

# NÁDRŽ KLÍČAVA – VZTAH KVALITY VODY A INTENZITY VODÁRENSKÉHO VYUŽÍVÁNÍ

**RNDr. Jindřich Duras, Ph.D.**

Povodí Vltavy, s. p., Denisovo nábřeží 14, 304 20 Plzeň; e-mail: duras@pvl.cz

## ÚVOD

Vodárenská nádrž Klíčava byla vybudována v levostranném bočním údolí řeky Berounky na málo vodném Klíčavském potoce. Napuštěna byla v roce 1955 s účelem zásobovat vodou Kladno a okolí. Nádrž je úzká, korytovitá s hladinou chráněnou před větrem poměrně vysokými a příkrými svahy klíčavského údolí. Z tabulky základních charakteristik (tab. 1) je vidět, že Klíčava patří mezi poměrně hluboké nádrže s dlouhou dobou zdržení vody. Tato vlastnost předurčuje, že pro kvalitu vody nádrže bude mít velký význam hydrologických poměrů v jednotlivých letech.

**Tabulka 1. Základní charakteristiky nádrže Klíčava**

Kóta přelivu (m n.m., B.p.v.)	294.60
Objem (mil. m <sup>3</sup> ) a plocha (ha) k přelivu	8.9 a 64
Plocha povodí ke hrázi (km <sup>2</sup> )	80.1
Max. a průměrná hloubka (m)	32 a 13.5
Prům. průtok v profilu hráze (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	0.180
Teoretická doba zdržení vody (dny)	534

Kvalita vody v nádrži byla zhodnocena před 11 lety [1], přičemž byla zdůrazněna důležitá role hydrologického režimu – na němž se zásadním způsobem podílí odběr surové vody úpravnou (obr. 1) - a byly doloženy základní situace v chování nádrže. V tomto příspěvku budou na vývoji hydrologických poměrů nádrže v posledním desetiletí potvrzeny závěry uvedené dříve a bude zdůrazněna úloha množství odebírané vody jako činitele utvářející její kvalitu.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

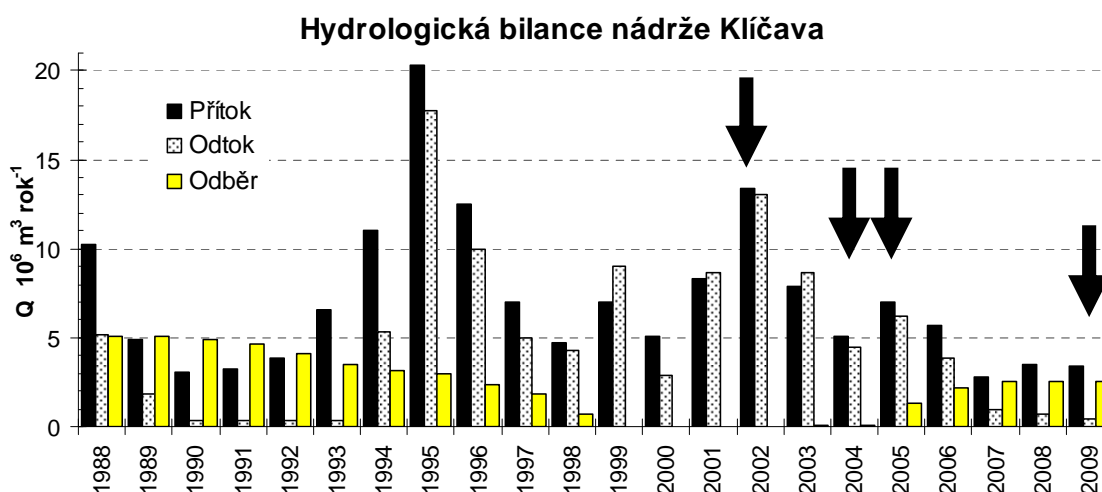
Již dříve [1] byly popsány v chování nádrže Klíčava dvě základní situace:

(i) V suchých letech je vody nedostatek, takže i když je průtok vody základovou výpustí minimální, dochází k velkému zaklesnutí vodní hladiny (začátkem 90. let cca o 13-14 m, objem se snížil na 1/4) a nádrž pracuje ve víceletém cyklu. Zaklesnutí hladiny je doprovázeno výrazným zhoršením kyslíkových poměrů. Redukční podmínky v hypolimniu (vrstva vody od hloubky cca 6 m níže) znamenají intenzivní uvolňování Mn ze sedimentu a také produkci H<sub>2</sub>S. Zároveň se z bahna uvolňuje také fosfor, jenž je klíčovým prvkem řídicím růst fytoplanktonu, včetně sinic, takže dochází k tzv. vnitřnímu zatížení nádrže fosforem. Ve vrstvách vody u dna se důsledkem anaerobních poměrů zvyšuje vodivost, která indikuje zvýšenou koncentraci rozpuštěných látek, tedy skutečnost, že voda u dna se vyznačuje zvýšenou specifickou hmotností. Tím je způsobena zvýšená odolnost vodního sloupce k celkovému promíchání na podzim a na

jaře, takže v některých letech anaerobní poměry se všemi negativními důsledky přetrvávají – alespoň částečně - i do následující sezóny.

(ii) Ve vodných letech je možné odpouštět vodu základovou výpustí, což má příznivý vliv na kyslíkový režim, takže k anoxii u dna dochází jen v omezené míře a k anaerobii (hlubším redukčním procesům) vůbec. Hypolimnion pak představuje velkou zásobu kvalitní surové vody. Zároveň ale vyšší přítok vody znamená, že se do nádrže dostává zvýšené množství fosforu, jenž podporuje růst fytoplanktonu v povrchových vrstvách vody.

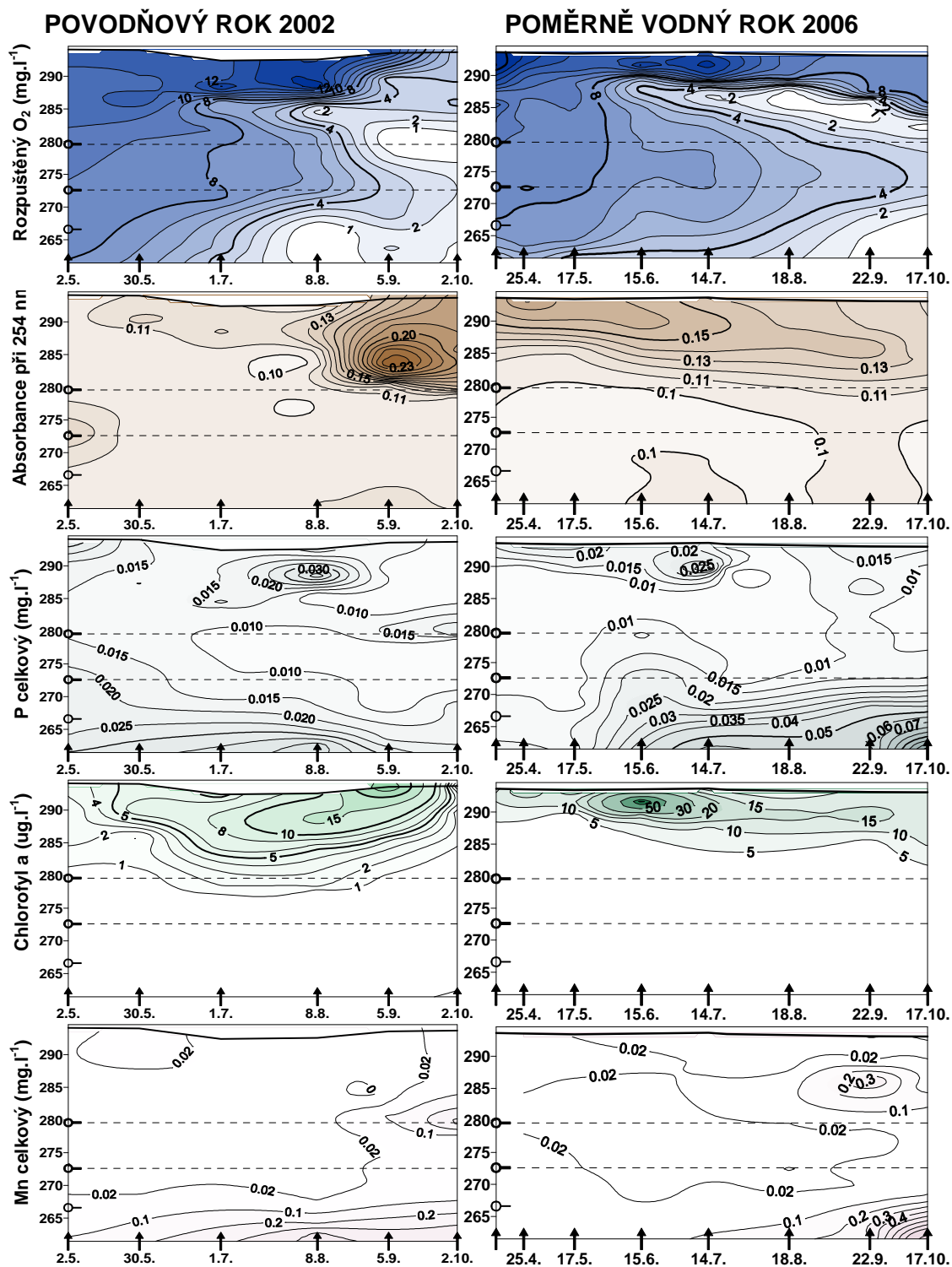
Tyto dvě popsané základní situace jsou výrazně modifikovány velikostí odběru vody úpravnou. Čím je odběr vody vyšší, tím je riziko negativního dopadu málo vodných let na kvalitu vody větší, a naopak. Nádrž Klíčava nám umožnila pohled na vývoj kvality vody během různě intenzivního odběru vody (obr. 1). Začátkem 90. let se odběr surové vody zhruba rovnal dlouhodobému průměrnému průtoku v profilu hráze s následkem několikaletého zaklesnutí hladiny v suchých letech. Následovalo šestileté období, kdy byl odběr vody z nádrže přerušen, a v roce 2005 byl odběr opět obnoven, a to nejprve v úrovni cca  $60 \text{ l.s}^{-1}$ , pak došlo ke zvýšení na cca  $80 \text{ l.s}^{-1}$  s výhledem na  $120 \text{ l.s}^{-1}$ .



**Obr. 1. Hydrologická bilance VN Klíčava**

V období 1999-2004 nebyla úpravnou voda z nádrže odebírána. Šipkami jsou označeny roky, které jsou dále zpracovány do izočárových grafů: Povodňový rok 2002, poměrně vodný rok 2006, dále málo vodný rok 2004 v době zastavení vodárenského odběru a suchý rok 2009 při odběru surové vody zhruba  $80 \text{ l.s}^{-1}$ .

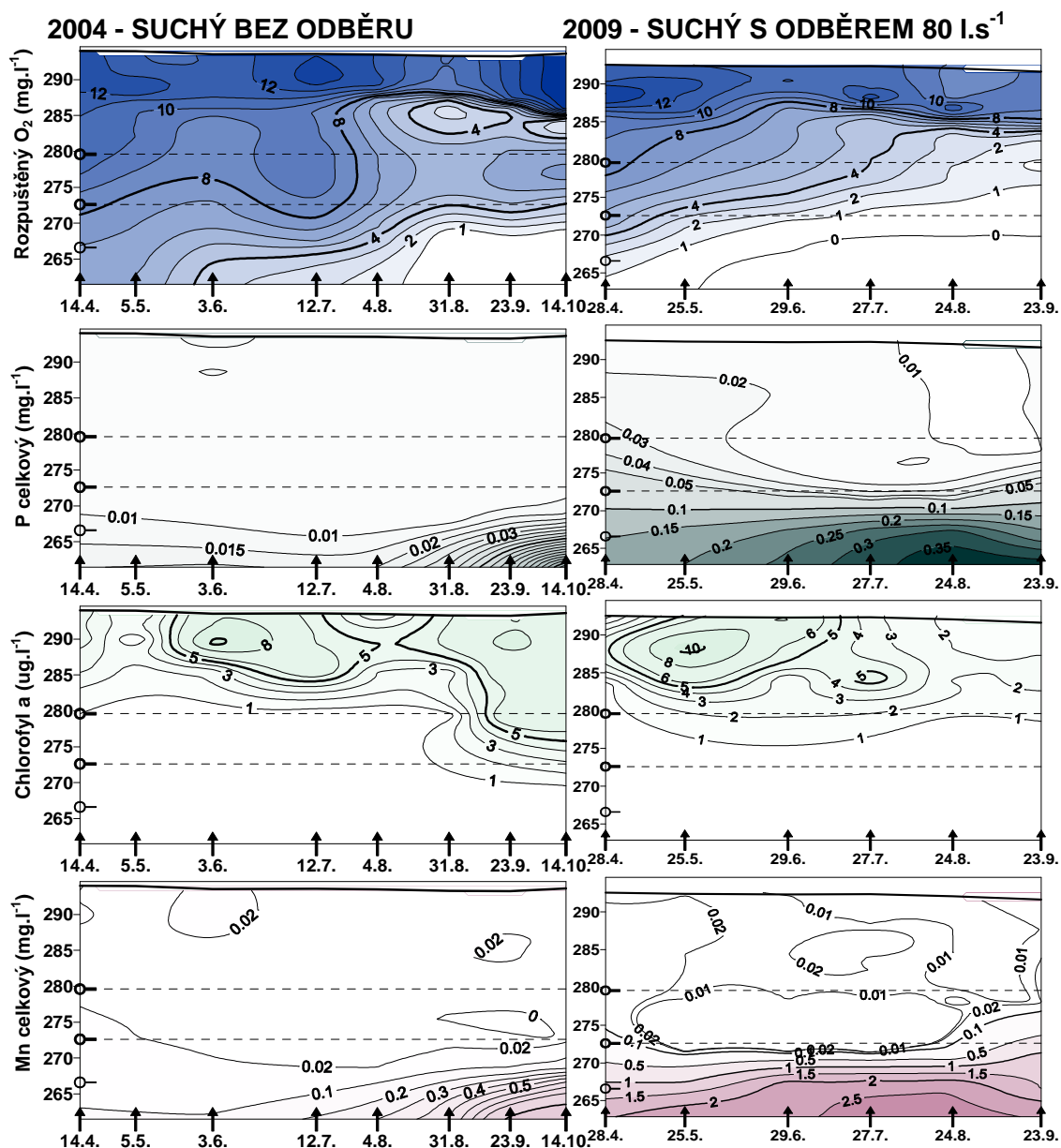
Situace ve vodných letech je zachycena na sérii grafů na obr. 2. Jsou vidět poměrně dobré kyslíkové poměry s mírným uvolňováním Mn pouze v těsné blízkosti dna – obsah Mn je nízký a úroveň odběrových etáží nezasahují. Zároveň je na hodnotách absorbance (indikace vstupu huminových látek) zřetelně vidět, že zvýšené průtoky přitékající vody se zařadily do povrchových vrstev nádrže, kam s sebou vnesly také významné množství fosforu. Na zvýšenou přítomnost limitující živiny zareagoval fytoplankton – v uvedených letech byla zjištěna dlouhodobá maxima. Zvýšená biomasa fytoplanktonu sice nezasáhla až do vrstev, odkud byla odebírána surová voda, ale měla za následek zřetelné tzv. metalimnetické kyslíkové minimum – sedimentující biomasa byla hned pod produkční vrstvou rozkládána za spotřeby kyslíku.



**Obr. 2. VN Klíčava – kvalita vody ve vodních letech**

\* Šipky označují data odběru vzorků vody, symboly na ose y – poloha odběrových etáží

Na kyslíková minima pak navazovaly mírně zvýšené koncentrace Mn (pravá střední část dolních grafů), které sem postoupily z horních částí nádrže a mohly se projevit mírným zhoršením kvality surové vody.



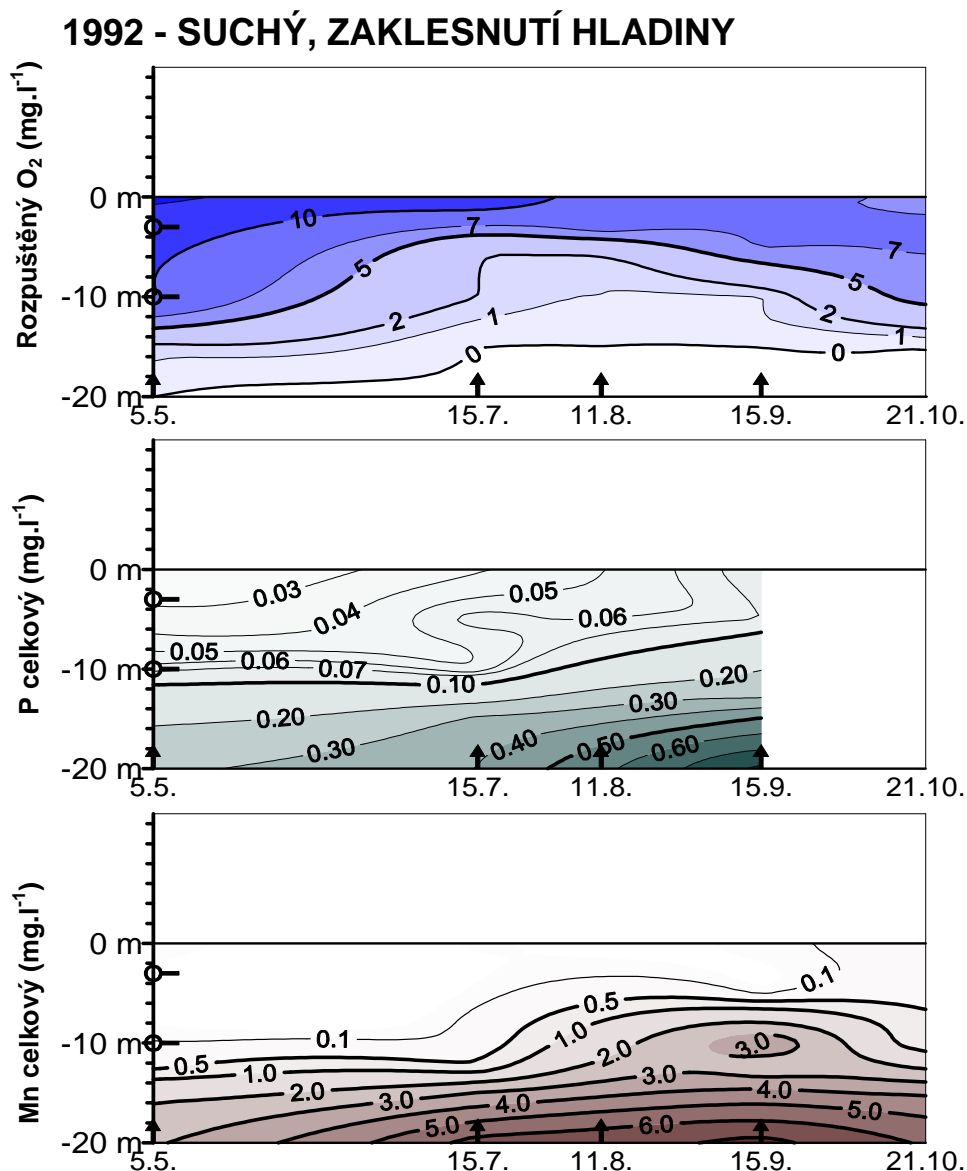
**Obr. 3. VN Klíčava – kvalita vody ve vodních letech**

\* Šipky označují data odběru vzorků vody, symboly na ose y – poloha odběrových etáží

Grafy ilustrující situaci v suchých letech (obr. 3) dokládají zhoršené kyslíkové poměry, kdy anoxie zasahují daleko ode dna - až do výše odběrových horizontů. Přitom v roce 2009, kdy byla z nádrže odebírána surová voda, a tedy nedocházelo k odpouštění základovou výpustí, byla situace výrazně horší, dokonce byla ve hloubce 25 m zaznamenána po letech opět přítomnost  $H_2S$ . Přímým důsledkem anoxických poměrů bylo uvolňování Mn a P ze sedimentů. Je vidět, že v roce 2009 nastoupily vysoké koncentrace Mn podstatně dříve (nedostatečné promíchání vodního sloupce po předchozím, rovněž suchém roce), dosáhly výrazně vyšších hodnot a postihly významně i úroveň odběrových etáží. Poměrně vysoké koncentrace P u dna jsou sice účinně odděleny od povrchových vrstev s fytoplanktonem teplotním rozhraním ve hloubce zhruba 5-8 m, ovšem představují přesto riziko. V roce 2009 je vidět, že v rámci částečného promíchání vodního sloupce na jaře byly povrchové vrstvy vody fosforem obohaceny, na což ihned zareagovala biomasa fytoplanktonu zrychleným růstem. Přestože kvalita vody ve výšce odběrových horizontů nebyla přímo významněji ovlivněna, zvýšená biomasa sedimentující ke dnu dále zrychluje vytváření anaerobních

podmínek u dna. V 80. a 90. letech ovšem byly silné jarní rozvoje centrických rozsivek pravidelně důležitým faktorem zhoršujícím upravitelnost vody.

Obr. 4 připomíná situaci v suchém roce 1992, kdy byla zároveň voda z nádrže intenzivně odebírána. Je vidět, že horní odběrová etáž se nacházela v povrchové (= silně oživené) vrstvě vody, zatímco střední byla ve vrstvě s Mn. Maximální koncentrace Mn u dna byly v té době stanoveny až v desítkách  $\text{mg.l}^{-1}$ .

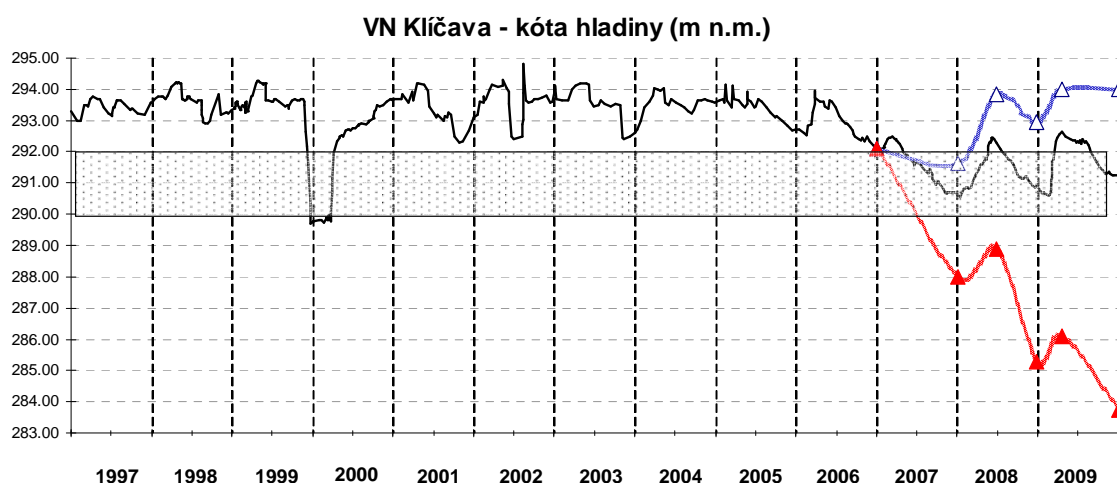


**Obr. 4. VN Klíčava – kvalita vody ve vodných letech**

\* Šipky označují data odběru vzorků vody, symboly na ose y – poloha odběrových etáží

Kolísání hladiny vody od roku 1997 je zachyceno na obr. 5. Je vidět jednak vliv provozní manipulace (2000 – oprava zařízení hráze), ale především vliv odběru surové vody. V sérii suchých let 2007-2009, kdy přítok do nádrže byl stejně kritický jako v letech 1990-92, měla napjatá hydrologická situace za následek trvale sníženou hladinu, přestože z nádrže odtékalo pouze minimální množství vody. V grafu jsou znázorněny dvě varianty pro různá množství odebírané surové vody. Příznivá je varianta pro odběr  $60 \text{ l.s}^{-1}$ , která znamená, že i v rámci suchých let lze udržet nádrž

naplněnou, případně že lze objem, který je k dispozici, využívat k posílení odtoku = ke zlepšení kyslíkových poměrů. Prognóza pro odběr vody  $120 \text{ l.s}^{-1}$  ukazuje, že by v minulých třech letech došlo k zásadnímu zaklesnutí hladiny, jež by dosáhlo téměř úrovně ze začátku 90. let (tehdy byl ovšem odběr vody  $160\text{-}180 \text{ l.s}^{-1}$ ). Při odběru  $120 \text{ l.s}^{-1}$  by tedy došlo k havarijní situaci v kvalitě surové vody, téměř srovnatelné s rokem 1992 (obr. 4). Dalším produktem této situace by byla likvidace ponořené vegetace (vyschnutí a vymrznutí) s dopadem na ekologickou stabilitu nádrže, jež by se projevila především v nepříznivém vývoji rybí obsádky a následně zooplanktonu a fytoplanktonu = opět s negativním dopadem na kvalitu surové vody.



**Obr. 5. VN Klíčava – kolísání kóty hladiny**

\* Plná čára označuje reálný průběh kóty hladiny, čára s prázdnými symboly ukazuje možný vývoj při odběru surové vody  $60 \text{ l.s}^{-1}$  a čára s plnými symboly vývoj v případě odběru  $120 \text{ l.s}^{-1}$  (= plná výše povoleného odběru). Obdélková tečkovaná plocha ukazuje zónu, kde kořenují vodní rostliny, především stolístek klasnatý [2].

## ZÁVĚR

Intenzita vodárenského využívání nádrží s dlouhou dobou zdržení vody (týká se stejně i VN Švihov na Želivce!) má zásadní vliv na jakost vody v celé nádrži. Vodárenské společnosti se tak stávají spolutvárci kvality surové vody. Proto považuji za užitečné zdůraznit, že při rozvahách o způsobu využívání vodárenských nádrží je třeba dobře zvažovat také možné ovlivnění jakosti surové vody. Při zanedbání této otázky může dojít k „neočekávanému“ zatížení technologie s dopadem na jakost upravené vody a samozřejmě také na výši provozních nákladů. Přitom vzniklou situaci nelze řešit opatřeními na nádrži, případně by tato opatření znamenala obrovské náklady (např. velkoplošná aerace).

## Literatura

1. DURAS J., 1999: Vodárenská nádrž Klíčava – vývoj kvality vody v posledních letech.- In: Kalousková N., Machula T., Dolejš P. (eds.), 1999: Sborník konference Pitná voda 1999, 31.5.-3.6.1999 Tábor, str. 143-152. W+ET Team, Č. Budějovice.
2. DURAS J., CHOCHOLOUŠKOVÁ Z., KUČERA T., 2007: Průzkum vodních makrofyt vodárenských nádrží.- In: Ambrožová J., Tlustá P. (eds.): Sborník konference Vodárenská biologie 2007.