

Operativní řízení odtoku vody z nádrže za průchodu povodně

Stary, M.

VUT FAST Brno, Ústav vodního hospodářství krajiny

Abstrakt

Příspěvek se zabývá možnostmi využití teorie fuzzy logiky při operativním řízení provozu nádrže za průchodu povodně. Sestavený PI fuzzy regulátor /Mamdani/ zabezpečuje v příslušném regulačním obvodu vlastní nastavení řízeného odtoku při výrazně se měnícím stavu nádrže. Tato změna je vyvolána změnou přítoku vody do nádrže. Velikost požadovaného řídicího odtoku je stanovena nelineární optimalizací. Kriteřiem optimalizace je hodnota kulminačního odtoku vody z nádrže, která je minimalizována. Vysoká stabilita regulačního pochodu je předpokladem pro další vývoj modelu. Opakovanou optimalizací, kdy trvání období, ve kterém je optimalizace prováděna, je shodné s délkou prognózovaných průtoků, je možno postupně určit hodnoty řídicích průtoků. Simulací chování nádrže pak lze pomocí fuzzy regulátoru opakovaně vyčíslit skutečné hodnoty řízeného odtoku vody z nádrže. Úloha je řešena v prostředí MATLAB [2] za použití Fuzzy Logic Toolboxu.

1. Úvod

Povodně, které se v naší Republice v posledních několika letech se zvýšenou frekvencí vyskytují, měly v řadě případů katastrofické následky. Úkolem nás vodohospodářů je minimalizovat všemi dostupnými prostředky případné následky povodní budoucích, jejichž výskyt není možno vyloučit a jejichž rozsah a velikost není možno přesně předpovědět, protože se jedná o přírodní jevy. Jednou z možností, jak snížit jejich důsledky v povodích s vodními nádržemi, je maximálně využít transformační potenciál v nádržích ukrytý. To jest, provádět za průchodu povodní jejich operativní řízení, neboli řízení v reálném čase. Existuje tedy rezerva, každá ze stávajících nádrží tuto možnost potenciálně poskytuje. Vždyť žádná projektová dokumentace nádrží, ani stávající provozní předpisy tuto možnost jako povinnost provozovatele neuvádějí. Nádrže se tak řídí pomocí stávajících manipulačních řádů, vycházejících z dispečerských grafů a zaběhnutých pravidel řízení. Průběhy povodní však začínají být natolik atypické, že ne vždy tento způsob řízení splňuje svoje očekávání. To se může projevit jak u jednotlivých nádrží, tak především u soustav nádrží spolupracujících v rámci vodohospodářské soustavy. Ve světovém měřítku je kvalitních softwarových produktů, umožňujících provádět operativní řízení odtoku vody z povodí s jednou a více nádržemi jako šafránu a řídicí algoritmy určené pro tento účel jsou převážně ve stadiu výzkumu [1] a ověřování [3]. Předložený článek se zabývá ověřením možností kombinace metody optimálního programování s metodou fuzzy logiky pro sestavení regulátoru, který by v první fázi umožňoval operativní řízení pouze izolované nádrže.

2. Metoda

Izolovaná nádrž představuje samostatný vodohospodářský prvek v povodí s výraznými dynamickými (přenosovými) vlastnostmi. Ty určují, při daném okamžitém plnění nádrže $V(t)$ a přítoku vody do nádrže $Q(t)$ velikost odtoku vody z nádrže $O(t)$. Vztah těchto veličin popisuje tzv. základní rovnice nádrže:

$$\frac{dV}{dt} = Q(t) - O(V(t)),$$

která je základní diferenciální rovnicí prvního řádu. V ní je přítok vody do nádrže $Q(t)$ známou veličinou, jejíž okamžitá hodnota je dána převážně měřením. Budoucí průběh přítoku na časovém úseku o trvání $\Delta\tau$ je možno odhadnout pomocí srážkoodtokových modelů v horní části povodí, které nádrž uzavírá. V tomto případě je nezastupitelnou podmínkou znalost předpovědi příčinné srážky v této části povodí jakožto vstupní veličiny příslušných předpovědních srážkoodtokových modelů. Okamžitý objem vody v nádrži $V(t)$ je získán měřením vodního stavu $H(t)$ - výška hladiny a přepočtem $H(t)$ na $V(t)$ pomocí známé relace (grafy, tabulky). Odtok z nádrže, ve vodohospodářské terminologii řízený odtok, závisí na okamžitém plnění nádrže a na hydraulických vlastnostech přelivných zařízení, tj. především šířky přelivné hrany a typu přelivu. Dále závisí na hydraulických vlastnostech spodních výpustí, tj. především na délce, průměru a procentu otevření spodních výpustí, na tvaru vtoku a výtoku a na typu uzávěrů. Pokud má tedy nádrž pouze pevný nehrazený přeliv je

možno /za určitého zjednodušení problému/ při daném plnění nastavit velikost řízeného odtoku pouze příslušným otevřením spodních výpustí. Nastavením spodních výpustí se tak přiřadí nádrži takové dynamické vlastnosti, při kterých z nádrže při daném plnění odtéká požadovaný řízený odtok. Tento odtok je v daném regulačním obvodu veličinou řídicí, skutečný řízený odtok veličinou řízenou, regulační uzávěr akčním prvkem a vlastní procento otevření spodních výpustí veličinou akční.

Při průchodu povodně se přítok vody do nádrže $Q(t)$ v čase výrazně mění. Snahou provozovatele je, aby transformovaný odtok vody z nádrže $O(t)$, jakožto odezva na měnící se přítok vody, dosahoval ve své kulminaci co možná nejnižších hodnot. Což vede ve svém důsledku k požadavku na maximální zploštění odtoku. Vlastní úloha konstrukce řídicího algoritmu se tak rozpadá na dvě dílčí úlohy:

- První úlohou je volba takového typu regulátoru, který bude schopen při zadaném spojitým časovém průběhu veličiny řídicí a spojitě se měnícím se stavu nádrže po zadaných časových krocích postupně určovat hodnoty změny veličiny akční (změna nastavení uzávěrů). To vše při dostatečné stabilitě regulačního pochodu. Pro tento účel byla ověřována možnost fuzzy-regulace. Použitý fuzzy regulátor je typu PI /proporciálně integrální). Pravidla v tomto modelu mají tvar:

if $e = \langle \text{hodnota} \rangle$ and $\Delta e = \langle \text{hodnota} \rangle$ then $\Delta u = \langle \text{hodnota} \rangle$,

kde značí: e - regulační odchylku mezi řídicím a řízeným odtokem, Δe - změnu regulační odchylky, Δu - změnu akčního zásahu /změna otevření spodních výpustí/. Nová hodnota akčního zásahu je dána součtem akčního zásahu v předchozím časovém kroku a nově určeného akčního zásahu. Je použit fuzzy model Mamdani. Defuzifikace je provedena metodou středu plochy.

- Druhou úlohou je nutnost určení veličiny řídicí. Je řešena pomocí simulačního modelu s optimalizovanou volbou parametru. Pro volbu parametru byla pro jednoduchost zvolena mřížková /grid/ metoda z oblasti nelineárního programování. Kriteřiem optimalizace byla hodnota kulminačního průtoku. Toto kriteřiem bylo minimalizováno. Vlastní simulace chování nádrže byla řešena metodou Runge-Kutta 4.řádu [4]. Odtoky z nádrže jsou v každém časovém kroku výpočtu vyčíslovány pomocí fuzzy-regulátoru.

Operativní řízení provozu nádrže za průchodu povodně je uvažováno jako on-line. Je sekvencí rozhodovacích časových bodů, vzájemně posunutých o časový krok Δt . V nich se opakovaně dopřesňuje předpověď budoucího přítoku vody do nádrže /délka předpovědi limituje časový krok Δt /, měřením určí okamžité plnění nádrže a následně optimalizací určí hodnota řídicí veličiny. Výstupní varianta ze simulačního modelu pak určuje i spojitý časový průběh všech dílčích odtoků vody z nádrže a spojitý průběh celkového řízeného odtoku. Tyto veličiny jsou nezbytně nutné pro vlastní regulaci prováděnou obsluhou nádrže.

3. Aplikace

Popsaný postup byl zprogramován v prostředí MATLAB s využitím Fuzzy Logic Toolboxu. Výsledný program RIZOD umožňuje provádět:

- simulaci řízení provozu nádrže pomocí fuzzy regulátoru při subjektivně zadané hodnotě řídicí veličiny,
- stanovit hodnotu řídicí veličiny s tím, že tato hodnota je v průběhu optimalizovaného období konstantní.

Program RIZOD byl použit pro některé analýzy na fiktivní nádrži, která má základní charakteristiky převzaty z nádrže Brno. Liší se pouze zjednodušením přelivných a výpustných zařízení /náhrada hrazených přelivů pevným, jediná spodní výpust a není uvažován odtok vody přes elektrárnu/. Přítok vody do nádrže je dán přítokem do nádrže Brno v průběhu povodně z 12.7 až 16.7. 1974 /okamžité hodinové průtoky/. Ve všech případech počáteční poloha hladiny nádrže leží v úrovni koruny bezpečnostního přelivu.

Na obrázku č.1 jsou znázorněny použité funkce příslušnosti odpovídající regulační odchylce, změně regulační odchylky a změně akčního zásahu. Každá veličina obsahuje devět funkcí příslušnosti, ve kterých značí příslušné číslo resp. symbol odpovídající vágní ohodnocení:

1-NBB- záporná značně velká, 2-NB-záporná velká, 3-NM-záporná střední, 4-NS-záporná malá, 5-ZO-nulová, 6-PS-kladná malá, 7-PM-kladná střední, 8-PB-kladná velká, 9-PBB-kladná značně velká.

Příslušná báze pravidel fuzzy regulátoru je znázorněna v tabulce č.1. První vodorovný řádek odpovídá vágnímu ohodnocení regulační odchylky, první sloupec vágnímu ohodnocení difference regulační odchylky. Odpovídající kombinace příslušného řádku a sloupce odpovídá přiřazenému vágnímu ohodnocení změny otevření spodní výpusti.

A. Na obrázku č.2 je znázorněna simulace řízení na konstantní řídicí odtok zadaný počáteční hodnotou přítoku, tj. $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při zvedajícím se průtoku se spodní výpust zavírá /modrá čára/ a voda odtéká z nádrže pouze přes bezpečnostní přeliv /červená čára/ - to vše v obrázku Celkový a dílčí řízené odtoky. Celkový /zelený/ odtok je překryt červenou čarou. Tento způsob manipulace odpovídá nejčastější běžné manipulaci.

B. Na obrázku č.3 je ukázka maximálního možného vyrovnání přítoku s řízeným odtokem. Řídicí průtok byl postupně s krokem $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ zvedán až na hodnotu $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Fuzzy regulátor se snažil tuto hodnotu dodržet /zelená čára znázorňující celkový odtok/. Nejdříve pouze spodními výpustmi. Při stopajícím přítoku a plnění nádrže pak kombinací odtoku spodními výpustmi a přepadem. Je zřejmé, že při dalším zvedání řídicího průtoku by došlo i ke zvedání celkového řízeného odtoku, což není žádoucí. Rovněž při poklesu řídicího průtoku by došlo ke zvednutí kulminačního řízeného odtoku /odtok přes přeliv/, protože znázorněného stavu bylo dosaženo pouze za cenu značného předpouštění. Toto je sice pro laika ideální stav, protože kulminační průtok byl drasticky snížen až na hodnotu cca $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V praxi je to však nereálná hodnota, protože pro její určení by bylo nutno znát přesnou předpověď průtoků na celé řešené období. Takováto předpověď však nikdy nebude k dispozici. Postup však lze využít při řízení off-line. Při dodatečných analýzách problému.

C. Na obrázku č.4 je provedena simulace operativního řízení odtoku, která se snaží přiblížit reálným provozním podmínkám. Předpokládá se, že prognóza přítoku je známá na 24 hodin dopředu. Na takovémto období se optimalizací opakovaně hledá velikost řídicího průtoku, při kterém je minimalizován celkový kulminační odtok vody z nádrže. Na ten je provedena simulace chování nádrže. Rozhodovací časové body jsou vzájemně posunuty po 12 hodinách. V nich se předpokládá opětovná dopřesněná znalost předpovědi přítoku na 24 hodin dopředu, znalost plnění nádrže získaná měřením a opět se opakuje optimalizace. Tento postup je vlastně postupnou adaptací řízení na změnu přítoků vody do nádrže a na měnící se stav nádrže. Zelená čára opět odpovídá celkovému odtoku vody z nádrže, modrá pak odtoku spodními výpustmi a červená odtoku přes bezpečnostní přeliv. Je zřejmé, že nebylo dosaženo takového efektu jako v předchozím případě. Kulminační odtok však byl snížen asi na $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. I to je však podstatné snížení ve srovnání s řízením uvedeným v odstavci A. Z obrázku je zřejmé rovněž intenzivní předpouštění odtoku před nástupem povodně. To by bylo jistě ještě větší při prodloužení délky prognózy až na 48 hodin, což je pro současný typ meteorologických předpovědních modelů předpovídajících příčinné srážky limitní stav. Snížení kulminačního průtoku by pak bylo ještě výraznější. Rovněž vzájemný posun rozhodovacích časových bodů by bylo možno zkrátit až na hodnotu 3 hodin, což je hodnota akceptovatelná praxí.

4. Závěr

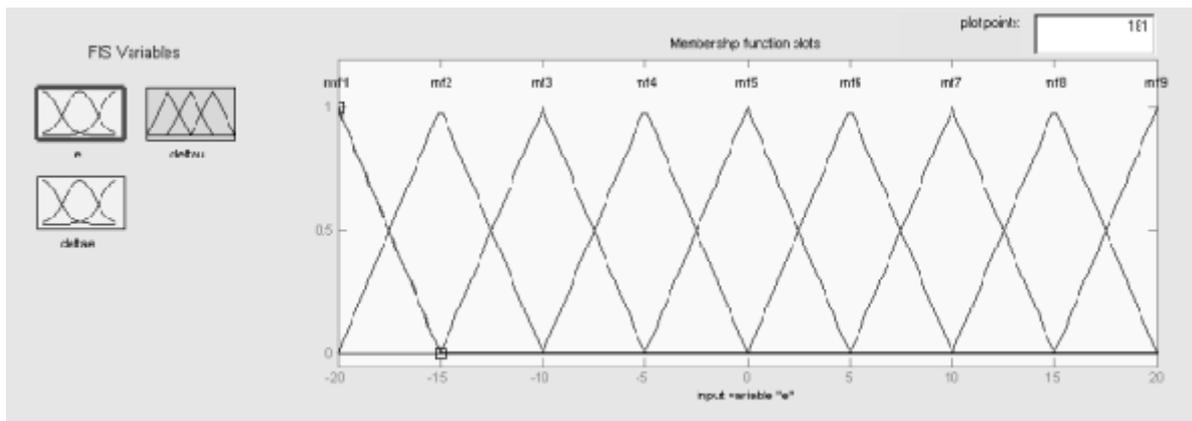
Protože se uvedený postup jeví jako velmi účinný, předpokládá se jeho další ověření na jiných povodních a nádržích. Bude provedena citlivostní analýza vlivu délky předpovědi a trvání vzájemného posunu rozhodovacích časových bodů na dosažené efekty řízení. Předpokládá se rovněž aplikace daného postupu na systém několika spolupracujících nádrží v rámci vodohospodářské soustavy.

Použitý fuzzy PI regulátor překvapil svojí stabilitou a prokázal, že je vhodným nástrojem pro daný účel.

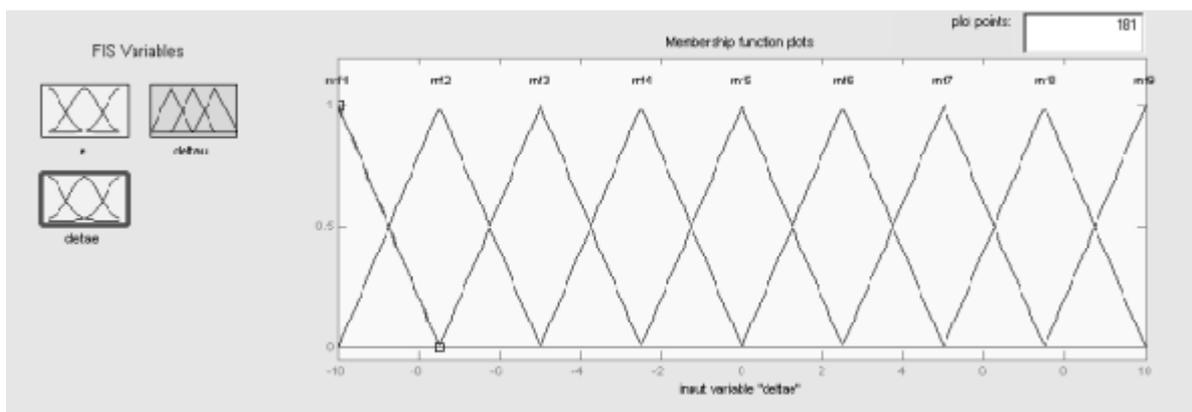
Příspěvek byl zpracován v rámci řešení grantového projektu GAČR "Problematika operativního řízení vodohospodářských soustav v podmínkách neurčitosti" pod číslem 103/01/0201.

5. Literatura

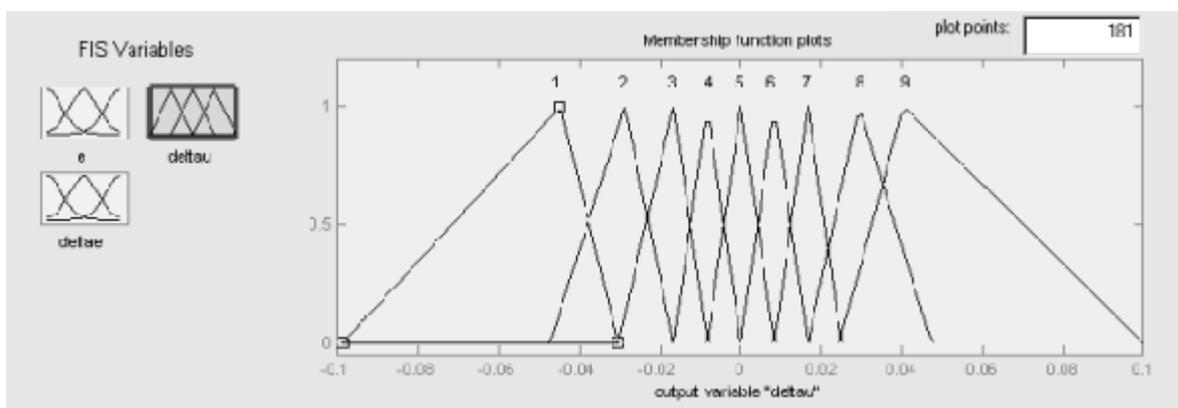
- [1] Drbal, K.: Operativní řízení povodňových průtoků fuzzy regulací v dolní části vodohospodářské soustavy, disertační práce, VUT FAST, Brno, říjen 1999, 158 s.
- [2] MATLAB, The Language of Technical Computing, The MathWorks, 1984-2001.
- [3] Starý, M.: HYDROG. Software pro simulaci a operativní řízení odtoku vody z povodí. Brno, 1991-2001.
- [4] Starý, M.: Nádrže a vodohospodářské soustavy, VUT FAST, Brno, 1990.



Odchylka e



Diference odchylky Δe

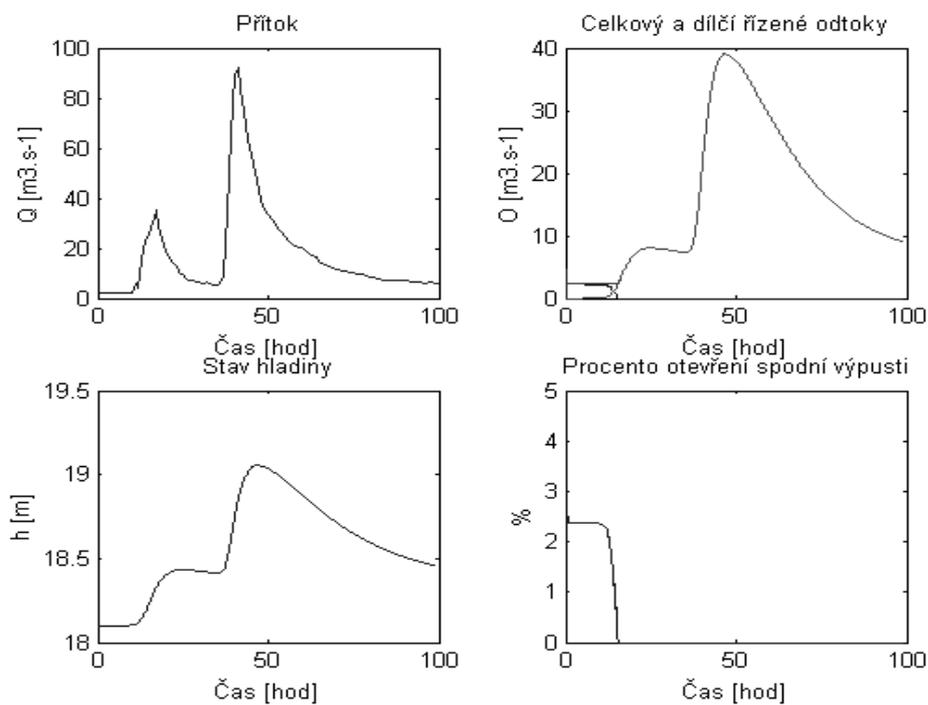


Diference regulačního zásahu Δu

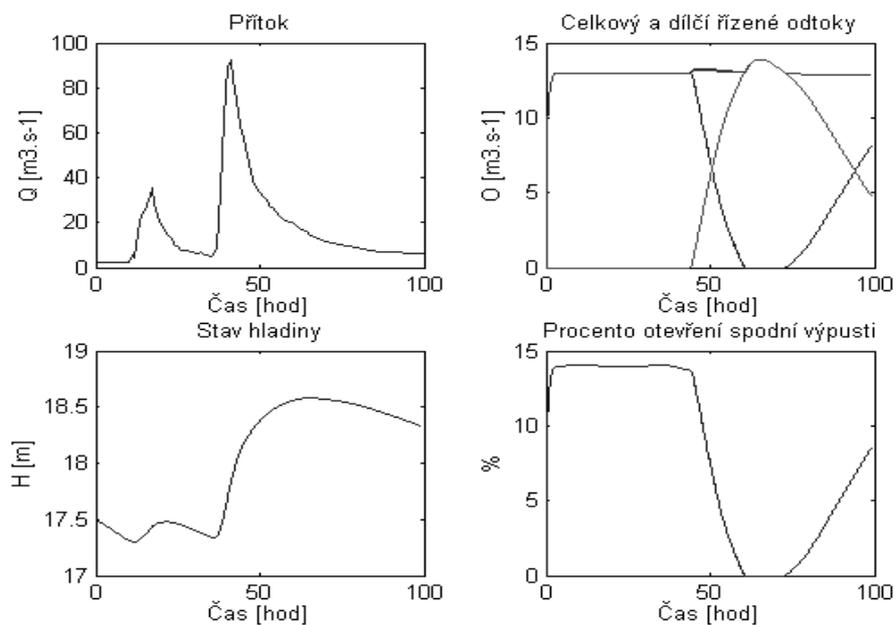
Obr.č.1. Funkce příslušnosti

Tab. č.1. Báze pravidel

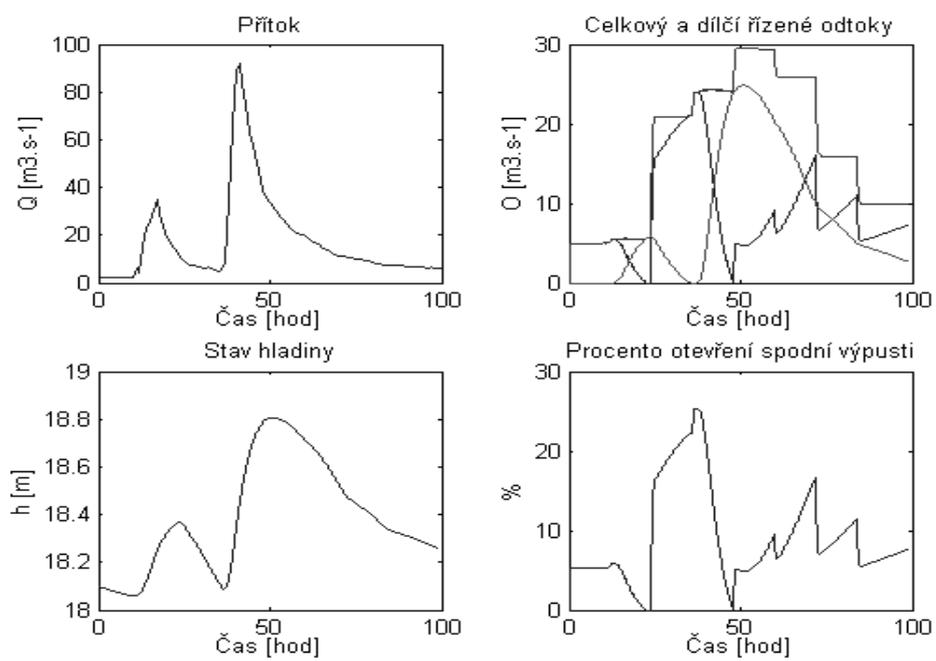
$e/\Delta e$	NBB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PBB
NBB	PBB	PBB	PBB	PBB	PBB	PB	PM	PS	ZO
NB	PBB	PBB	PBB	PBB	PB	PM	PS	ZO	NS
NM	PBB	PBB	PBB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM
NS	PBB	PBB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
ZO	PBB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NBB
PS	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NBB	NBB
PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NBB	NBB	NBB
PB	PS	ZO	NS	NM	NB	NBB	NBB	NBB	NBB
PBB	ZO	NS	NM	NB	NBB	NBB	NBB	NBB	NBB



Obr.č.2. Řízení na konstantní odtok $2,5 m^3 \cdot s^{-1}$



Obr.č.3. Maximální vyrovnání přítoku a odtoku



Obr.č.4. Simulace operativního řízení