

doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur  
ČVUT v Praze, Fakulta stavební  
Katedra hydrotechniky  
Thákurova 7  
166 29 Praha 6

---

### **Oponentní posudek disertační práce**

Zpracovatel disertační práce: Ing. Tomáš Kozel

Název disertační práce: Stochastické řízení zásobní funkce nádrže  
s pomocí metod umělé inteligence

Školitel: prof. Ing. Miloš Starý, CSc.

Oponent: doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur

Cílem disertační práce Ing. Tomáše Kozla je sestavení stochastického řídicího algoritmu zásobní funkce nádrže s využitím metod umělé inteligence. Disertační práce je s ohledem na použité metody řešení rozdělena do dvou částí. V první části jsou řešeny stochastické předpovědní modely pro předpovídání procesu přítoku do nádrže na úrovni měsíčního kroku. Druhá část je věnována konstrukci algoritmu řízení, pro jehož sestavení jsou využívány metody z oblasti umělé inteligence, zejména pak genetické a evoluční algoritmy, neuronové sítě a fuzzy modely.

#### **Aktuálnost tématu disertační práce**

Hydrologické extrémny, které se vyskytly v posledních letech, vyvolaly potřebu rozvoje metod a systémů řízení vodních zdrojů v podmínkách stochastické neurčitosti. Uplynulé hydrologicky velmi suché období 2014 až 2017 potvrdilo potřebu zabývat se také operativním řízením zásobní funkce nádrží a vodohospodářských soustav. Dále lze očekávat, že budoucí vliv klimatické změny neumožní využít pro kalibraci řídicích systémů historické řady a východiskem zde může být konstrukce adaptivních modelů na bázi metod umělé inteligence. Předložená disertační práce představuje v této souvislosti vynikající počín a lze ji považovat za vysoce aktuální.

#### **Splnění cílů disertační práce**

Základním cílem disertační práce bylo navržení stochastických řídicích systémů zásobní funkce nádrže. Uvedený cíl byl bezezbytku splněn. Student zpracoval obdivuhodné množství modelů pro konstrukci stochastické předpovědi měsíčních přítoků do nádrže, které porovnal podle původních kritérií na principu entropie. Nejlepší navržený předpovědní model potom sloužil pro využití v řídicím modelu, který byl opět vybrán z velkého množství testovaných variant lišících se metodou optimalizace pro výběr řízeného odtoku na bázi umělé inteligence.

#### **Postupy řešení problému a výsledky disertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda**

Prognózování říčních průtoků na bázi časových řad průměrných měsíčních průtoků je obecně velmi obtížné s omezenou spolehlivostí předpovědi. Pro řešení uvedené problematiky se nabízí využít meteorologických předpovědí a hydrologického modelu nebo úlohu řešit na podkladě autokorelačních vlastností samotných průtokových řad. Doktorand využil druhou

z uvedených možností. Spolehlivost předpovědí na měsíční bázi je však zpravidla velmi nízká, protože regresní vazby mezi sousedními průtoky jsou obvykle velmi volné. Za velmi zajímavé řešení pokládám využití tzv. zonálního modelu vyvinutého školitelem doktoranda. Tento model oproti standardnímu autoregresnímu modelu pracuje s různými regresními vazbami v závislosti na velikosti průtoků napřed klasifikovaným do zón. Využití metod z oblasti umělé inteligence pro konstrukci řídicího systému je velmi obsáhlé a obsahuje značné množství původních vylepšení a korekcí optimalizovaného systému řízení. Velmi kladně hodnotím schopnost doktoranda programovat na výborné úrovni, což mu umožnilo přistoupit k řešení disertace velmi tvůrčím způsobem bez závislosti na komerčních programech a dosáhnout původních výsledků. Za určitou rezervu považuji velmi stručnou řešerši současného stavu poznání, která je příliš krátká a v některých pasážích je zpracována jako seznam článků a ne jako kritická řešerše. V textu jsou také odkazy na články, které nejsou v seznamu literatury.

Za konkrétní přínos doktoranda lze označit využití stochastických předpovědí pro řízení zásobní funkce nádrže.

### **Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru**

Disertační práce rozvíjí adaptivní řízení zásobní funkce nádrží s využitím stochasticky generovaných přítoků. Současná praxe zpravidla využívá pro rozhodování o omezování odběrů vody pro různé uživatele dispečerské grafy, které zohledňují pouze současný stav systému bez využití prognózy. Význam adaptivních řídicích systémů nabírá na důležitosti zejména v podmínkách očekávané klimatické změny. Z těchto důvodů považuji přínos disertační práce pro praxi za nepochybný.

### **Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň**

Formální a grafická úprava disertační práce je na dobré úrovni. Práce obsahuje minimum formálních chyb.

### **Otázky a připomínky**

1. Použitý Burgessův model na str. 15 je vlastně lineární autoregresní model prvního řádu a není proto důvod ho zmiňovat zvlášť. V rovnici (4.5) je chybně uvedena směrodatná odchylka náhodné složky. Má být:  $(1-\rho^2)^{1/2}$ . Popsaný lineární autoregresní model v rovnici (4.6) na str. 17 není správný, protože zavádí náhodnou složku generovanou z  $N(0,1)$  bez redukce reziduálního rozptylu. Náhodnou složku *rnd* je třeba redukovat vynásobením členem:  $(1-\rho_1 a_1 - \rho_1 a_2 - \dots - \rho_k a_k)^{1/2}$ , což je opět směrodatná odchylka náhodné složky.
2. Vztah pro standardizaci normální veličiny  $y$  na normální veličinu  $z \in N(0,1)$  je uveden v rovnicích (4.3) a (4.16) chybně.
3. Doporučuji vysvětlit význam účelové funkce pro optimalizaci řídicího systému podle rovnice (4.8) a důvod proč právě tento výraz vede na optimální řízení.
4. V práci mi chybí vyčíslení kumulované hodnoty účelové funkce za simulované období pro jednotlivé varianty řídicích modelů a jejího porovnání s hodnotou pro klasické řízení na konstantní odtok bez omezování odtoku z nádrže až do vzniku poruchy vlivem vyprázdnění zásobního prostoru. Také by bylo zajímavé srovnání s deterministicky optimalizovaným řízením odvozeným za teoretického předpokladu znalosti přítoku do nádrže za celé simulované období. To by umožnilo zhodnotit objektivně efektivitu navržených řídicích systémů vzhledem k oběma mezním hodnotám.

5. Při porovnávání jednotlivých systémů řízení je zaváděna řada korekcí z důvodu stabilizace řízené veličiny a zabránění skokovým manipulacím. Tento požadavek na řízení by bylo možná vhodné opět objektivizovat pomocí exaktního kritéria namísto subjektivního hodnocení trajektorií řízené veličiny.
6. Pro názornější a průkaznější doložení efektivity navrženého řízení by bylo vhodné jej otestovat na reálné nádrži. To by umožnilo porovnat chování nádrže během zaznamenaných hydrologicky suchých období a diskutovat výsledky se správci této nádrže včetně dalších provozních hledisek.
7. V práci mi chybí zřejmý důkaz, v čem je přínosná stochasticky generovaná předpověď ve srovnání s případem, kdy by se použila jediná deterministická předpověď – tedy bez generování náhodné složky v mnoha opakováních metodou Monte Carlo nebo LHS. Toto doložení by bylo vhodné zejména s ohledem na vysokou daň použití stochastických předpovědí z důvodu velmi velkého nároku na výpočetní čas. V případě stochasticky generovaných předpovědí je pro výsledné rozhodnutí o velikosti odtoku z nádrže využít jejich určitý kvantil (85-95%). Zde by se v případě využití jediné deterministické předpovědi dal rovněž zahrnout určitý redukční koeficient z intervalu (0,1).
8. Předpokládám, že paměť použitého počítače uvedená na str. 110 je v GB (a ne v MB).

#### **Závěrečné zhodnocení**

Závěrem je možné konstatovat, že předložená disertační práce je zpracována na aktuální téma a přináší původní a velmi zajímavé výsledky. Přínos pro rozvoj oboru je nepochybný a doktorand prokázal vysokou míru orientace v uvedené problematice.

Disertační práce splňuje všechny požadavky kladené na doktorské disertační práce podle § 47 odst. 4 zákona o vysokých školách a standardně kladené požadavky na disertační práce v daném oboru. Student prokázal schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje. Disertační práce obsahuje původní výsledky, které byly uveřejněny.

Doporučuji disertační práci přijmout k obhajobě.

V Praze, dne 24. listopadu 2017



doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur