

## 5.6 Vyhodnocení vlivu různých faktorů na předpovědi v povodí horní Vltavy

Při zpětné analýze vlivu jednotlivých faktorů na úspěšnost předpovědi v průběhu jarní povodně 2006 v povodí horní Vltavy byly posuzovány vlivy:

- kvantitativní předpovědi srážek a teploty,
- správného určení sněhových zásob na počátku jarního tání,
- vlivu parametrizace půdní infiltrace na průběh odtoku.

Přestože existuje řada dalších faktorů, které ovlivňují celkový výsledek operativních předpovědi (reprezentativnost sítě srážkoměrů a teplotních stanic, vliv větru a vlhkosti vzduchu na intenzitu tání sněhu aj.), uvedené tři faktory lze považovat za zásadní. Jejich eliminace by měla vést k výraznému přiblížení simulovaných výstupů hydrologického modelu a skutečného průběhu průtoku.

Hydrologický předpovědní a modelovací systém AquaLog umožňuje obsluhujícím hydrologům na několika úrovních vstupovat do procesu výpočtu hydrologické předpovědi a ovlivňovat tím výslednou předpověď průtoku. Některé zásahy jsou nezbytné při každém výpočtu modelu. Příkladem je kontrola, doplnění a oprava chybných či chybějících vstupních dat. Jiné modifikace modelového výpočtu vyžadují zkušenosti hydrologa s provozem modelu a dokonalou znalost struktury modelu, jeho fungování a schopnost modelu simulovat různé typy odtokových situací (letní vers. zimní povodně).

V průběhu výpočtu může hydrolog různými nástroji modifikovat stavové proměnné v modelu (např. nasycenost půdních zón, množství sněhu), ale také hodnoty vlastních parametrů hydrologického modelu.

Vyhodnocení vlivu těchto modifikací na úspěšnost předpovědi je důležité pro získání dalších zkušeností pro práci s modelem AquaLog. V následujícím textu bude na vybraných případech dokumentován vliv modifikací v průběhu výpočtu na hydrogram simulovaný hydrologickým předpovědním systémem AquaLog.

Faktory, které ovlivňují výslednou úspěšnost modelové hydrologické předpovědi, lze obecně rozdělit do několika skupin:

- Struktura modelu.

Hydrologické koncepční modely určitým způsobem schematizují, resp. zjednodušují reálné procesy v přírodním prostředí, které jsou příliš složité pro fyzikálně přesné vyjádření.

- Parametry modelu.

V důsledku schematizace jsou do výpočetních rovnic modelů zavedeny různé parametry. Odvození jejich hodnot probíhá v procesu kalibrace modelu s využitím historických hydrometeorologických dat. Odvození hodnot parametrů však není nikdy dokonale přesné a vyhovující pro všechny typy odtokových událostí.

- Počáteční podmínky výpočtu.

Počátečními podmínkami výpočtu se v případě hydrologického modelu AquaLog rozumí stavové proměnné přenášené ze starších výpočtů modelu. Jedná se o nasycenost povodí (množství vody v jednotlivých půdních zónách modelu), energetickou bilanci a množství sněhu na počátku výpočtu.

- Vstupní data.

- a) Kvalita a reprezentativnost vstupních dat. Výsledky hydrologických předpovědí jsou ovlivněny nepřesnostmi měření (například podceňování srážek automatickými kolébkovými srážkoměry), chybějícími údaji (výpadek přenosu) i rozmístěním měřicích sítí (nedostatečné pokrytí zdrojových oblastí odtoku srážkoměry atd.).
  - b) Meteorologické předpovědi. Nepřesná vstupující předpověď srážek a teploty je v podmínkách střední Evropy asi nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím úspěšnost hydrologických předpovědí, a to především v horních částech povodí.
- Další faktory.

Vliv na celkovou úspěšnost hydrologické předpovědi má rovněž výskyt neočekávaných událostí v povodí (protržení ochranných hrází, vznik ledových bariér aj.) a lidské ovlivnění odtoku (předem neznámé manipulace na vodních dílech). Vliv těchto faktorů nelze předem kvantifikovat.

Z uvedených skupin faktorů má hydrolog možnost zkontrolovat a doplnit vstupní data prostřednictvím provedených modifikací ovlivnit parametry modelu, počáteční podmínky výpočtu. Meteorologická předpověď je připravována meteorology RPP.

Vyhodnocení modifikací modelového výpočtu prováděného hydrology je porovnáním automatické simulace hydrologického modelu a simulací po provedených modifikacích. Hodnotícími kritérii přitom jsou změna objemu vlny a změna předpovídaného kulminačního průtoku a Nash-Sutcliffe kritérium (rovnice 5.1).

$$RNS = 1 - \frac{\sum (H_{OBSi} - H_{SIMi})^2}{\sum (H_{OBSi} - H_{OBS})^2} \quad (5.1)$$

Kde  $H_{OBSi}$  je pozorovaná hodnota v čase  $i$ ,  $H_{SIMi}$  je simulovaná hodnota v čase  $i$  a  $H_{OBS}$  je průměr všech pozorovaných hodnot.

Vliv nepřesné meteorologické předpovědi na výsledek hydrologické simulace byl eliminován použitím skutečně naměřených srážkových a teplotních dat.

Následující grafy (**Obr. 5.40 až 5.45**) prezentují hydrogramy pozorovaného průtoku, simulace modelu při automatickém výpočtu (bez zásahů hydrologa) a dvě modifikované verze simulace průtoku. První z nich zohledňovala úpravy, které byly operativně provedeny 18. 3. 2006, tedy ještě před začátkem období intenzivního tání. Druhá prezentuje vliv úprav provedených 29. 3. 2006, tedy v době vrcholícího tání. Prezentovány jsou výsledky pro předpovědní profily Lásenice na Nežárce a Varvažov na Skalici, které vykazovaly ze všech profilů v povodí horní Vltavy nejnižší úspěšnost automatické simulace. Dále je prezentován profil Klenovice na Lužnici, kde doba opakování kulminačního průtoku dosáhla nejvyšší hodnoty z předpovědních profilů v povodí horní Vltavy. Posledním vybraným profilem je Písek na Otavě, kde simulace modelu stabilně dosahuje dobrých výsledků a který byl povodně na jaře 2006 postižen ve srovnání s ostatními prezentovanými profilem relativně méně.

S výjimkou Otavy v Písku, kde automatická simulace modelu AquaLog vystihla průběh průtoku za povodně velmi dobře, simulace ostatních tří vybraných profilů výrazně podhodnotily skutečný průběh povodně ve smyslu kulminace i celkového objemu. Nejhorší výsledek automatické simulace model vykázal na Nežárce v Lásenici, kde objem simulované povodňové vlny tvořil pouze třetinu objemu skutečné povodňové vlny.

Při přípravě modifikací operativně provedených 18. 3. 2006 hydrologové RPP v Českých Budějovicích vycházeli především ze zkušeností z tání 2005, kdy byly zásoby sněhu také výrazně nadprůměrné a způsob tání měl podobný charakter. V průběhu povodně byly dále prováděny úpravy počátečních podmínek výpočtu nejčastěji jejich automatickou optimalizací, což lze považovat za jednoduchou proceduru asimilace dat na základě aktuálního vývoje situace.

Byly provedeny následující úpravy parametrů a stavových proměnných v modelu:

- Mírné zvýšení simulovaných zásob sněhu v modelu.

Porovnáním dat o sněhové pokrývce z expedičních měření a modelem simulovaného množství, spolu s hodnocením odtoku a operativně kontrolované bilance sněhu v povodí bylo zjištěno, že model většinou mírně podhodnotil celkové sněhové zásoby v povodích.

- Zvýšení intenzity tání sněhu v modelu.

Intenzita tání je určena parametrem MFC, který je definován sinusoidou v ročním cyklu. Jeho hodnota však není závislá pouze na roční době, ale také na sněhových charakteristikách nebo na teplotě a vlhkosti vzduchu a rychlosti větru v období tání. Zejména při prudkém tání je tento parametr často podhodnocen. Stejně tomu bylo v případě povodně v březnu a dubnu 2006, kdy teplota vzduchu často dosahovala pro tuto část roku rekordních hodnot.

- Navýšení hodnoty parametru PLWHC v modelu

Tento parametr definuje množství kapalné vody zadržené ve sněhové pokrývce. Jeho zvýšení zpožďuje nástup tání, a naopak zvyšuje odtok ze sněhu v době vrcholícího tání.

- Snížení infiltrace tající vody do spodních půdních zón modelu produkující základní odtok.

Tato úprava byla provedena zejména s ohledem na pravděpodobné alespoň částečné promrznutí půdy (zejména v povodích v nižších nadmořských výškách, kde se před nástupem mrazů nevytvořila dostatečně mocná izolující vrstva sněhové pokrývky). Snížení infiltrace tající vody do spodních půdních zón v modelu Sacramento je možné docílit několika způsoby, jejichž dopad na simulovaný hydrogram však bude do značné míry podobný:

- Zvýšení počáteční nasycenosti půdních zón

Naplněním jednotlivých zón dojde ke snížení volného prostoru v půdě, který tající voda dříve zaplní, čímž je dosažena nebo překročena infiltrační kapacita. Další tající voda tak již neinfiltuje a rychle odtéká formou povrchového odtoku .

- Zvětšení podílu nepropustných ploch.

Model z nepropustných ploch generuje tzv. přímý odtok. Odpovídající část tající vody tak vůbec nevstupuje do půdních zón, ale dostává se přímo do toku. Zvětšením řídicího parametru tohoto procesu (ADIMP) dojde ke zvýšení odtoku v době nástupu i v době vrcholícího tání.

- Snížení perkolace

Perkolace je proces infiltrace z vrchních zón modelu do jeho spodních zón. Zmenšením hodnoty parametru (ZPERC) se tento proces zpomalí. Následkem je především pomalejší prázdnění svrchních zón, v nichž zůstává více vody pro rychlejší složku odtoku produkovanou vrchními zónami. Může dojít až k úplnému zaplnění vrchní zóny a překročení infiltrační kapacity, vedoucí k povrchovému odtoku.

- o Změna objemu půdních zón

Změnou parametrů definujících velikost jednotlivých zón (UZTWM, UZFWM, LZTWM, LZSWM a LZPWM) je podobně jako při změně jejich počátečního naplnění změněna velikost zbývajících volného prostoru v půdě pro infiltraci tající vody.

V případě simulací průtoku Otavy v Písku (**Obr. 5.40**) byl modifikován především parametr PLWHC sněhového modelu a v některých dílčích modelovaných povodích Otavy byla mírně navýšena zásoba sněhové pokrývky. Přínos provedených modifikací nebyl v porovnání s ostatními hodnocenými povodími výrazný. Zároveň se však všechny simulace (bez vlivu hydrologa i s uvažovanými modifikacemi) velmi dobře shodují se skutečně pozorovaným průběhem jarní povodně 2006. Obecně je úspěšnost předpovědí v povodí Otavy ve srovnání s ostatními povodími velmi dobrá. Simulovaná povodeň zde rovněž nedosáhla extrémních průtokových hodnot (doba opakování kulminace odpovídala cca  $Q_2$  až  $Q_5$ ).

V případě Skalice ve Varvažově (**Obr. 5.41**) byly provedené modifikace výrazným přínosem pro celkovou úspěšnost modelu. Provedené modifikace spočívaly především ve zvýšení množství sněhových zásob před počátkem povodně (18. 3. 2006). V průběhu povodně (29. 3. 2006) byla také snížena infiltrace maximálním zaplněním všech půdních zón v modelu. Modifikace z 18. 3. 2006 vedly ke zlepšení úspěšnosti prvních 24 hodin nástupu povodně, vrcholnou fázi povodně však značně podhodnotily. Modifikace z 29. 3. 2006 se projevila ve velmi dobrém vystižení celého hydrogramu jarní povodně 2006.

Automatická simulace průtoku Nežárky v Lásenici (**Obr. 5.42**) byla neúspěšná a jednoznačně ukazuje na nutnost provedení recalibrace zejména sněhové komponenty modelu v tomto povodí. Obě provedené modifikace zlepšily shodu simulovaného hydrogramu s hydrogramem skutečným. Přesto nedošlo k dostatečnému přiblížení simulovaných kulminačních hodnot a objemu ke skutečnosti, která zůstává předpověďmi významně podhodnocena. Provedené modifikace však vedly k nadhodnocení průtoku na počátku nástupu jarní povodně 2006.

V případě průtoků Lužnice v Klenovicích (**Obr. 5.43**) modifikace provedené 18. 3. 2006 (navýšení sněhových zásob v modelu a zmenšení velikosti primární půdní zóny srážkoodtokového modelu v povodích po profily Lásenice a Pilař) výrazně přiblížily simulované hodnoty reálnému průběhu. V případě druhé modifikace z 29. 3. 2006 byla dosažená shoda simulovaného a pozorovaného kulminačního průtoku a objemu ještě příznivější. Přesto ani tato simulace nevystihla přesný tvar vrcholu hydrogramu. Na dolní Lužnici v Bechyni (**Obr. 5.44**) vedly modifikace provedené hydrologem rovněž k výraznému zlepšení shody simulovaného a skutečného hydrogramu, a to zejména u nastavení po modifikaci z 29. 3. 2006.

Simulace přítoku do VD Orlík (**Obr. 5.45**) je výsledkem simulace celého povodí horní Vltavy. Automatická simulace a modifikace z 18. 3. 2006 celkový přítok do VD Orlík podhodnotily. Naopak modifikace z 29. 3. 2006 vedly k velmi dobrému výsledku. Odchylka simulovaného objemu (období od 25. 3. do 6. 4. 2006) dosahovala okolo -26 % v případě bez modifikací, cca -22 % v případě modifikace z 18. 3. 2006 a pouze +3 % ve variantě modifikace z 29. 3. 2006. V poslední jmenované variantě se rovněž zlepšilo vystižení hodnoty kulminace, když odchylka dosáhla 12 %, oproti původní variantě s odchylkou 27 %.

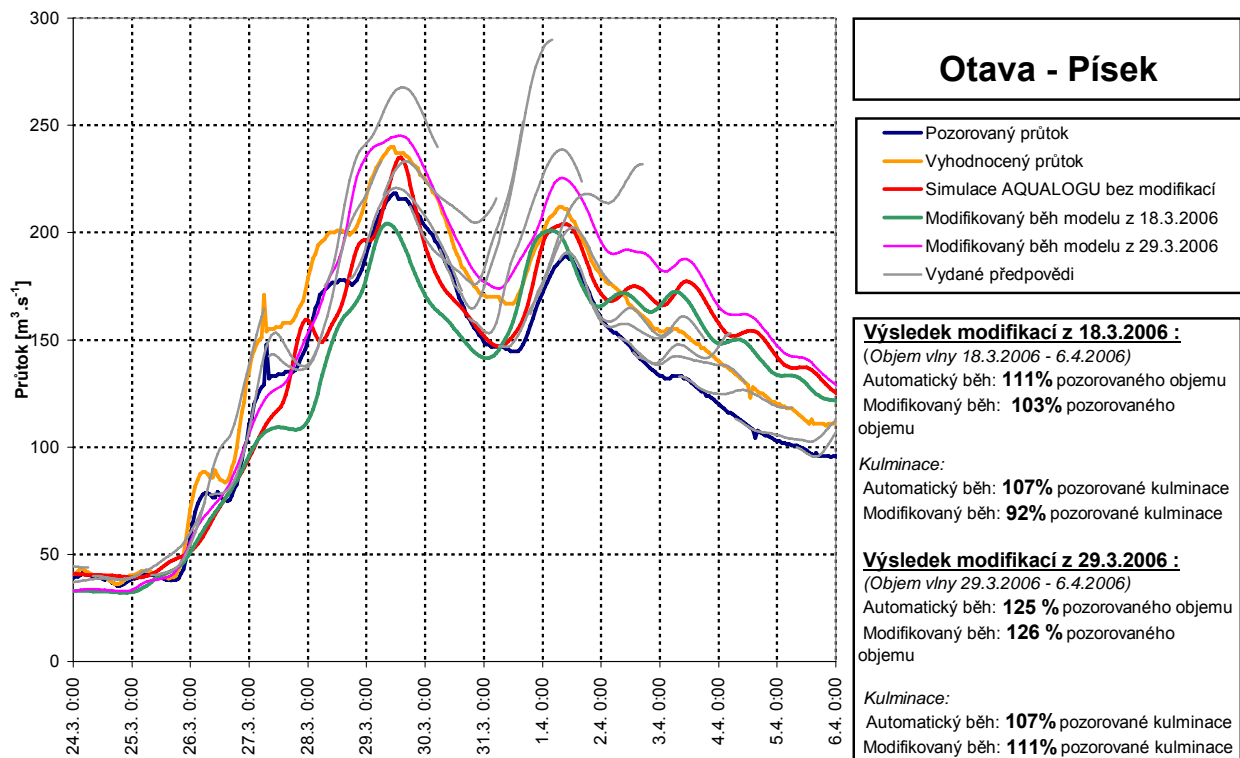
Tabulka 5.3 Hodnoty Nash-Sutcliffe kritéria pro období (období od 26. 3. do 6. 4. 2006).

Tok	Profil	Nash-Sutcliffe kritérium		
		Bez modifikace	Modifikace 18.3.	Modifikace 29.3.
<b>Nežárka</b>	<b>Lásenice</b>	-1.69	0.41	<b>0.44</b>
	<i>dle vyhodnoceného Q</i>	-0.64	0.62	<b>0.63</b>
<b>Lužnice</b>	<b>Klenovice</b>	-0.23	0.70	<b>0.82</b>
<b>Lužnice</b>	<b>Bechyně</b>	-1.24	0.24	<b>0.83</b>
	<i>dle vyhodnoceného Q</i>	0.08	0.72	<b>0.94</b>
<b>Otava</b>	<b>Písek</b>	<b>0.59</b>	0.58	0.17
	<i>dle vyhodnoceného Q</i>	0.85	0.74	<b>0.87</b>
<b>Skalice</b>	<b>Varvažov</b>	-0.80	0.03	<b>0.86</b>
<b>Přítok</b>	<b>VD Orlík</b>	0.13	0.33	<b>0.95</b>

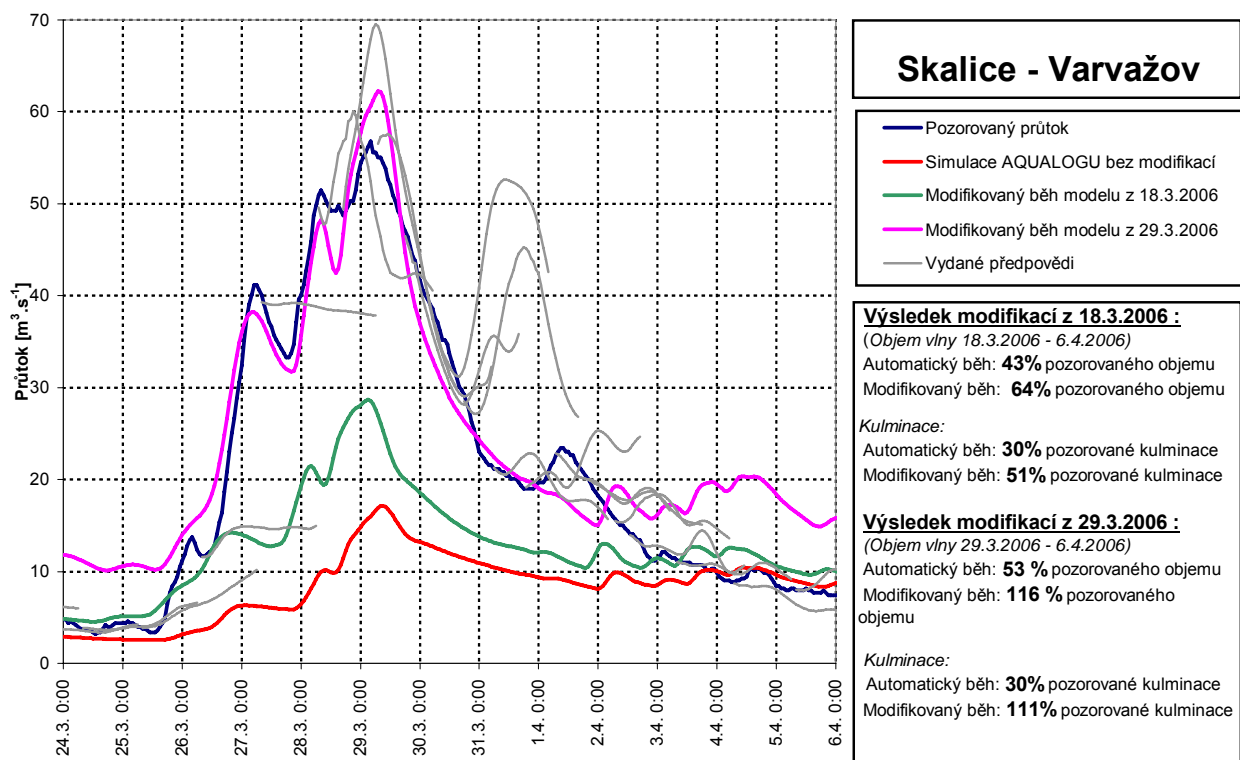
V tabulce (Tab. 5.3) je uveden přehled dosažených úspěšností jednotlivých simulací vyjádřených hodnotou Nash-Sutcliffe kritéria (RNS). Jde o nejčastěji používané kritérium při hodnocení úspěšnosti hydrologické simulace, neboť zohledňuje vyhodnocení dosažené shody tvaru vlny i celkového objemu. Kritérium může nabývat hodnot teoreticky v rozmezí  $(-\infty; 1)$ . Přitom platí, že čím více se dosažená hodnota blíží 1, tím je simulace úspěšnější. Za uspokojivé jsou obecně považovány hodnoty okolo 0.5 a vyšší. Přesahuje-li hodnota kritéria 0.8 je úspěšnost simulace považována za výbornou.

V hodnocených povodích vedly provedené modifikace parametrů a nastavení modelu k jednoznačnému růstu úspěšnosti simulace. V případě modifikací provedených hydrology 29. 3. 2006 byly dosažené hodnoty testovacího kritéria RNS velmi vysoké (většinou mezi 0.8 až 0.95). Výjimkou je povodí Nežárky po profil Lásenice, kde simulace bez modifikací hydrologů byly neúspěšné. Modifikace zde přispěly k výraznému zlepšení výsledku, avšak hodnota RNS nepřesáhla 0.6. V případě Otavy v Písku vedly provedené modifikace nastavení modelu ke zhoršení úspěšnosti ve smyslu RNS v případě porovnání s operativním průtokem. Při porovnání s vyhodnocením průtokem k určitému snížení hodnoty RNS vedly pouze modifikace z 18. 3. 2006. Důvodem bylo především nadhodnocení objemu vlny. Přitom však původní nastavení modelu i modifikace zaznamenaly uspokojivé hodnoty RNS. Modifikace parametrů v povodí Otavy zároveň neovlivnily významně úspěšnost simulace celkového přítoku do VD Orlík.

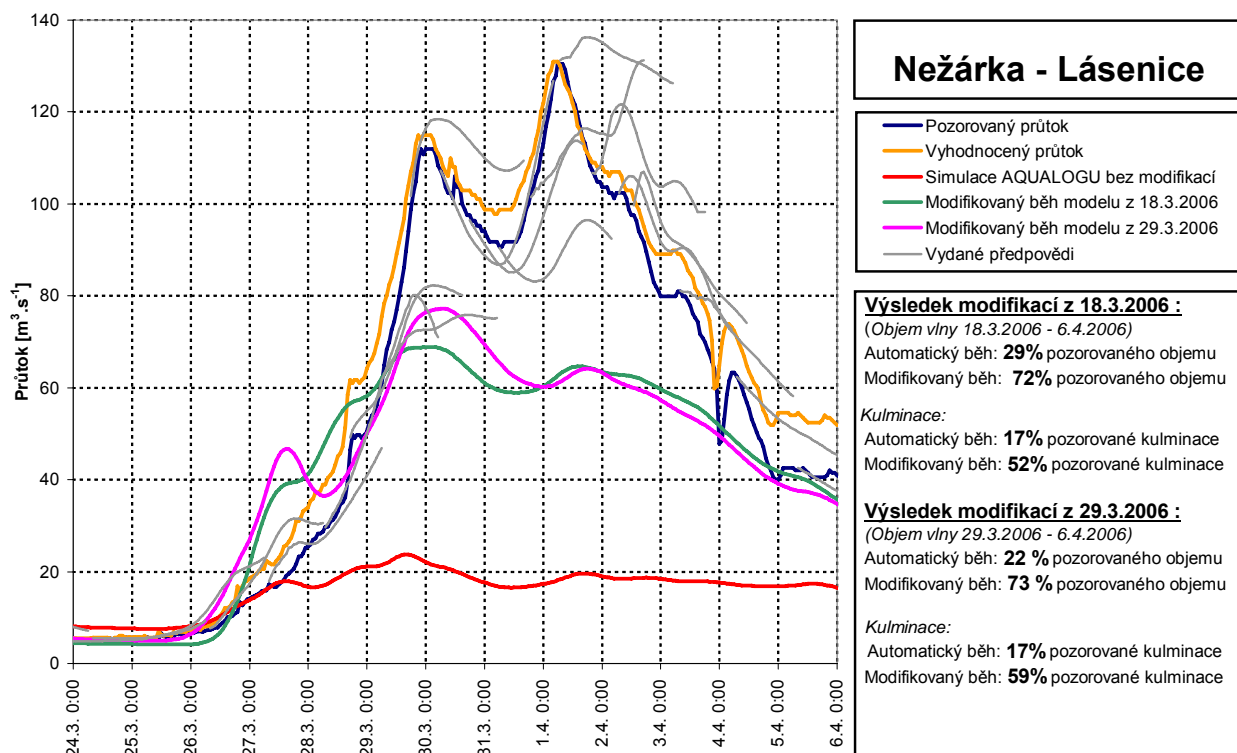
Prezentované výsledky ukazují, že na většině předpovědních profilů v povodí horní Vltavy, provedené modifikace zlepšily úspěšnost vydávaných hydrologických předpovědí, a to zejména díky získaným zkušenostem z tání 2005. Bylo potvrzeno, že funkční úpravy parametrů nebo počátečních podmínek jsou přenositelné mezi odtokově podobnými situacemi a že interaktivní provoz modelu, kdy hydrolog zasahuje do výpočtu má své opodstatnění. Neuspokojivé simulace modelu (například na Nežárce v Lásenici) však musí být řešeny překalibrováním modelu spolu se zahuštěním sítě meteorologických a hydrologických měřicích stanic.



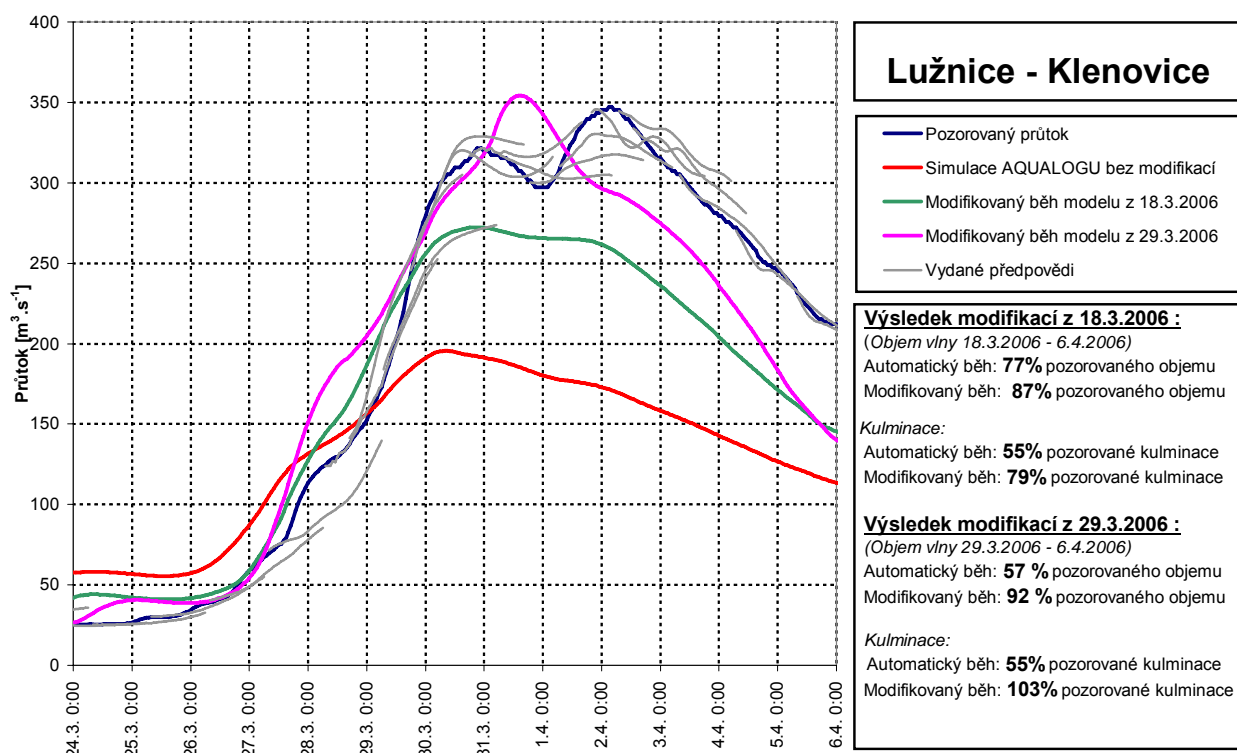
Obr. 5.40 Vliv modifikací na simulaci povodně pro Otavu v Písku modelem AquaLog.



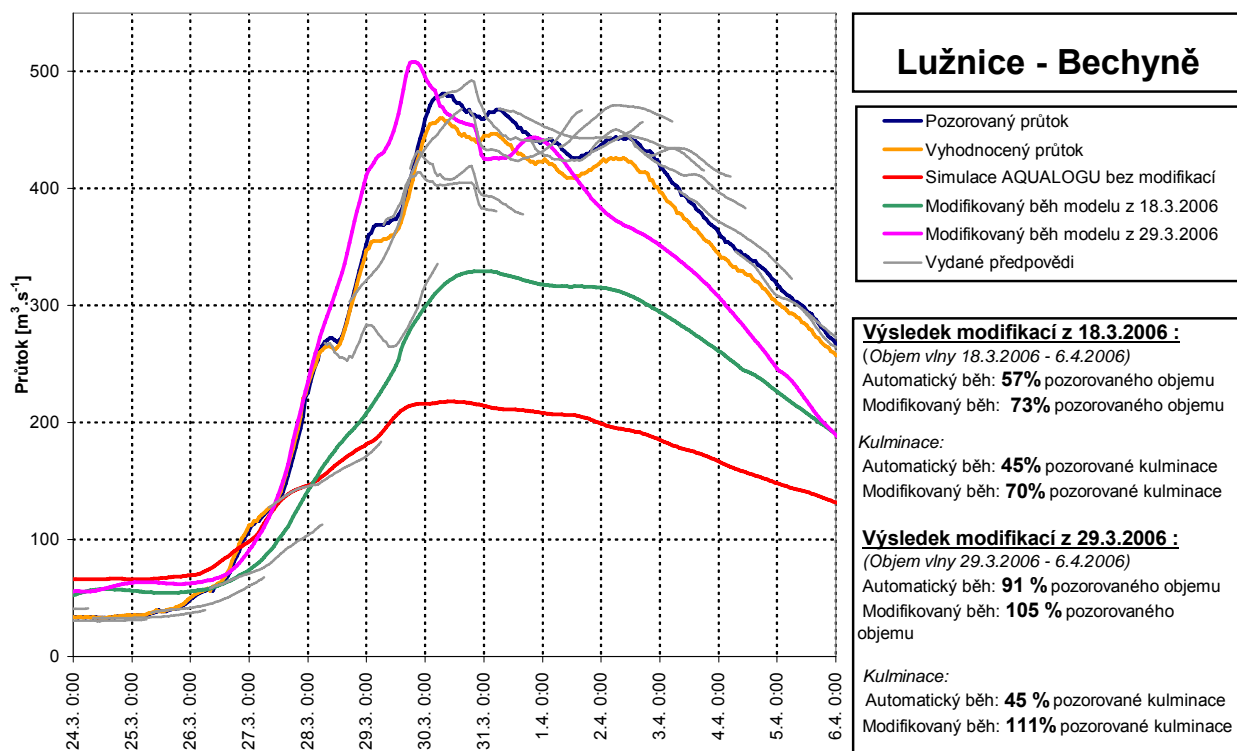
Obr. 5.41 Vliv modifikací na simulaci povodně pro Skalici ve Varvažově modelem AquaLog.



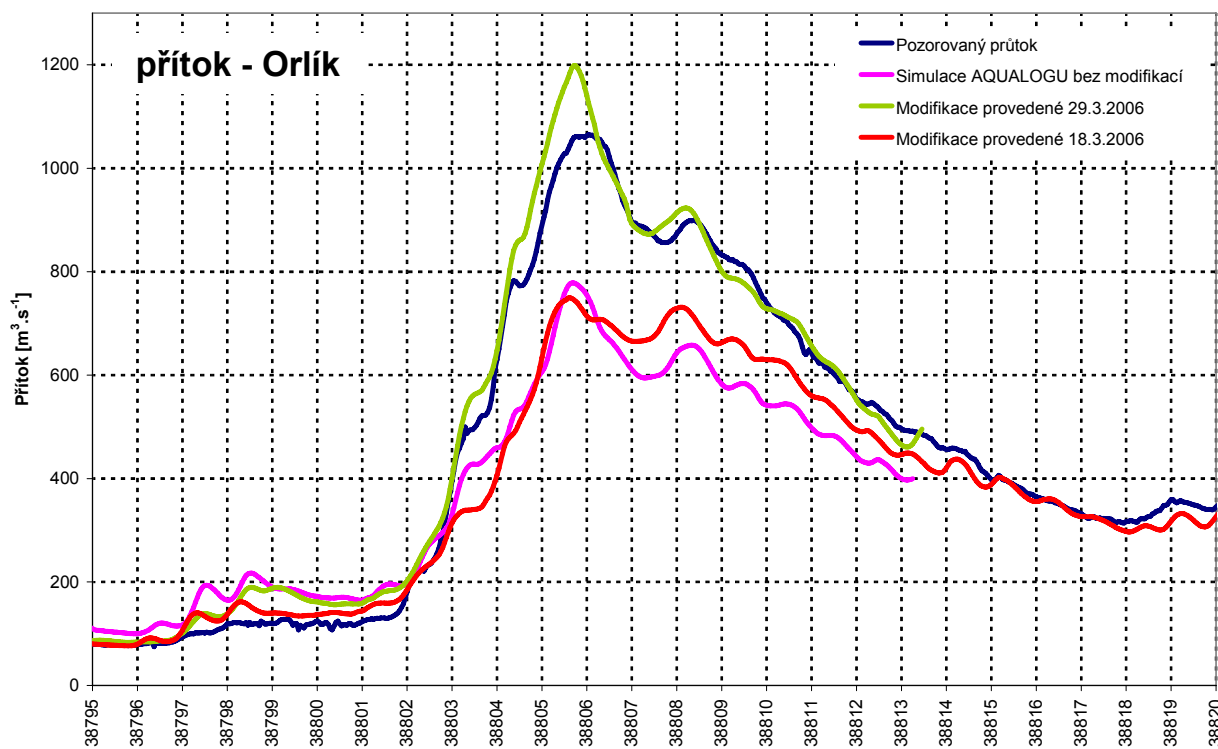
Obr. 5.42 Vliv modifikací na simulaci povodně pro Nežárku v Lásenici modelem AquaLog.



Obr. 5.43 Vliv modifikací na simulaci povodně pro Lužnici v Klenovicích modelem AquaLog.



Obr. 5.44 Vliv modifikací na simulaci povodně pro Lužnici v Bechyni modelem AquaLog.



Obr. 5.45 Vliv modifikací na simulaci přítoku do VD Orlík modelem AquaLog.