

Požiadavky na tvorbu modelov technologických procesov

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

Anotácia: V článku sú popísané výsledky riešenia projektu 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. Popísané sú požiadavky na tvorbu modelov technologických procesov a ich simuláciu.

Kľúčové slová: konceptuálny a matematický model procesu, simulácia, identifikácia modelu, verifikácia a validácia 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 HCČ 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 samonapájajúcich 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.

1.1 Definícia pojmov

System

System je množina komponentov, ktoré majú navzájom usporiadené väzby.

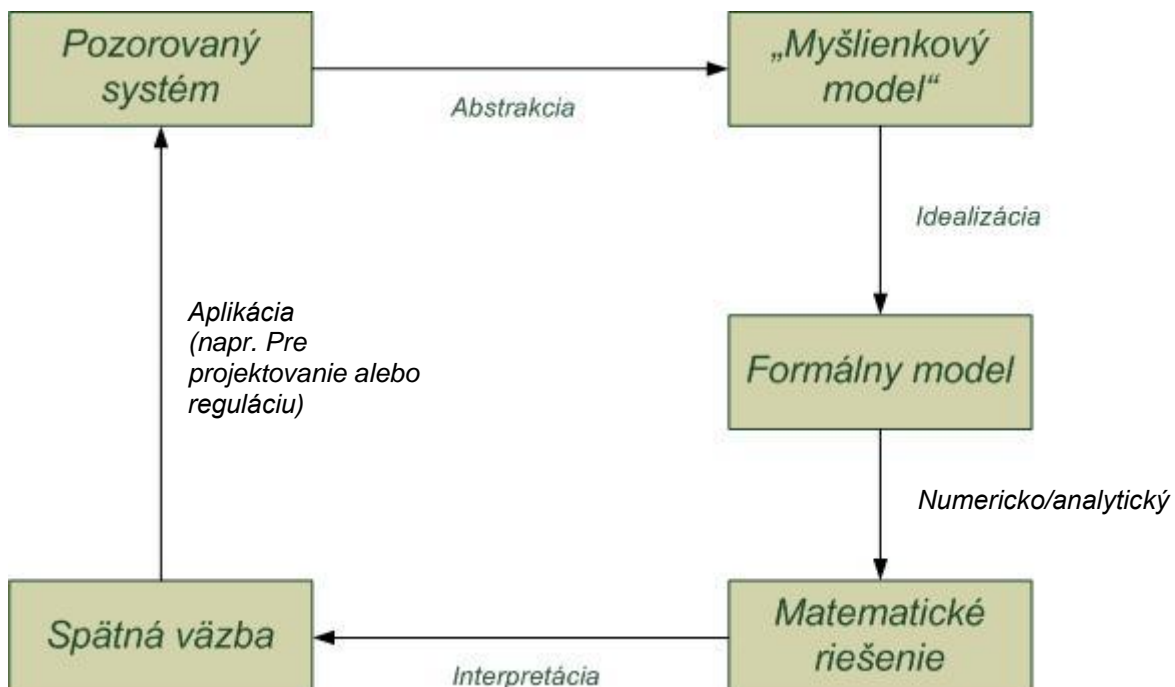
Model

Modelom dynamického systému definujeme pravidlo, podľa ktorého môžeme na základe známych, alebo zmeraných veličín na systéme vypočítať hodnoty ďalších veličín (resp. ich časových priebehov). Požaduje sa, aby hodnoty týchto veličín (resp. ich časové priebehy) dostatočne (podľa zvoleného kritéria) sa dostatočne zhodovali so skutočnými hodnotami uvažovaného systému. Model sa najčastejšie určuje zo známeho vstupu U , výstup modelu Y_m je volený tak aby sa podľa možnosti (prípadne podľa zvoleného kritéria) zhodoval so skutočným výstupom systému Y .

Druhy modelov

Abstrahovaním a idealizovaním sa pri modelovaní redukuje komplexnosť originálu. Druhy modelov pre simuláciu a ich vzájomné väzby sú uvedené na obrázku 1.

- Konceptuálny model- je výsledok abstrahovania a idealizovania. Ide predovšetkým o myšlienkový model, existuje len v predstavách riešiteľa.
- Počítačový model- vzniká z textu, diagramov alebo tiež matematických algoritmov, ktoré popisujú predošlý model



Obrázok 1: Druhy modelov pre simuláciu a ich vzájomné väzby. Prevzaté z (1).

Účel modelovania

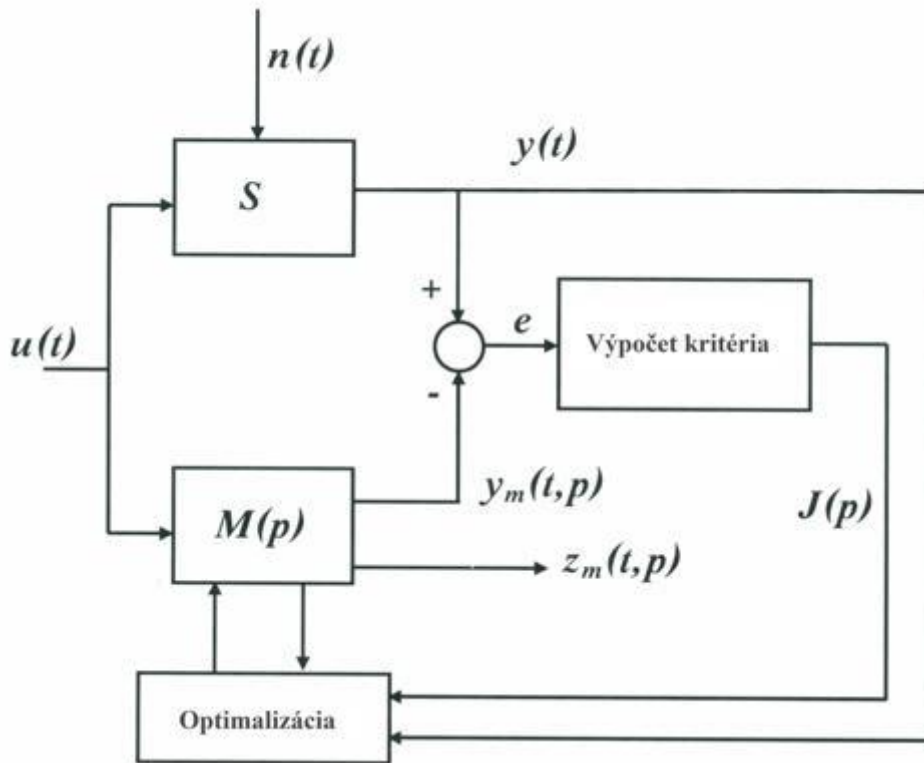
Pod pojmom „model“ v tomto prípade rozumieme matematický popis reálneho procesu, ktorý je vytváraný za určitým účelom napr.:

- Matematicko-fyzikálna analýza
- Výpočet nepriamo meraných veličín
- Testovanie hypotéz
- Predikcia vývoja
- Riadenie procesov

1.2 Tvorba modelu:

Konštrukcia modelu z nameraných dát pozostáva z nasledovných objektov:

- Namerané údaje
 - namerané údaje sú nasnímané z reálneho procesu počas experimentu. Pre konštrukciu modelu sú podstatné druhy meraných fyzikálnych veličín procesu (s rozdelením na vstupné, výstupné resp. stavové). Pre vstupné signály je dôležitá špecifikácia ich charakteru (napr. skoková zmena, štatistické charakteristiky a pod.). Je potrebné definovať tiež obmedzenia vyplývajúce z fyzikálnych alebo technologických možností reálneho procesu (napr. neexistuje možnosť ovplyvniť chovanie reálneho procesu a je potrebné sa obmedziť na merania v priebehu jeho normálnej prevádzky. Táto skutočnosť ovplyvňuje schopnosť ku skutočnému správaniu sa reálneho procesu a to predovšetkým v prípade, ak prevádzkové podmienky reálneho procesu sú rozdielne od podmienok za ktorých bolo vykonávané meranie za účelom tvorby modelu.
- Výber modelu-výber „najlepšieho“ modelu
 - výber vhodného modelu vo všeobecnosti nie je možné popísať všeobecne platným algoritmom. Vo väčšine prípadov je potrebné sa spoliehať na intuíciu. V niektorých prípadoch je možné vhodný model vybrať až po matematicko-fyzikálnej analýze (model s neznámymi parametrami je zostrojený na základe znalosti základných fyzikálnych zákonov a ďalších známych závislostí (tzv. „gray box“). V iných prípadoch, ak nechceme resp. ani z časových ani z iných dôvodov nemôžeme brať do úvahy fyzikálnu podstatu modelovaného reálneho procesu, je možné použiť štandardné lineárne modely. Tento prístup sa nazýva „black box“.
 - vyhodnotenie kvality modelu a výber „najlepšieho“ sa vykonáva na základe toho ako je model schopný reprodukovať namerané dáta. Ako sa vykonáva výber najlepšieho modelu je schématicky znázornené na nasledujúcom obrázku 2.



Optimalizačný algoritmus vypočítava zo známych informácií (štruktúra modelu, rozdiel v chovaní reálneho procesu a modelu, tredu kritéria $J(p)$,...) „najlepšie“ hodnoty optimalizovaných koeficientov p a to tak, aby bolo minimalizované (resp. maximalizované) kritérium $J(p)$.

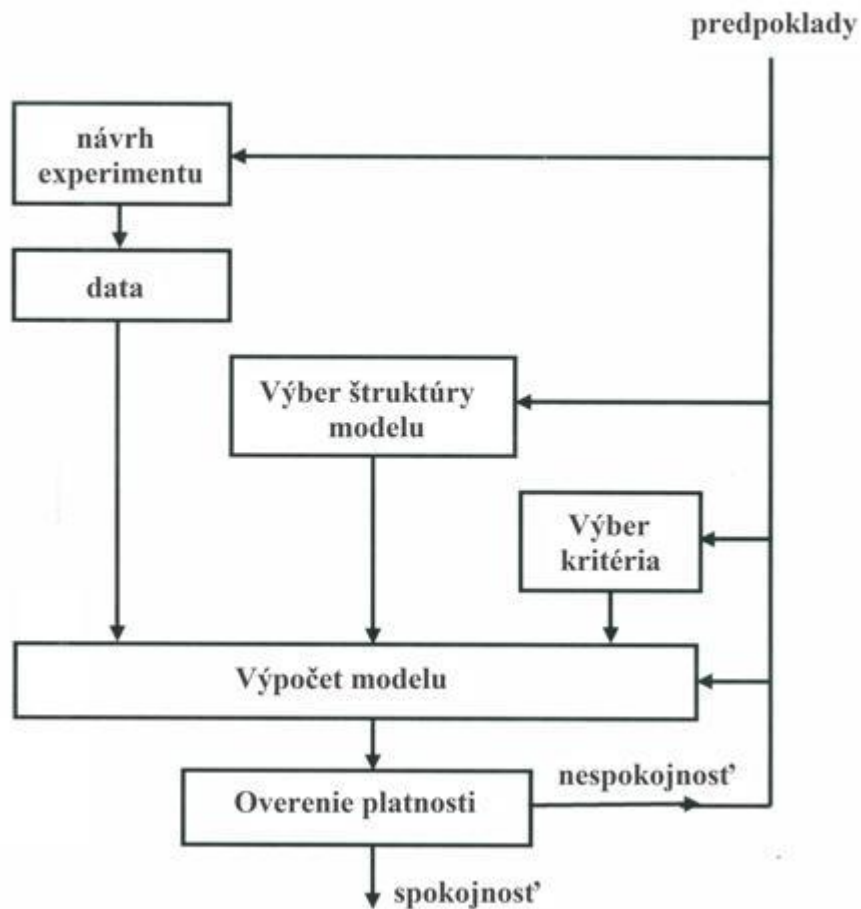
Obrázok 2 : Schéma pre výber modelu. Prevzaté z (3).

1.3 Overenie platnosti modelu

Test platnosti modelu hodnotí:

- ako navrhnutý model odpovedá nameraným dátam (simulácia napr. Matlab a pod.),
- ako navrhnutý model odpovedá známym fyzikálnym závislostiam (kontrola fyzikálnych rozmerov parametrov a veličín, hodnoty parametrov v prechodovom režime a ustálenom stave, dynamické charakteristiky apod.)
- hodnotí vhodnosť modelu z hľadiska účelu použitia (analýzu a syntézu riadenia, reguláciu, trénažer a pod.)

Uvedený postup je znázornený na obrázku 3:



Obrázok 3: Postup pri návrhu a testovaní modelu. Prevzaté (2).

Postup pri hľadaní modelu je obecné možné definovať nasledovne:

- nameranie a spracovanie dát
- návrh štruktúry modelu
- výber „vhodného“ modelu

Poznámka:

Získaný model nemôže byť nikdy prijatý ako konečný a pravdivý popis reálneho procesu, jeho vlastnosti reprodukuje len s určitou presnosťou

Dôvody, pre ktoré model nevyhovuje:

- chybný numerický algoritmus, ktorý hľadá najlepší model podľa daného kritéria
- chybné zvolené kritérium
- nevhodná štruktúra modelu
- namerané dáta nie sú dostatočne informatívne

2. Štruktúry modelov

Všeobecne platný algoritmus pre voľbu štruktúry modelu nieje možné vypracovať. Pri hľadaní a návrhu jednoduchého a vyhovujúceho modelu má intuícia. Z predošlej kapitoly vyplýva, že vytvoriť tzv. „pravdivý model“ je prakticky nemožné a vo veľkej miere závisí od navrhovateľa a do akej hĺbky zväži fyzikálnu podstatu modelovaného reálneho procesu a čo sa rozhodne zanedbať.

Vo všeobecnosti existujú rôzne skupiny modelov a výber medzi týmito skupinami je určený nasledovne:

- účel modelovania
- pracovné podmienky pri ktorých bude model použitý (rozsahy a vlastnosti vstupov, šumov a pod.)
- prípustných nákladov na model
- rôznych ďalších informácií (napr. informácia o riadiacom systéme, s ktorým bude model spolupracovať a pod.)

Klasifikácia modelov.

Podľa normatívnych alebo deskriptívnych intencií rozlišujeme tieto typy modelov:

- rozhodovacie modely; vznikajú na základe potreby získať modelovaním reálneho subprocesu prostriedok pomocou ktorého je možné stanoviť poznatky o vlastnostiach v budúcnosti
- znalostné modely; ich úlohou je vysvetlovať a zdôvodňovať javy (stavy) v štruktúre (vnútri) reálneho procesu
- popisné modely; slúžia pre popis statických a dynamických charakteristík (vlastností) reálneho procesu

Z hľadiska prístupu k modelovaniu je možné definovať nasledovné typy modelov:

- „White box“ model
- „Black box“ model

Ich vlastnosti sú definované v nasledovnej tabuľke 1.

Tabuľka 1: Vlastnosti modelov z hľadiska štruktúry. Prevzaté z (1).

MODELÝ		
	„White Box“	„Black Box“
Parametre	majú konkrétny význam	nemajú konkrétny význam
Simulácia	dlhá a zložitá	rýchla a jednoduchá
Fyzikálne informácie o systéme	môžu byť viditeľne zahrnuté	väčšinou sa neberú do úvahy
Oblasť platnosti modelu	veľká (ak je správna štruktúra)	obmedzená

2.1 Lineárne a nelineárne modely

Vo všeobecnosti rozlišujeme dva typy linearít:

- Modely lineárne vo vstupoch
- Modely lineárne v parametroch
- Model je lineárny vo vstupoch ,ak jeho výstupy spĺňajú princíp superpozície s ohľadom na jeho vstupy. V praxi: ak sa hovorí o linearite ide o tento typ linearity.
- Model je lineárny v parametroch, ak jeho výstupy spĺňajú princíp superpozície s ohľadom na jeho parametre.

Model je nelineárny,ak neplatí princíp superpozície.

Pri tvorbe modelu reálneho procesu sú preferované lineárne štruktúry pred nelineárnymi. Pre modely lineárne vo vstupoch existuje rozsiahla matematická teória (stabilita, robustnosť, adaptívnosť, pozorovateľnosť a pod.).

V praxi sa s lineárnym systémom v celom rozsahu vstupno-výstupných veličín stretáme len zriedkavo a preto majú lineárne štruktúry len obmedzenú oblasť použiteľnosti.

Pre modelovanie nelineárnych systémov je možné aplikovať neurónové siete.

2.2 Dynamické modely spojité a diskkrétne v čase.

Vlastnosti týchto modelov sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke 2. Prevzaté (1).

Tabuľka 2: Vlastnosti spojitéch a diskrétnych modelov

MODEL Y		
	<i>Spojité oblasť</i>	<i>Diskrétna oblasť</i>
Parametre	nezávisia na vzorkovacej perióde	závisia na vzorkovacej perióde
Simulácia	vyžaduje diskretizáciu	jednoduchá
Fyzikálne informácie o systéme	môžu byť viditeľne zahrnuté	väčšinou sa neberú do úvahy
Doby vzorkovania	nezávisle vybrané	dané vzorkovacou periódou

2.3 Deterministické a stochastické modely

Druhy modelov popísaných v predošlom patria do skupiny deterministických systémov,t.j. neuvažuje sa vplyv náhodných porúch.V praxi je tento postup nedostatočný, pretože na reálny proces pôsobia rôzne poruchy a merania sú zaťažované rôznymi chybami. Podrobnejší popis [3].

Preto sa definuje ďalšia skupina modelov tzv. stochastické procesy u ktorých sú poruchy popísané pomocou teórie pravdepodobnosti.

V závislosti na tom,akým spôsobom sa prejavuje porucha na výstupe systému, môžu byť definované rôzne štruktúry modelov .

3. Kvalita modelov

Kvalita modelu, alebo nájdených parametrov pre zvolenú štruktúru modelu, je posudzovaná kritériom akosti v tvare tzv. účelovej funkcie J . Nájdenie najlepšieho možného modelu je realizované optimalizáciou účelovej funkcie. Spoločné charakteristiky pre hľadanie optima sú nasledovné:

- Počet hľadaných parametrov je malý, väčšinou menší než desať (je možné použiť model desiateho rádu)
- Účelová funkcia je hladká
- Optimalizácia nemá obmedzenia pre hľadané parametre
- Vplyv rôznych hľadaných parametrov na účelovú funkciu je veľmi nerovnomerný
- Účelová funkcia má lokálne optima, ktoré nemusia byť zhodné s jej najlepšou možnou hodnotou

3.1 Kritériá kvality modelov

Kritériom výberu „najlepšieho“ modelu je v našom prípade účelová funkcia $J(p)$ vyhodnocovaná pre parametre modelu p . Je zrejmé, že optimálne parametre modelu p závisia na voľbe účelovej funkcie $J(p)$.

Nech vektor y je výsledok merania na reálnom procese a vektor $y_m(p)$ ako výstup hľadaného modelu $M(p)$. Popísaný postup je uvedený na obrázku 2.

V dôsledku pôsobiacich porúch na reálny proces väčšinou nieje možné dosiahnuť rovnakého výsledku merania y , pri opakovanom experimente, y je preto náhodný vektor.

Kritérium najmenších štvorcov

Kvadratické účelové funkcie sú najpoužívanejšie kritériá a to pre relatívne jednoduchú optimalizáciu (pre lineárne modely je možné vypočítať optimum kvadratickej účelovej funkcie analyticky).

3.2 Obecné metódy minimalizácie účelovej funkcie

V predošlom bola prezentovaná optimalizačná metóda najmenších štvorcov pre prípady, keď účelová funkcia je kvadrát chyby modelu a samotný model je lineárny v parametroch. Pre nelineárne štruktúry modelov uvedený postup na hľadanie optima účelovej funkcie nie je možné použiť. Metódy vhodné pre tento prípad je možné rozdeliť:

- Gradientové metódy a metódy jednorozmerného hľadania
- Metóda konjugovaných smerov, kvázinewtonovská metóda
- Metódy globálnej optimalizácie

Algoritmy uvedených metód sú implementované v súčasnosti v systémoch CAE (napr. Matlab).

4. Záver

Modelovanie a simulácia technologických procesov v energetike významnou mierou zjednodušuje a ekonomicky zvýhodňuje návrh, realizáciu, testovanie a uvádzanie riadiacich systémov do prevádzky. V článku sú uvedené informácie o modelovaní a simulácii technických procesov aplikovaných v dnešnej praxi.

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) P. Bastian: Grundlagen der Modellierung und Simulation, Vorlesungen, Universität Stuttgart, 2008
- (2) M. Otter: Modeling, Simulation and Control with Modelica 3.0 and Dymola 7, Preliminary Draft, 2009
- (3) P. Noskovič: Modelování a identifikace systému, Ostrava, Montanex 1999, ISBN-80-7225-030-2

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