vlastností modelov v súvislosti s projektom Zvyšovanie energetickej bezpečnosti SR (ITMS kód 26220220077) aktivity Využitie fuzzy logiky pre diagnostické systémy blokov JE s cieľom aplikovať výskum zvyšovania bezpečnosti energetických premien reaktora VVER-440 a predlžovanie životnosti významných komponentov energetického bloku. Navrhnutá je metodika verifikácie a validácie konceptuálnych modelov technologických procesov.

Kľúčové slová: simulácia, verifikácia a validácia konceptuálneho modelu

1. Úvod

Článok sa zaoberá problematikou hodnotenia vlastností modelov v súvislosti s projektom Zvyšovanie energetickej bezpečnosti SR aktivity Využitie fuzzy logiky pre diagnostické systémy blokov JE kde cieľom je:

- a) Zvýšiť výpovednú schopnosť inštalovaných systémov prevádzkovej diagnostiky hlavných cirkulačných čerpadiel (SHCC) v lokalitách JE Bohunice a JE Mochovce. Zlepšiť podporu operátorov systémov pri klasifikácii stavu HCC a rozšíriť systémy CSLBB pre 3. a 4. blok JE.
- b) Inovovať systémy diagnostiky voľných častí v primárnom okruhu reaktora s cieľom zvýšiť ich presnosť a spoľahlivosť pri detekcii a identifikácii voľných častí. Inovovať systém diagnostiky anomálnych situácií chemických režimov primárneho a sekundárneho okruhu reaktora s cieľom zvýšiť presnosť a spoľahlivosť systému ako podporného prostriedku pre rozhodovanie operátora na základe doterajších prevádzkových skúseností. Navrhnuť a odskúšať spoľahlivú metodiku včasného odhalenia degradácie monitorov prietoku napájacej vody do PG, za VTO a pary z PG s využitím techník výpočtovej inteligencie. Navrhnuť a odskúšať spoľahlivú metodiku včasného odhalenia vadných in-core detektorov (termočlánkov a samonapájacích detektorov) s využitím techník výpočtovej inteligencie pri spracovaní signálov v lineárnej i nelineárnej oblasti.
- c) Analyzovať možnosti počítačovej simulácie pri optimalizácii procesov diagnostiky a testovania zariadení a systémov JE počas uvádzania do prevádzky. Navrhnuť počítačový model pre simulovanie prechodových procesov blokov JE VVER 440 so zameraním na JE EMO34.

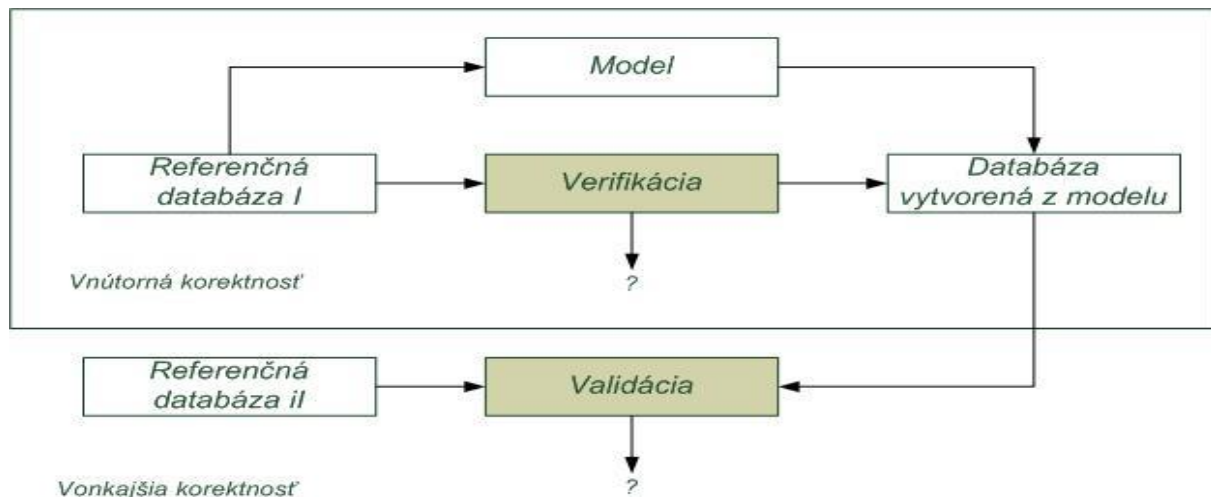
2. Návrh metodiky verifikácie a validácie modelov

Pri verifikácii modelu ide predovšetkým o preverenie vnútornej logiky modelu. Súčasne je potrebné skúmať, či sú v modeli zobrazené všetky potrebné detaily a odstraňujú sa z tohto modelu logické, sémantické a syntaktické chyby.

Cieľom validácie modelu je preverenie, či model dostatočne zobrazuje modelovaný systém (v prípade projektovania nového výrobného systému vykonanie validácie môže byť pomerne zložitá úloha).

Tvorba a validácia modelu sú dva paralelné interaktívne procesy postupného testovania a modifikovania modelu.

Verifikácia a validácia predstavuje množinu techník používaných v znalostnom inžinierstve na overenie kvality modelovania reálnych procesov. Cieľom modelovania je vypracovanie (zostavenie) modelu tak, aby čo „najlepšie“ popisoval vlastnosti reálneho procesu. Pri zostavovaní modelu je potrebné splniť všetky požiadavky na tento model (určenie modelu-návrh regulátorov, bilančné výpočty apod., druh modelu a pod.). Pri hodnotení kvality modelu podstatnú úlohu má verifikácia a validácia.



Obrázok 1: Vzájomná väzba verifikácie a validácie modelov. Prevzaté z (4).

2.1 Etapy validácie a verifikácie modelu

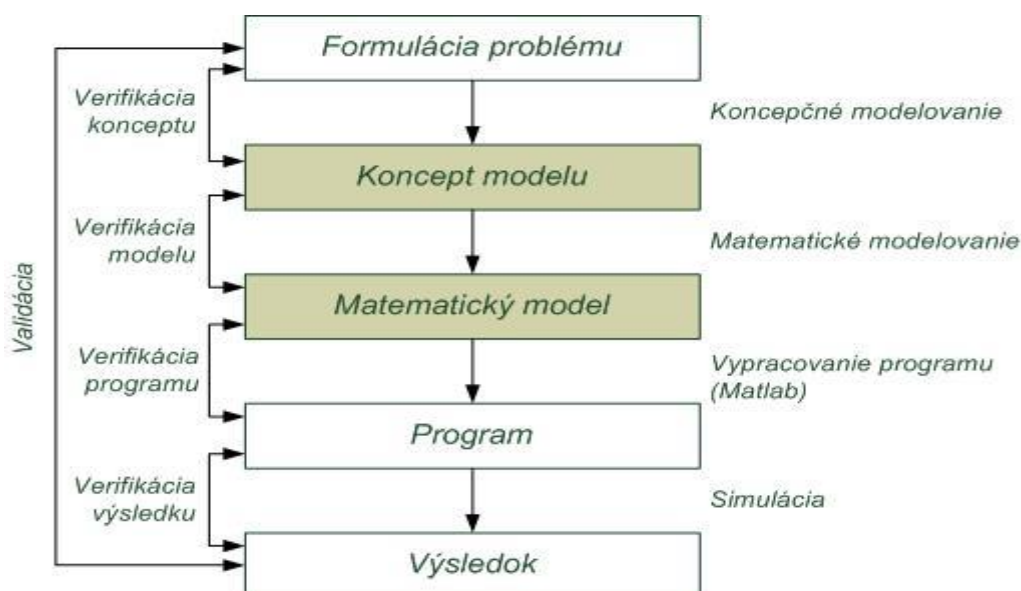
Výsledky získané pri simulácii dovoľujú v určitých medziach spätné vyhodnotenie reálneho procesu. Určenie týchto medzí je úlohou validácie modelu (3).

Dodnes neexistuje všeobecne platný test pre validáciu modelov. Počas procesu vývoja modelu na rozličných úrovniach je potrebné vykonávať rozličné skúšky s cieľom dosiahnutia transparentnosti a hodnovernosti modelu pre zvolenú oblasť použitia.

Vo všeobecnosti validácia modelu pozostáva z nasledovných etáp:

- Validácia konceptuálneho modelu: táto etapa sa vzťahuje na prevod pôvodného reálneho procesu na konceptuálny model. Predovšetkým sa odskúša, či konceptuálny model dostatočne presne popisuje príslušný cieľ pri vyhodnocovaní reálneho procesu a či jeho hlavné objekty, atribúty a vzťahy sú zvažované korektne
- Verifikácia modelu zaoberá sa korektným prevodom konceptuálneho modelu na počítačový model. Testuje sa, či program vyjadruje konkrétnu implementáciu konceptuálneho modelu. Prakticky aplikáciu procesu verifikácie pri vývoji programu

- Operačná validácia modelu: pri simulácii na počítačovom modeli sa preskúšavajú dynamické vlastnosti modelu. K tomuto účelu sú k dispozícii rôzne prostriedky:
 - test plausibility: preskúšanie plausibilných vlastností celkového modelu alebo jednotlivých submodelov; obyčajne tento test vykonávajú experti, ktorí majú potrebné odborné poznatky o pôvodnom reálnom procese
 - analýza senzitivity: preskúšanie robustnosti modelu s ohľadom na zmeny vstupných hodnôt
 - kalibrácia: prispôbenie modelu na reálny proces zmenou takých parametrov, hodnoty ktorých je možné zistiť len veľmi nepresne
 - porovnanie výstupov: porovnanie empirických poznatkov o vlastnostiach pôvodného reálneho procesu s výsledkami modelu pre odpovedajúce vstupné hodnoty
 - prognostická a dynamická platnosť: dôkaz schopnosti prognózy a dynamickej platnosti modelu pri neskoršom nasadení v realite



Obrázok 2: Etapy validácie a verifikácie modelu – vzájomné väzby. Prevzaté z (2).

Hlavné riziká validácie modelu vznikajú v prípade, že nie sú k dispozícii reálne údaje alebo ak sú údaje v nevhodnej forme alebo nedostatočnom množstve. Pri tvorbe modelu sa doporučuje postupovať up-down spôsobom, návrhom a validáciou submodelov, tieto submodely postupne integrovať a vytvoriť validovaný top-model.

Verifikácia je postup, tvorený nasledovnými činnosťami:

- Do modelu implementovať všetky potrebné detaily
- Vytvorenie logicky správneho modelu
- Priebežne kontrolovať, či model zodpovedá požadovanému zámeru
- Priebežné vykonávanie nasledovných činností
 - kontrolovať vstupné údaje
 - kontrolovať správnu funkciu jednotlivých subsystémov a väzieb v modeli
 - overovanie správnosti formulácie rozhodovacích kritérií
 - realizovať pilotné chody modelu pre potreby validácie

Základné postupy používané pri verifikácii modelov sú nasledovné:

- Verifikácia v malom – je jednoduchšie verifikovať submodel ako model komplexného reálneho procesu
- „Prechod po štruktúre modelu“
 - moduly modelu sú diskutované v skupine expertov
 - dynamika modelu je skúmaná prechodmi (aj myšlienkovými) cez model. Tento proces môže byť podporený interaktívnym debuggerom (napr. z Modelica), ktorý umožní zobrazit' ľubovoľnú udalosť (alebo stav) v ľubovoľnom čase a analyzovať zmeny vybraných premenných modelu, alebo priamo na obrazovke sledovať činnosť vybraného algoritmu
- Použitie trasovacích výstupov – zostavenie protokolov o každej zmene stavu (vstupného, vnútorného, vonkajšieho) systému, ktoré je možné po skončení simulácie analyzovať a vyhodnotiť z rôznych aspektov (napríklad príčiny blokovania reálneho procesu a pod.)
- Použitie animácie. Umožní vizuálne verifikovať model, farebne alebo graficky odlišiť rozličné stavy, vyhotoviť záznamy niektorých udalostí a pod.

3. Verifikácia a validácia modelu – väzba na simuláciu

Vykonať simulačné chody pri zjednodušených podmienkach – deterministicky namiesto stochasticky, jednoduché funkcie vstup-výstup, prípadne porovnať s výstupmi z analytického modelovania a pod.

- Prezentovať graficky výsledky formou diagramov, histogramov, korelogramov, stĺpcovými grafmi, koláčovými grafmi a pod.
- Preskúšať stochastické vstupné premenné – kontrola strednej hodnoty a rozptylu, kontrola vhodného typu rozdelenia, citlivosť modelu na náhodné čísla a pod.
- Vyhodnotenie konceptuálneho modelu (napr. vypracovanie vývojového diagramu resp. vyhodnotenie predpokladov pri zostavovaní modelu) pred programovaním modelu, vypracovanie rozhodovacích stromov, logických diagramov a pod.

Validácia je proces, cieľom ktorého je overiť mieru zhody správania sa simulačného modelu so správaním sa reálneho systému.

Overovanie validity navrhnutého simulačného modelu ako i definovanie odboru validity sa obyčajne uskutočňuje v rámci tzv. pilotných behov, t.j. simulačných behov, ktoré sú realizované pred vlastnými simulačnými experimentami.

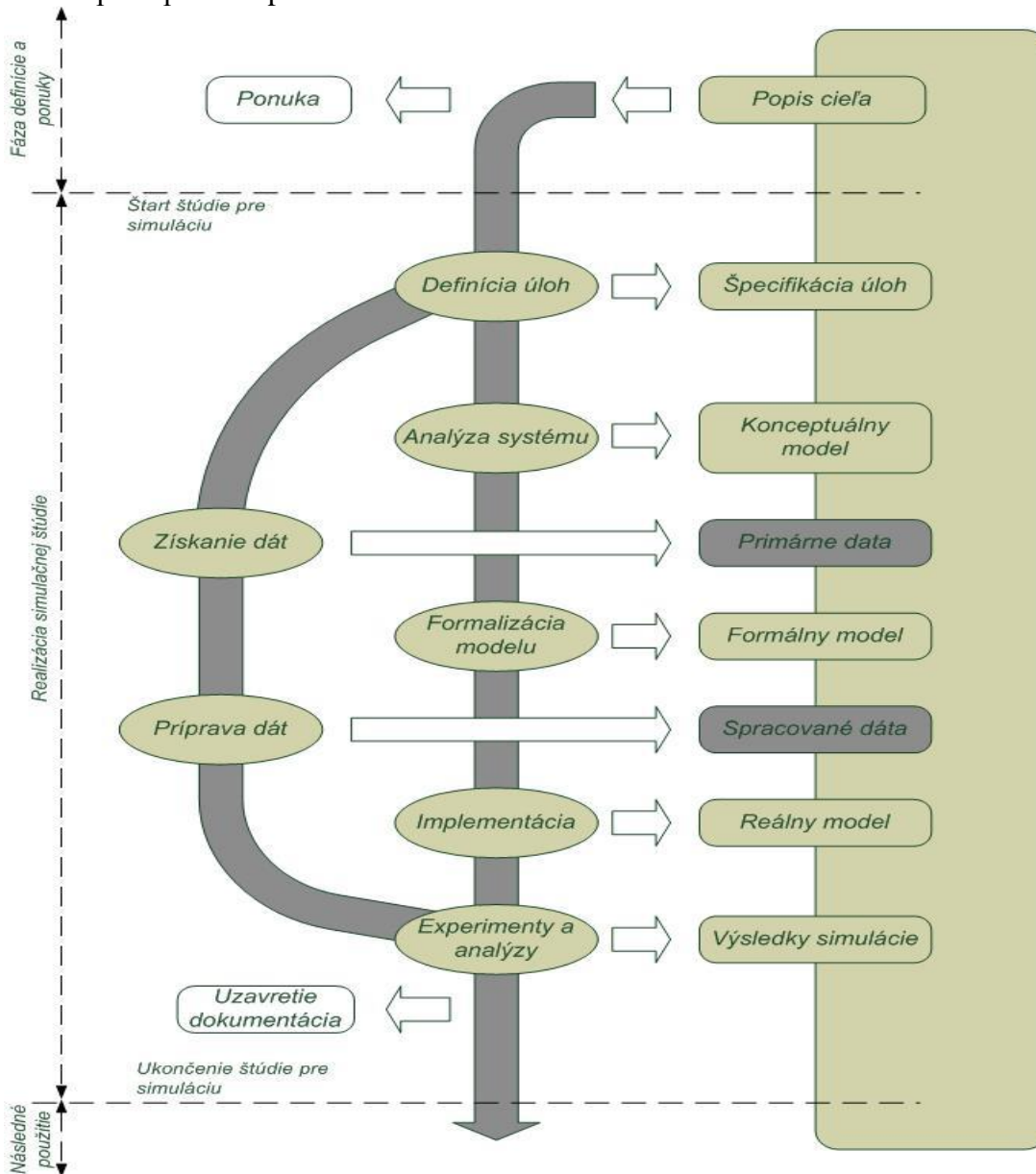
Pri pilotných behoch sa môžu byť výsledky rozdielne z nasledovných dôvodov:

- Vplyv rôznych počiatočných podmienok
- Odchýlky spôsobené prítomnosťou náhodných veličín v modeli
- Vplyv experimentálnych zmien vedúcich ku požadovanej zmene modelu

Kritériá zlepšenia validity modelu:

- Výstupy modelu musia súhlasiť s výstupmi z reálneho procesu. Vyhodnocujú sa expertné poznatky získané pri simulácii a prevádzke reálneho procesu, expertné poznatky zo simulácie a prevádzky podobných systémov, všeobecné poznatky z problémovej oblasti, formulácia hypotéz o správaní sa systému a pod.
- Využitie citlivostnej analýzy, ako pomôcky pri určovaní, ktoré aspekty reálneho procesu sú dôležité.
- Využitie animácie pre objavenie chýb, nesprávnych predpokladov použitých pri zostavovaní modelu, konzultovanie výsledkov s expertami z prevádzky reálneho procesu.
- Empirické testy predpokladov prijatých v modeli

- Porovnanie zhody výstupov z modelu a reálneho procesu (prechodové resp. impulzné charakteristiky apod.)
- Aplikácia štatistických procedúr pre porovnanie výstupov z reálneho procesu a modelu (inšpekčná metóda, metóda konfidenčných intervalov, analýza časových postupností a pod.)



Obrázok 3: Etapa verifikácie a validácie – zaradenie v procese simulácie. Prevzaté z (4).

4. Hodnotenie a záver

Principiálne je možné postup pri modelovaní popísať nasledovne:

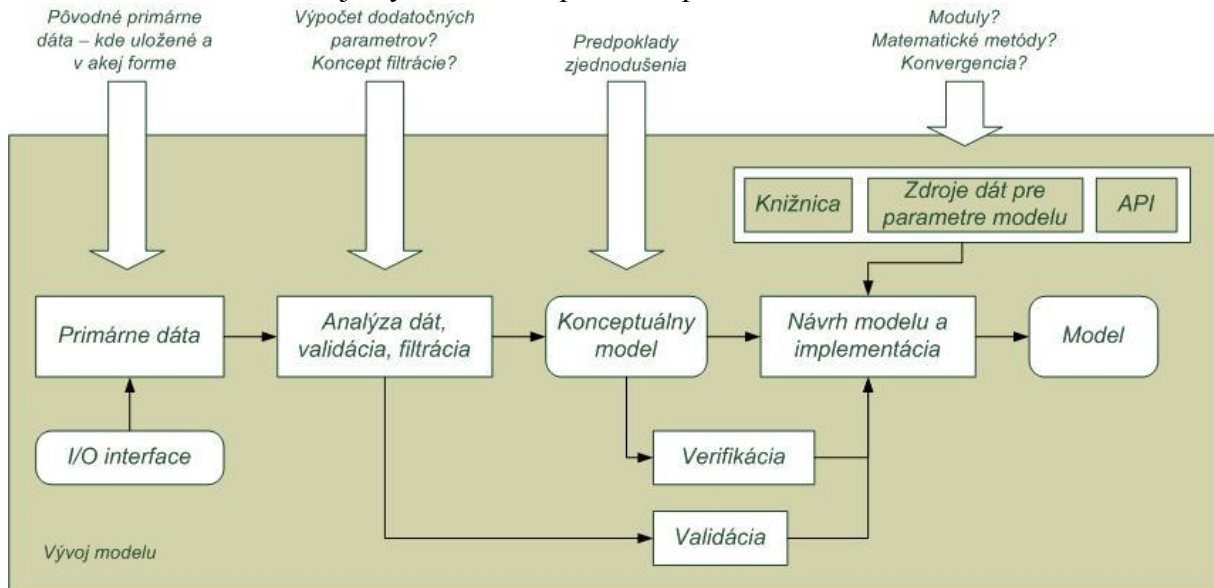
- Formulovanie problému
- Definícia účelu modelu
- Definícia hraníc systému, rozmerov, komplexnosti
- §-Definícia formy vyjadrenia modelu (prvky, relácie, požiadavky na merané dáta, prípadné exogénne veličiny)
- §-Vývoj konceptuálnych diagramov
- §-Voľba typu modelu

- §-Zostavenie algoritmov (rovníc a pod.) a programovanie
- §-Verifikácia a analýza sežitivity a plausibility, kalibrácia, validácia
- §-Aplikácia na riešenie problému

Poznámka:

Etapy označené §- vyjadrujú rekurzívny proces.

Pre etapu modelovania je zvolený CAE-systém MODELICA s programovacím jazykom DYMOLA. Modelovanie je vykonávané v prostredí podľa obrázku 4.



Obrázok 4: Etapy modelovania – vzájomné väzby. Prevzaté (1).

Celkový postup je možné charakterizovať nasledovne:

- Modelovanie rozličných druhov fyzikálnych objektov
- Hierarchické usporiadanie modelu
- Použitie rozličných druhov knižníc (elektrické siete, mechanické systémy (prenosné, rotačné), hydraulika, prenosové členy (regulačná technika), viactelesové systémy, Petriho siete a pod.
- Objektová orientácia a rovnice
- Interfejs k iným programom (MATLAB/SIMULINK, dSPACE)
- 3D animácia

Na záver je možné konštatovať nasledovné:

Podstatný aspekt modelovania spočíva v tom, že v navrhnutom modeli sa nachádzajú len použité fenomény a z toho dôvodu model platí len pre omedzené triedy experimentov.

Rozhodujúce pre výsledok celkovej simulácie je otázka správneho vyjadrenia originálneho systému konceptuálnym a počítačovým modelom. S tým sú spojené pojmy ako dôveryhodnosť, účelnosť a platnosť (validita) modelu.

V súvislosti s modelovaním a simuláciou je potrebné s modelom predovšetkým riešiť nasledovné úlohy:

- Verifikácia modelu, ktorá overí správnosť funkcií počítačového modelu pomocou funkčného testu (pre vypracovanie testu musí byť známy typ modelu) a v relácii na konceptuálny model. Vo väčšine prípadov verifikácia je orientovaná na počítačový model a preto jej aplikácia závisí predovšetkým od implementovaného simulátora (napr. MODELICA).

- Validácia modelu, porovnáva vlastnosti (funkciu) modelu systému a predovšetkým počítačového modelu s originálom alebo plánovanými vlastnosťami hypotetického modelu (čo zrejme nieje náš prípad).
- Analýza senzitivity, ide o ďalšiu formu overenia modelu. Úspešná validácia modelu predpokladá, že sú otestované reakcie počítačového modelu na zmeny vstupných dát a dôležitých parametrov modelu. Analýza senzitivity určuje mieru robustnosti a stability počítačového modelu.

5. Pod'akovanie / Acknowledgement



This publication is the result of implementation of the project: "Increase of Power Safety of the Slovak Republic"(ITMS: 26220220077) supported by the Research & Development Operational Programme funded by the ERDF.



6. Zoznam bibliografických odkazov

- (1) M. Otter: Modeling, Simulation and Control with Modelica 3.0 and Dymola 7, Preliminary Draft, 2009
- (2) S.Hopfgarten: Simulation, Vorlesungsskript, TU-Ilmenau, 2005
- (3) M. Fikar, J.Mikleš: Identifikácia systémov, STU-Bratislava, 2006, ISBN-80-227-1177-2
- (4) M. Rabe, S. Spieckermann, S.Wenzel: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik, Vorgehensmodelle und Techniken, 2007, ISBN 978-3-540-35281-5

7. Adresa autorov:

Augustín Gese, Ing., CSc., host'. prof.
Materiálovotechnologická fakulta STU
Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie
a matematiky
Hajdóczyho 1
917 24 Trnava
augustin.gese@stuba.sk

Dušan Mudrončík, prof., Ing., PhD.
Materiálovotechnologická fakulta STU
Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie
a matematiky
Hajdóczyho 1
917 24 Trnava
dusan.mudroncik@stuba.sk