

# POSTPROCESOR MODELU KVALITY VODY V NÁDRŽI

*Pavel Fošumpaur*

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky

## 1. Úvod

Problematika modelování kvality vody v nádrži patří mezi důležité oblasti výzkumu ve vodním hospodářství. Spolehlivá znalost rozložení kvalitativních ukazatelů vody v nádrži je klíčová nejenom v případě vodárenských nádrží, ale hraje důležitou úlohu i pro další environmentální hlediska. Příspěvek obsahuje popis využití prostředí MATLAB pro účelnou komunikaci a zpracování dat ve spolupráci s modelem kvality vody v nádrži CE-QUAL-W2.

## 2. Model kvality vody v nádrži

Model CE-QUAL-W2 je matematický dvojrozměrný model kvality vody, který předpokládá homogenní podmínky v příčném směru a hodí se především pro poměrně dlouhé a úzké nádrže, jezera, ústí toků do těchto nádrží a vybrané úseky toků [1]. Historie tohoto modelu sahá do roku 1975, kdy vznikl jeho první kód pod názvem LARM (Laterally Averaged Reservoir Model), který se postupně vyvinul do první verze modelu CE-QUAL-W2. Následující druhá verze modelu již doznala četných vylepšení ve smyslu matematického popisu řídicích rovnic studovaných procesů a výpočetní efektivity, nicméně program stále neobsahoval žádný postprocesor pro názornou prezentaci výsledků. Tento nedostatek částečně řeší současná třetí verze programu. Data mohou být v průběhu simulace zobrazována pomocí dostupného komerčního programu Compaq Array Viewer. Tento způsob vizualizace dat však není optimální z několika důvodů. Proces simulace nelze z vnějšku nijak zastavit a to vylučuje možnost zobrazení rozložení kvality vody podle vybraného ukazatele v libovolném okamžiku. Dále uživatel nemá žádnou kontrolu nad výstupními daty pro další operace s nimi, např. pro potřeby modelu řízení kvality vody v nádrži [2].

Model CE-QUAL-W2 umožňuje simulaci všech hlavních hydrodynamických ukazatelů a vybraných ukazatelů kvality vody v podélném profilu nádrže. Z hydrodynamických veličin jmenujme především rozdělení rychlostí (horizontální a vertikální složka), teploty, hustoty a viskozity vody. Model umožňuje simulaci velkého počtu ukazatelů kvality vody, mezi které patří rozpuštěné látky, nerozpuštěné látky, koliformní bakterie, fosforečnany, amoniakální dusík, dusičnany a dusitany, železo, organické látky, rozpuštěný kyslík, a další.

Vstupní data jsou následující:

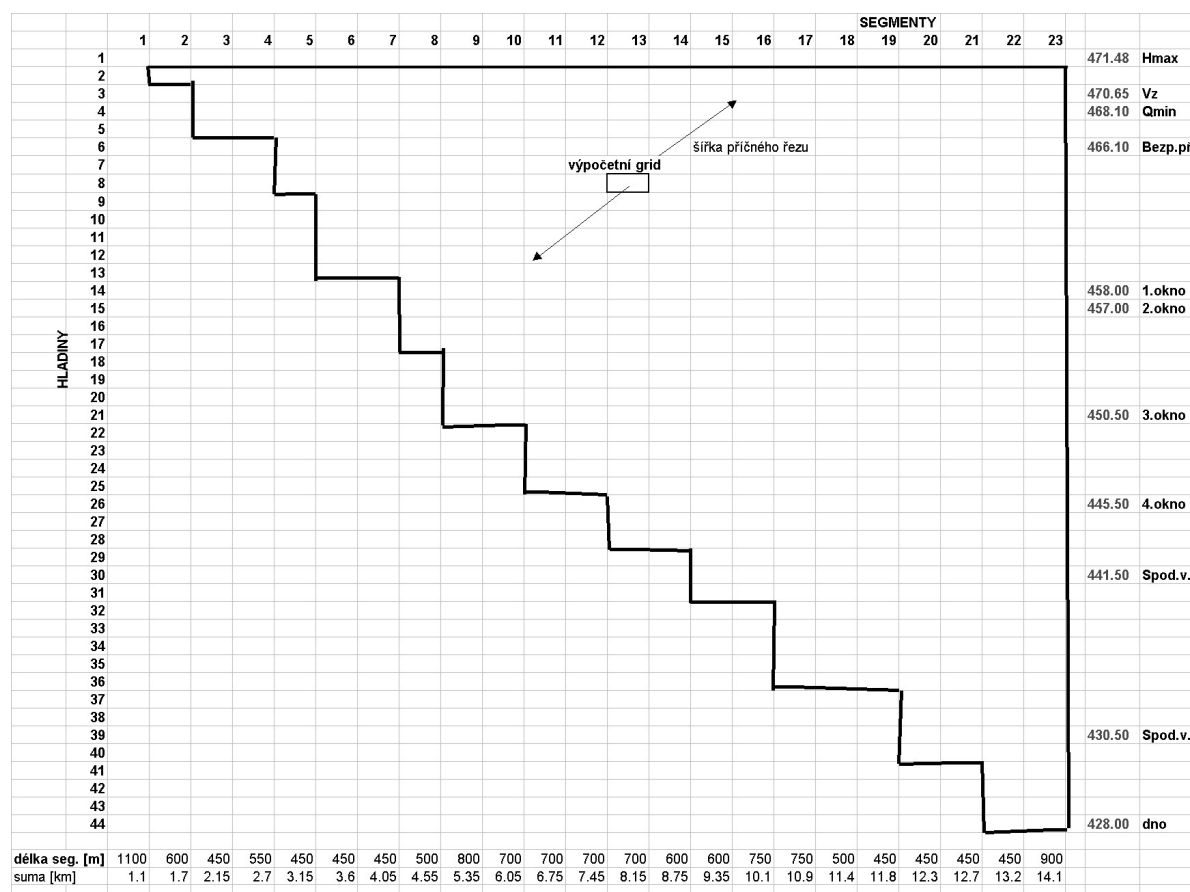
- geometrická data - batymetrie nádrže (příčné řezy nádrží), dále kóty bezpečnostních přelivů a jejich délky, umístění a rozměry spodních výpustí a odběrných zařízení,
- počáteční podmínky - rozdělení hydrodynamických a kvalitativních ukazatelů na počátku simulace,
- okrajové podmínky - časové řady přítoků do nádrže, teplot, síly a směru větru, vybraných simulovaných kvalitativních ukazatelů (jednotlivé časové řady nemusejí být s konstantním časovým krokem),
- kalibrační data - slouží pro kalibraci hydraulických a kinetických parametrů.

Komunikace s programem je umožněna pomocí vstupních a výstupních textových souborů s pevně daným formátem proměnných.

### 3. Nádrž Římov

Pro aplikační část byla zvolena nádrž Římov na Malši. Důvodem je především velké množství dostupných dat pro tuto nádrž, která poskytl Hydrobiologický ústav AV ČR v Českých Budějovicích. Nádrž Římov byla vybudována v letech 1971-1978. Hlavním účelem vodního díla je zásobení vodárenské soustavy jižních Čech pitnou vodou, nádrž dále slouží pro udržování minimálního průtoku pod přehradou v hodnotě  $650 \text{ l.s}^{-1}$ . Hráz je kamenitá sypaná z místních materiálů se středním šikmým těsněním. Výška hráze je 50 m a délka vzdutí dosahuje 13 km.

Výpočetní schéma modelu CE-QUAL pro nádrž Římov je znázorněno na obr.1, ze kterého vyplývá, že nádrž je rozdělena vertikálně na celkem 44 hladin v šířce jeden metr. První hladina je dána vrstvou jeden metr pod maximální hladinu v nádrži 471,48 m n.m. a poslední hladina je pak dána vrstvou jeden metr silnou nade dnem nádrže (428 m n.m.). Podélně je nádrž rozdělena na segmenty po cca 500 metrech (první segment představuje zónu okrajových podmínek). Tím je dán výpočetní grid modelu, který určuje polohu simulovaných ukazatelů v každém výpočetním gridu uvnitř nádrže, t.j. v trojúhelníkovém prostoru vymezeném dnem, hladinou a hrází nádrže.

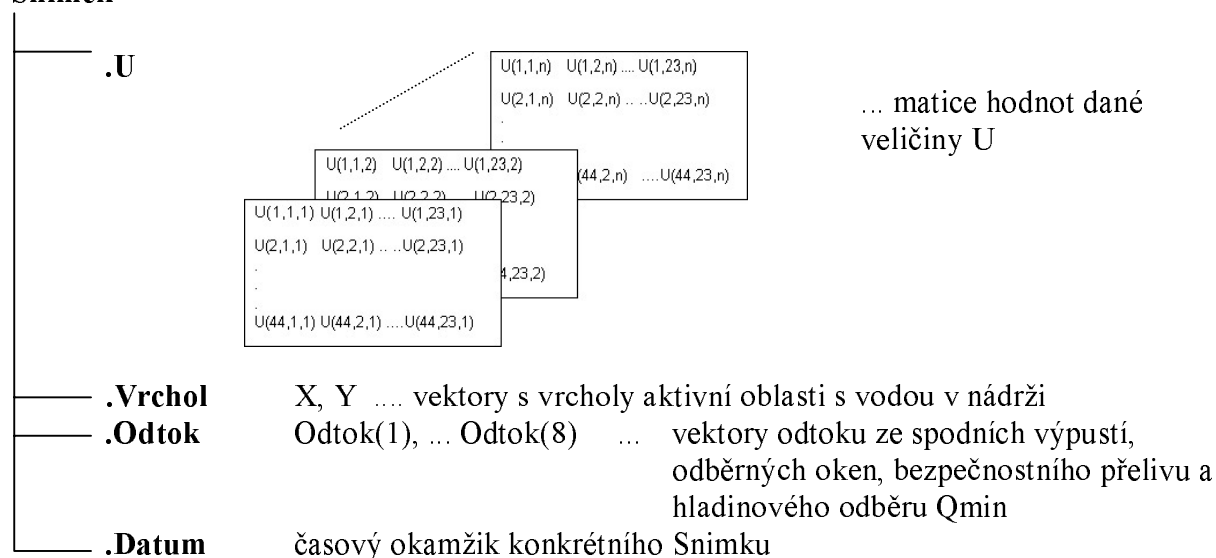


Obr.1 Výpočetní schématicizace modelu CE-QUAL pro nádrž Římov na Malši

V obr.1 je dále vyznačena úroveň kóty zásobního prostoru v nádrži (prostor, který slouží k hospodaření s vodou pro zásobení pitnou vodou) - 470,65 m n.m. Symbolem Qmin je vyznačen hladinový odběr teplejší vody od hladiny nádrže pro zabezpečení minimálního zůstatkového průtoku pod hrázi, bezpečnostní přeliv je na kótě 466,10 m n.m. Z hlediska řízení kvality vody v nádrži je podstatné umístění čtyř odběrných oken etážového odběrného objektu, které slouží pro odběr vody na úpravnu.

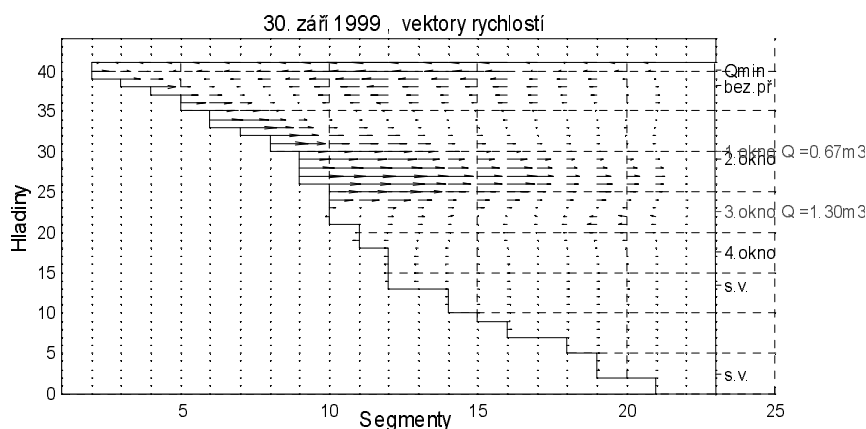
Pro chod postprocesoru je klíčová výměna dat mezi programem CE-QUAL a kódem v MATLABU. Tento proces může být uskutečněn buď až po provedení celého výpočtu najednou nebo může být prováděn periodicky po každém výpočetním kroku. Data jsou načítána do matlabovské struktury. Celý proces změn kvality vody v nádrži představuje dynamický systém, který je popsán množinou statických okamžiků, ve kterých hledáme rozložení jednotlivých studovaných veličin v nádrži a které jsou od sebe časově posunuty o předem stanovený časový interval (v našem případě byl volen jeden den). Okamžitý stav rozložení hydrodynamických a kvalitativních ukazatelů v nádrži je ukládán do struktury **Snimek** podle následujícího schématu:

### Snimek



Hodnoty sledovaných veličin v nádrži **Snimek.U** jsou ukládány do matic třírozměrného pole, kde každá matice odpovídá rozložení jedné veličiny. Počet a typy sledovaných veličin lze snadno měnit. Počet položek struktury **Snimek** je při denním časovém kroku 365 za rok. Při počtu deseti sledovaných veličin za rok zabírá uložená struktura **Snimek** cca 35 MB místa na pevném disku. Veličina **Snimek.Vrchol** slouží pro grafické účely a obsahuje souřadnice polygonu vrcholů oblastí, ve které je v aktuálním výpočetním kroku voda.

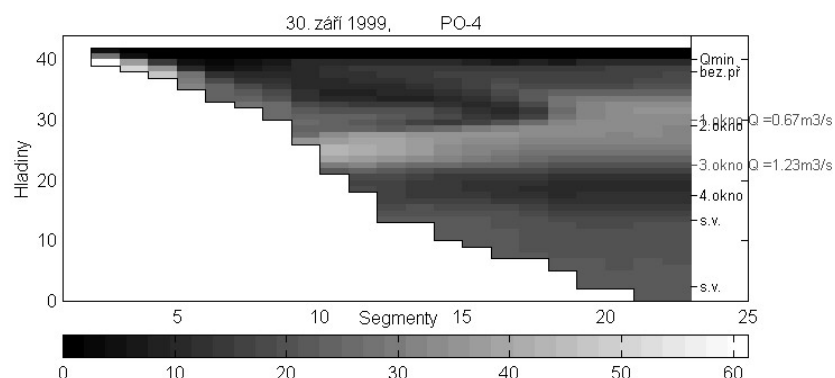
První příklad výstupu z postprocesoru je uveden na obr.2, který obsahuje vektorový graf rozdělení rychlostí v nádrži dne 30.9.1999, kdy bylo otevřeno pouze 1. a 3. odběrné okno.



Obr.2 Rozdělení vektorů rychlostí v nádrži Řimov dne 30. září 1999

Vektory jsou složeny z horizontální a vertikální složky, přičemž horizontální složka je zpravidla řádově větší. Opačný směr proudění vody směrem od hráze k ústí v povrchové

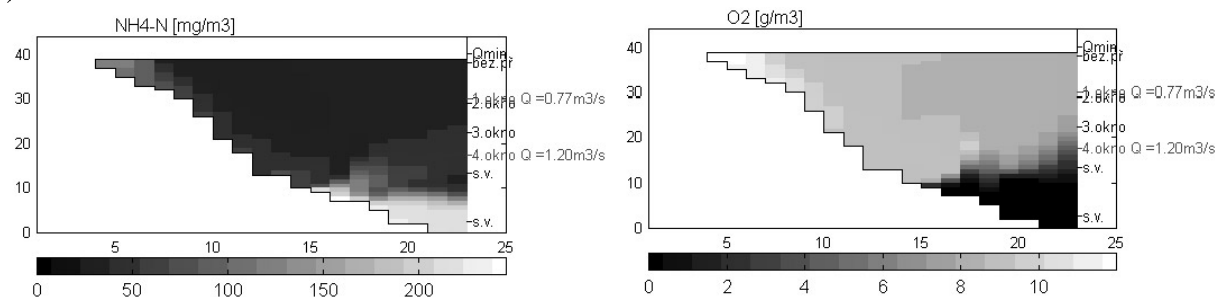
vrstvě v nádrži podle obr.2 je způsoben větrem, který v uvedené době vanul proti vzdušnému svahu hráze. Z hydrobiologického hlediska je významné rozdělení fosforu PO-4 v nádrži (obr.3), který podmiňuje výskyt řas a zelených organismů ve vodě. Z obr.3 jsou patrné zvýšené koncentrace fosforu mezi 20 a 30 hladinou, které se propagují ve směru proudění vody v nádrži podle obr.2 až k otevřeným odběrným oknům č.1 a 3.



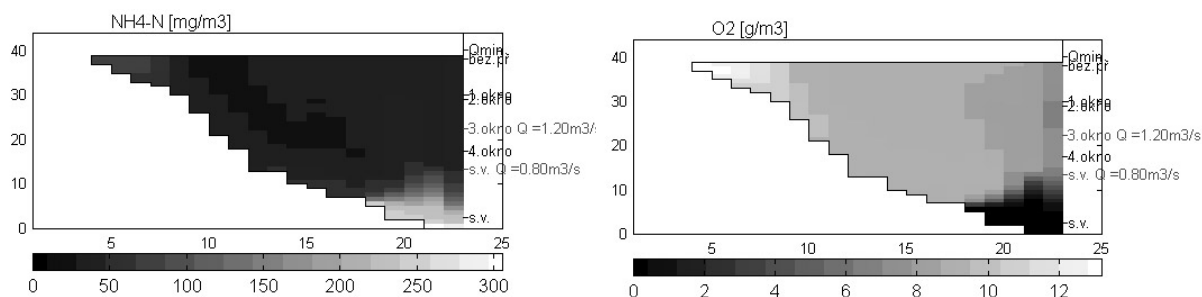
Obr.3 Rozdělení PO-4 v nádrži Řimov dne 30. září 1999

Druhý příklad výstupu z postprocesoru modelu kvality vody v nádrži je zobrazen na obr.4 a znázorňuje proces vypuštění nekvalitní vody ze spodních hladin nádrže v období od 9. do 18. listopadu 1999.

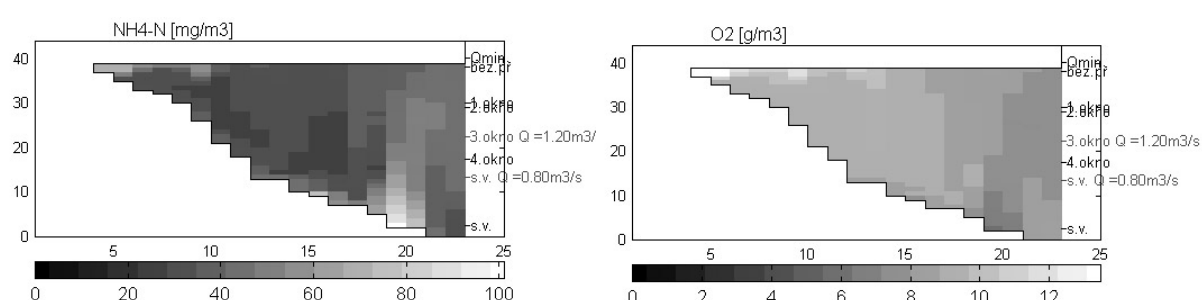
a) 9.XI 1999



b) 15.XI 1999



c) 18.XI 1999



Obr.4 Vývoj amoniakálního dusíku a rozpuštěného kyslíku v nádrži Řimov během vypuštění nekvalitní vody ze spodní části nádrže v období 9.-18. XI. 1999

V podzimních měsících 1999 došlo k typickému zhoršení kvality vody ve spodní části nádrže, která se projevuje zvýšením koncentrací amoniakálního dusíku a nedostatkem rozpuštěného kyslíku. Situace je znázorněna na obr.4a, kde je patrné, že odtok z nádrže byl realizován pouze prvním a čtvrtým odběrným oknem odběrného objektu. Počínaje dnem 15. listopadu byla otevřena spodní výpust s cílem vypustit nekvalitní vodu ode dna (obr.4b). Z obr.4c je patrné, že 18. listopadu došlo k významnému zlepšení kvality vody v nádrži.

#### **4. Závěr**

Příspěvek informuje o problematice modelování kvality vody v nádrži pomocí dvojrozměrného modelu CE-QUAL-W2 a demonstuje postprocesor sestavený v prostředí MATLAB. Postprocesor umožňuje snadnou komunikaci s modelem kvality vody a přehlednou vizualizaci simulace hydrodynamických ukazatelů a ukazatelů kvality vody. Samozřejmostí je tvorba animovaných sekvencí změn těchto ukazatelů v čase. Hlavní výhodou odladěného postprocesoru v prostředí MATLAB je jeho možné využití pro potřeby operativního řízení kvality vody v nádrži.

#### **Literatura**

- [1] COLE, T.M., WELLS, S.A.: CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.0, Instruction Report EL-2000-, US Army Engineering and Research Development Center, Vicksburg, MS.
- [2] NACHÁZEL, K., PATERA, A., HEJZLAR, J.: Fuzzy model řízení jakosti vody v nádrži, j.Hydrol. Hydromech., 47, 1999, 3, 153-179.

#### **Poděkování**

Příspěvek byl zpracován za podpory grantů GA ČR reg.č. 103/02/D049 "Návrh modelů řízení ve vodním hospodářství a jejich optimalizace" a reg. č. 103/01/0201 "Problematika řízení vodohospodářských soustav v podmínkách neurčitosti". Poděkování rovněž patří Ing. Josefu Hejzlarovi, CSc. z Hydrobiologického ústavu AV ČR v Českých Budějovicích za poskytnutá data.

#### **Kontaktní adresa:**

Dr. Ing. Pavel Fošumpaur, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6  
e-mail: fosump@fsv.cvut.cz  
Tel.: 02/2435 4425  
Fax: 02/2435 5408