

3 Variantní simulace průběhu povodně v srpnu 2002 při jiných výchozích podmínkách, včetně odhadu průběhu povodně při neexistenci Vltavské kaskády.

3.1 Variantní simulace průběhu povodně v srpnu 2002 při jiných výchozích podmínkách

Model Vltavské kaskády popsany v předchozích kapitolách byl použit pro výpočet variantní simulace. Jednotlivé varianty se liší různými počátečními podmínkami, způsobem manipulace a modifikacemi povodňového řízení. V Tab. 3-1 jsou uvedeny jednotlivé varianty se stručnou charakteristikou. Porovnání všech variant bylo provedeno s měřeními a odvozenými průtoky (Broža, 2003).

Varianta	Počáteční čas simulace	Počáteční hladina VD Orlík (Balt) (m.n.m.)	Poznámka
1a	5.8.2002 7:00	345.6	Manipulace na objektech probíhala obdobně jako za povodně.
1b	5.8.2002 7:00	345.6	Manipulace na objektech probíhala tak, aby se odtok blížil odtoku jako za povodně v době první vlny.
1c	5.8.2002 7:00	345.6	V době kulminace otevřeny obě výpusti a provoz elektrárny nebyl přerušen.
1d	5.8.2002 7:00	345.6	Manipulace na objektech probíhala tak, aby se hladina blížila maximální hladině jako za povodně.
2a	5.8.2002 7:00	347.6	Manipulace na objektech probíhala obdobně jako za povodně.
2b	5.8.2002 7:00	347.6	V době kulminace otevřeny obě výpusti a provoz elektrárny nebyl přerušen.
3a	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od 5.8. 2002.
3b	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od 5.8. 2002.
3c	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od 5.8. 2002.
3d	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, došlo k odstavení elektrárny.
3e	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, došlo k odstavení elektrárny.
3f	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, nedošlo k odstavení elektrárny.
3g	5.8.2002 7:00	348.5	Neškodný průtok Prahou $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, nedošlo k odstavení elektrárny.
3h	5.8.2002 7:00	347.6	Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, došlo k odstavení elektrárny.
3i	5.8.2002 7:00	347.6	Neškodný průtok Prahou $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, došlo k odstavení elektrárny.
3j	5.8.2002 7:00	347.6	Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, nedošlo k odstavení elektrárny.
3k	5.8.2002 7:00	347.6	Neškodný průtok Prahou $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ od náběhu první vlny 8.8. 2002:17, nedošlo k odstavení elektrárny.
3l	5.8.2002 7:00	351.2	Manipulace na objektech probíhala tak, aby odtok do 8.8. 2002:17 se blížil skutečnému odtoku - Neškodný průtok Prahou $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Varianta	Počáteční čas simulace	Počáteční hladina VD Orlík (Balt) (m.n.m.)	Poznámka
3m	5.8.2002 7:00	351.2	Manipulace na objektech probíhala tak, aby odtok do 8.8.2002:17 se blížil skutečnému odtoku - Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
3n	5.8.2002 7:00	351.2	Manipulace na objektech probíhala tak, aby odtok do 8.8.2002:17 se blížil skutečnému odtoku - Neškodný průtok Prahou $1700 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
4	5.8.2002 7:00	348.5	Manipulace na objektech tak, aby nedošlo k poklesu odtoku mezi vlnami.
5a	5.8.2002 7:00	348.5	Nedošlo k odstavení elektrárny, jedna výpust otevřená.
5b	5.8.2002 7:00	348.5	Nedošlo k odstavení elektrárny, obě výpusti otevřené.

Tab. 3-1 Varianty výpočtu průtoku povodňové vlny vodním dílem Orlík

Při sestavení scénářů průtoku povodně nádrží lze celkem snadno stanovit počáteční a okrajové podmínky každé varianty. V případě nádrže se jedná o počáteční hladinu a přítok, variantně o počáteční hladinu a odtok. Počáteční podmínky variant víceméně zohledňují stavy nádrže, které mohou z hlediska manipulačního řádu nastat a řešením získáme odpověď, jak by se tento počáteční stav systému projevil na odtoku z nádrže, především z hlediska kulminace, případně z hlediska neškodných průtoků pod nádrží. Z hlediska výpočtu se jedná o jednoznačné charakteristiky systému. Naproti tomu vlastní průběh manipulací, tedy nastavení jednotlivých objektů, se mění v čase a je interaktivní s ohledem na okamžitý stav v nádrži. Ve variantách, kde je další podmínka (např. snaha o dodržení neškodného průtoku Prahou), lze pojmut výpočet jako optimalizaci manipulace na základě daného kritéria. Pokud je pro danou variantu určena pouze počáteční podmínka, je vlastní průběh manipulace v období mimo čas neovladatelného odtoku ovlivněn subjektivním přístupem řešitele.

Je třeba si také uvědomit, že varianty simulací používají údaje o průtocích a vodních stavech, které jsou dostupné v současnosti (vzniklé např. vyhodnocením, nezátížené chybou předpovědi), ale nebyly dostupné v době aktuálního průchodu povodňové vlny.

Během povodně došlo k překročení maximální hladiny nádrže. Je otázkou, zda simulace pojmut jako porovnání strategií manipulace s realitou. V takovém případě by se maximální hladina měla během simulací rovněž překročit a měla by být dosažena hladina 355.17 m.n.m. Jen takový stav umožní porovnat kulminační průtoky variant.

Rovněž nelze provádět porovnání některých kulminačních průtoků a dosažených maximálních hladin z pohledu různého počátečního plnění nádrží. Různé počáteční podmínky samozřejmě již v náběhu první vlny vyžadují jiný způsob manipulace např. dřívější zvýšení odtoku z nádrže, aby již při první vlně nebyla překročena maximální hladina v nádrži.

Během všech variant simulací 1-5 bylo manipulováno pouze na VD Orlíka a Slapy. VD Kamýk, Štěchovice a Vrané byly ponechány ve výpočtovém modelu. Jejich transformační účinek byl zanedbatelný a vyplýval pouze z kolísání hladin, které bylo způsobeno technicky maximálním možným průtokem nádrží pro daný okamžik povodně. V případě VD Slapy byla během simulací v některých případech (viz. Obr. 3—29 až Obr. 3—51) porušena podmínka udržení minimální hladiny na kótě 269.1 m.n.m. pro období 1.4.-30.9.2003. Pokles hladiny pod tuto kótu byl mimo jiné veden snahou nepřekročit při simulaci maximální hladinu 270.6 m.n.m.

Varianta 1a

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 345.6 m.n.m. Jedná se o výšku hrany přelivů. Manipulace na objektech probíhala *obdobně* jako v období povodně. **V době kulminace byla otevřena pouze jedna výpust a byl přerušen provoz elektrárny.** Průběh simulace je uveden na Obr. 3—1 a Obr. 3—29. Simulovaná hladina v nádrži dosáhla **355.17** m.n.m. a kulminační průtok byl **3053** $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tj. rozdíl 0 cm pro hladinu a $47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pro kulminační průtok). Lze předpokládat,

že počáteční podmínky v této variantě by měly za důsledek jiný způsob manipulace (viz varianta 1b), než proběhla během reálné povodně.

Varianta 1b

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 345.6 m.n.m. Jedná se o výšku hrany přelivů. Manipulace na objektech probíhala ***tak, aby se odtok blížil odtoku jako za povodně.*** Tento stav byl udržován do 11.8. 10:00 hod. Od tohoto okamžiku bylo manipulováno tak, aby došlo k minimálnímu kulminačnímu průtoku a nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži (353.60 m.n.m.). **Tato varianta předpokládá vypnutí elektrárny.** Průběh simulace je uveden na Obr. 3—2 a Obr. 3—30. Z uvedeného průběhu hladin je zřejmé, že i při otevření obou výpustí a otevření všech tří přelivů na maximum se nezabrání překročení maximální hladiny. Maximální dosažená hladina byla **354.42** m.n.m. (tj. o 75 cm méně než maximální hladina za povodně) a kulminační průtok byl **2975** m³.s⁻¹ (tj. o 165 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 1c

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 345.6 m.n.m. Jedná se o výšku hrany přelivů. Manipulace na objektech probíhala ***tak, aby se odtok se blížil odtoku jako za povodně.*** Tento stav byl udržován do 11.8. 10:00 hod. Od tohoto okamžiku bylo manipulováno tak, aby došlo k minimálnímu kulminačnímu průtoku a nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži (353.60 m.n.m.). **V době kulminace byly otevřeny obě výpusti a provoz elektrárny nebyl přerušen.** Průběh simulace je uveden na Obr. 3—3 Obr. 3—31. Ani otevření obou výpustí a otevření všech tří přelivů na maximum nezabrání překročení maximální hladiny. Maximální dosažená hladina byla **353.52** m.n.m. (tj. o 165 cm méně než maximální hladina za povodně) a kulminační průtok byl **3116** m³.s⁻¹ (tj. o 16 m³.s⁻¹ více než kulminační průtok za povodně).

Varianta 1d

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 345.6 m.n.m. Jedná se o výšku hrany přelivů. Manipulace na objektech probíhala ***tak, aby se simulovaná hladina blížila hladině jako za povodně.*** Tento stav byl udržován do 11.8. 10:00 hod. Od tohoto okamžiku bylo manipulováno tak, aby došlo k minimálnímu kulminačnímu průtoku. **V době kulminace byly otevřeny obě výpusti a provoz elektrárny byl přerušen.** Průběh simulace je uveden na Obr. 3—4 a Obr. 3—32. Maximální dosažená hladina byla **355.07** m.n.m. (tj. o 10 cm méně než maximální hladina za povodně) a kulminační průtok byl **2697** m³.s⁻¹ (tj. o 403 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 2a

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 347.60 m.n.m. Jedná se o výšku hladiny, kdy jsou zabezpečovány ještě další funkce nádrže. Manipulace na objektech probíhala ***tak, aby se odtok blížil odtoku jako za povodně.*** Tento stav byl udržován do 11.8. 10:00 hod. Od tohoto okamžiku bylo manipulováno tak, aby došlo k minimálnímu kulminačnímu průtoku. **V době kulminace byla otevřena pouze jedna výpust a byl přerušen provoz elektrárny.** Průběh simulace je uveden na Obr. 3—5 a Obr. 3—33. Maximální dosažená hladina byla **355.19** m.n.m. (tj. o 2 cm více než maximální hladina za povodně) a kulminační průtok byl **3063** m³.s⁻¹ (tj. o 37 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 2b

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 347.60 m.n.m. Jedná se o výšku hladiny, kdy jsou zabezpečovány ještě další funkce nádrže. Manipulace na objektech probíhala ***tak, aby se odtok blížil odtoku jako za povodně.*** Tento stav byl udržován do 11.8. 10:00 hod. Od tohoto okamžiku bylo manipulováno tak, aby došlo k minimálnímu kulminačnímu průtoku a nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži (353.60 m.n.m.). **V době kulminace byly otevřeny obě výpusti a provoz elektrárny nebyl přerušen.** Průběh simulace je uveden na Obr. 3—6 a Obr. 3—34. Maximální dosažená hladina byla **354.05** m.n.m. (tj. o 45 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **3126** m³.s⁻¹ (tj. o 26 m³.s⁻¹ více než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3

V této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. . Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna ***tak, aby byly***

v Praze udrženy průtoky 1500, 1700 a 2000 m³.s⁻¹, které byly pro účely těchto variant uvažovány jako neškodné. Manipulace při variantách **a-c** probíhaly tak, aby došlo k co největšímu vyprázdnění nádrže před nástupem hlavní povodňové vlny. Výsledky pro tyto tři varianty **a-c** jsou identické, protože maximální technicky proveditelný odtok z nádrže poskytoval až do náběhu hlavní povodňové vlny odtok, který v Praze nepřesahoval 1500 m³.s⁻¹. Manipulace při variantách **d-k** probíhaly tak, aby došlo k co největšímu vyprázdnění nádrže před nástupem hlavní povodňové vlny a přitom byly splněny kritéria neškodného průtoku v Praze (1700 a 2000 m³.s⁻¹). Na rozdíl od variant **a-c**, kdy manipulace začala 5.8.2002 7:00, byl pro tyto varianty **d-k** stanoven počátek na 8.8.2002 17:00 hod.

Varianta 3a, 3b a 3c

Při těchto variantách byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna **tak, aby byl v Praze udržen průtok 1500 m³.s⁻¹**, který byl pro účely této varianty uvažován jako neškodný. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—7 až Obr. 3—9 a Obr. 3—35 až Obr. 3—37. Maximální dosažená hladina byla **353.52** m.n.m. (tj. o 8 cm méně než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2522** m³.s⁻¹ (tj. o 578 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně). Kulminační průtok v Chuchli byl snížen o 548 m³.s⁻¹.

Varianta 3d

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna **tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 1700 m³.s⁻¹** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Při této simulaci došlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—10 a Obr. 3—38. Maximální dosažená hladina byla **354.32** m.n.m. (tj. o 72 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2891** m³.s⁻¹ (tj. o 209 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3e

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna **tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 2000 m³.s⁻¹** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Při této variantě došlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—11 a Obr. 3—39. Maximální dosažená hladina byla **354.29** m.n.m. (tj. o 69 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2879** m³.s⁻¹ (tj. o 221 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3f

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna **tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 1700 m³.s⁻¹** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Nedošlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—12 a Obr. 3—40. Maximální dosažená hladina byla **353.44** m.n.m. (tj. o 16 cm méně než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **3083** m³.s⁻¹ (tj. o 17 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3g

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna **tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 2000 m³.s⁻¹** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Nedošlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—13 a Obr. 3—41. Maximální dosažená hladina byla **353.40** m.n.m. (tj. o 20 cm méně než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **3067** m³.s⁻¹ (tj. o 33 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3h

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 347.6 m.n.m. . Jedná se o výšku hladiny, kdy jsou zabezpečovány ještě další funkce nádrže. Manipulace na objektech byla prováděna **tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 1700 m³.s⁻¹** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Došlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—14 a Obr. 3—42. Maximální dosažená hladina byla **354.38** m.n.m. (tj. o 78 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2921** m³.s⁻¹ (tj. o 179 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3i

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 347.6 m.n.m. . Jedná se o výšku hladiny, kdy jsou zabezpečovány ještě další funkce nádrže. Manipulace na objektech byla prováděna ***tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 2000 m³.s⁻¹*** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Došlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—15 a Obr. 3—43. Maximální dosažená hladina byla **354.27** m.n.m. (tj. o 67 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2868** m³.s⁻¹ (tj. o 232 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3j

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 347.6 m.n.m. . Jedná se o výšku hladiny, kdy jsou zabezpečovány ještě další funkce nádrže. Manipulace na objektech byla prováděna ***tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 1700 m³.s⁻¹*** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Nedošlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—16 a Obr. 3—44. Maximální dosažená hladina byla **353.41** m.n.m. (tj. o 19 cm méně než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **3072** m³.s⁻¹ (tj. o 28 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3k

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 347.6 m.n.m. . Jedná se o výšku hladiny, kdy jsou zabezpečovány ještě další funkce nádrže. Manipulace na objektech byla prováděna ***tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 2000 m³.s⁻¹*** od náběhu první vlny tj. 8.8.2002 17:00. Nedošlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—17 a Obr. 3—45. Maximální dosažená hladina byla **353.37** m.n.m. (tj. o 23 cm méně než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **3056** m³.s⁻¹ (tj. o 44 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3l

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 351.2 m.n.m. Jedná se o horní hladinu při hospodaření s vodou (dolní je 329.60 m n.m.). Manipulováno bylo obdobně jako při průběhu povodně až do náběhu první vlny 8.8.2002 4:00 (tj. o 12 hodin dříve došlo k zvyšování odtoku z nádrže oproti skutečnému průběhu za povodně. Jen za tohoto průběhu manipulace nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži již při první vlně). Dále byla manipulace na objektech prováděna ***tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 1500 m³.s⁻¹***. Došlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—18 a Obr. 3—46. Maximální dosažená hladina byla **354.74** m.n.m. (tj. o 114 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl 3096 m³.s⁻¹ (tj. o 4 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3m

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 351.2 m.n.m. Jedná se o horní hladinu při hospodaření s vodou (dolní je 329.60 m n.m.). Manipulováno bylo obdobně jako při průběhu povodně až do náběhu první vlny 8.8.2002 4:00 (tj. o 12 hodin dříve došlo k zvyšování odtoku z nádrže oproti skutečnému průběhu za povodně. Jen za tohoto průběhu manipulace nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži již při první vlně). Dále byla manipulace na objektech prováděna ***tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 1700 m³.s⁻¹***. Nedošlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—19 a Obr. 3—47. Maximální dosažená hladina byla **354.45** m.n.m. (tj. o 85 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2952** m³.s⁻¹ (tj. o 148 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 3n

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 351.2 m.n.m. Jedná se o horní hladinu při hospodaření s vodou (dolní je 329.60 m n.m.). Manipulováno bylo obdobně jako při průběhu povodně až do náběhu první vlny 8.8.2002 4:00 (tj. o 12 hodin dříve došlo k zvyšování odtoku z nádrže oproti skutečnému průběhu za povodně. Jen za tohoto průběhu manipulace nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži již při první vlně). Dále byla manipulace na objektech prováděna ***tak, aby byl v Praze udržen neškodný průtok 2000 m³.s⁻¹***. Nedošlo k odstavení elektrárny. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—20 a Obr. 3—48. Maximální dosažená hladina byla **354.35** m.n.m. (tj. o 82 cm více než maximální možná hladina) a kulminační průtok byl **2907** m³.s⁻¹ (tj. o 193 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 4

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. . Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech byla prováděna ***tak, aby nedošlo k poklesu odtoku mezi vlnami.*** Při této variantě byl 9.8.2002 v 09:00 nastaven odtok z nádrže na 1120 m³.s⁻¹ (odp.hladina 352.63) a držen až do doby, než došlo vlivem přítoku k jeho zvýšení a později neovladatelnému odtoku. Průběh simulace je uveden na Obr. 3—21 a Obr. 3—49. Maximální dosažená hladina byla **355.08** m.n.m. (tj. o 9 cm méně než maximální hladina během povodně) a kulminační průtok byl **3012** m³.s⁻¹ (tj. o 88 m³.s⁻¹ méně než kulminační průtok za povodně).

Varianta 5a

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech v daném výpočtu odpovídala realitě. V této variantě je posuzován stav, ***kdy nedošlo k odstavení elektrárny.*** Jak známo, elektrárna vypadla z provozu 13.8. v 15:00. V období kulminace byla otevřena pouze jedna výpust. Porovnání výsledků simulace varianty 5a s vypnutou a stále běžící elektrárnou jsou zobrazeny na Obr. 3—22 a Obr. 3—50. Maximální dosažená hladina byla **354.49** m.n.m. (tj. o 68 cm méně než maximální hladina během povodně) a kulminační průtok byl **3318** m³.s⁻¹ (tj. o 218 m³.s⁻¹ více než kulminační průtok za povodně).

Varianta 5b

Při této variantě byl zvolen počátek výpočtu 5.8.2002 7:00 a počáteční hladina 348.5 m.n.m. Jedná se o skutečnou výšku hladiny, která byla naměřena. Manipulace na objektech v daném výpočtu odpovídala realitě. V této variantě je posuzován stav, ***kdy nedošlo k odstavení elektrárny.*** Jak známo, elektrárna vypadla z provozu 13.8. v 15:00. Při variantě 5b ***byly v období kulminace otevřeny obě výpusti.*** Porovnání výsledků simulace varianty 5a s vypnutou a stále běžící elektrárnou jsou zobrazeny na Obr. 3—23 a Obr. 3—51. Maximální dosažená hladina byla **354.27** m.n.m. (tj. o 90 cm méně než maximální hladina během povodně) a kulminační průtok byl **3221** m³.s⁻¹ (tj. o 121 m³.s⁻¹ více než kulminační průtok za povodně).

Souhrnné výsledky

Celkové výsledky variant pro VD Orlick jsou v Tab. 3-2. Průtoky pro profil Chuchle v Tab. 3-3. Grafická prezentace průběhu odtoků z VD Orlick je na Obr. 3—24 a Obr. 3—25, průběhů hladin na Obr. 3—26. Průběh průtoků v profilu Chuchle pro jednotlivé varianty je na Obr. 3—27.

Varianta	Počáteční hladina (m.n.m.)	Max hladina (m.n.m.)	Max. průtok ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Odchylka od max.-hladiny (m)	Odchylka od hladiny PVL (m)	Odchylka průtoku od PVL ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Odchylka průtoku od PVL (%)
1a	345.6	355.17	3053	1.57	-0.00	-47	1.5
1b	345.6	354.42	2935	0.82	-0.75	165	5.3
1c	345.6	353.52	3116	-0.08	-1.65	16	-0.5
1d	345.6	355.07	2697	1.47	-0.10	-403	13.0
2a	347.6	355.19	3063	1.59	0.02	-37	1.2
2b	347.6	354.05	3126	0.45	-1.12	26	-0.8
3a	348.5	353.52	2522	-0.08	-1.65	-578	18.6
3b	348.5	353.52	2522	-0.08	-1.65	-578	18.6
3c	348.5	353.52	2522	-0.08	-1.65	-578	18.6
3d	348.5	354.32	2891	0.72	-0.85	-209	6.7
3e	348.5	354.29	2879	0.69	-0.88	-221	7.1
3f	348.5	353.44	3083	-0.16	-1.73	-17	0.5
3g	348.5	353.40	3067	-0.20	-1.77	-33	1.1
3h	347.6	354.38	2921	0.78	-0.79	-179	5.8
3i	347.6	354.27	2868	0.67	-0.90	-232	7.5
3j	347.6	353.41	3072	-0.19	-1.76	-28	0.9
3k	347.6	353.37	3056	-0.23	-1.80	-44	1.4
3l	351.2	354.74	3096	1.14	-0.43	-4	0.1
3m	351.2	354.45	2952	0.85	-0.72	-148	4.8
3n	351.2	354.35	2907	0.75	-0.82	-193	6.2
4	348.5	355.08	3012	1.48	-0.09	-88	2.8
5a	348.5	354.49	3318	0.89	-0.68	218	-7.0
5b	348.5	354.27	3221	0.67	-0.90	121	-3.9

Tab. 3-2 Základní charakteristiky variant (VD Orlík)

Varianta	Počáteční hladina VD Orlík (m.n.m.)	Max. průtok pf Chuchle ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Odchylka max. průtoku od průtoku PVL $5160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Odchylka max. průtoku od průtoku PVL $5160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (%)
1a	345.6	5122	-38	-0.7
1b	345.6	4986	-174	-3.4
1c	345.6	5212	52	1.0
1d	345.6	4770	-390	-7.6
2a	347.6	5156	-4	-0.1
2b	347.6	5312	152	2.9
3a	348.5	4612	-548	-10.6
3b	348.5	4612	-548	-10.6
3c	348.5	4612	-548	-10.6
3d	348.5	4934	-226	-4.4
3e	348.5	4907	-253	-4.9
3f	348.5	5276	116	2.3
3g	348.5	5035	-125	-2.4
3h	347.6	4982	-178	-3.4
3i	347.6	4888	-272	-5.3
3j	347.6	5253	93	1.8
3k	347.6	5020	-140	-2.7

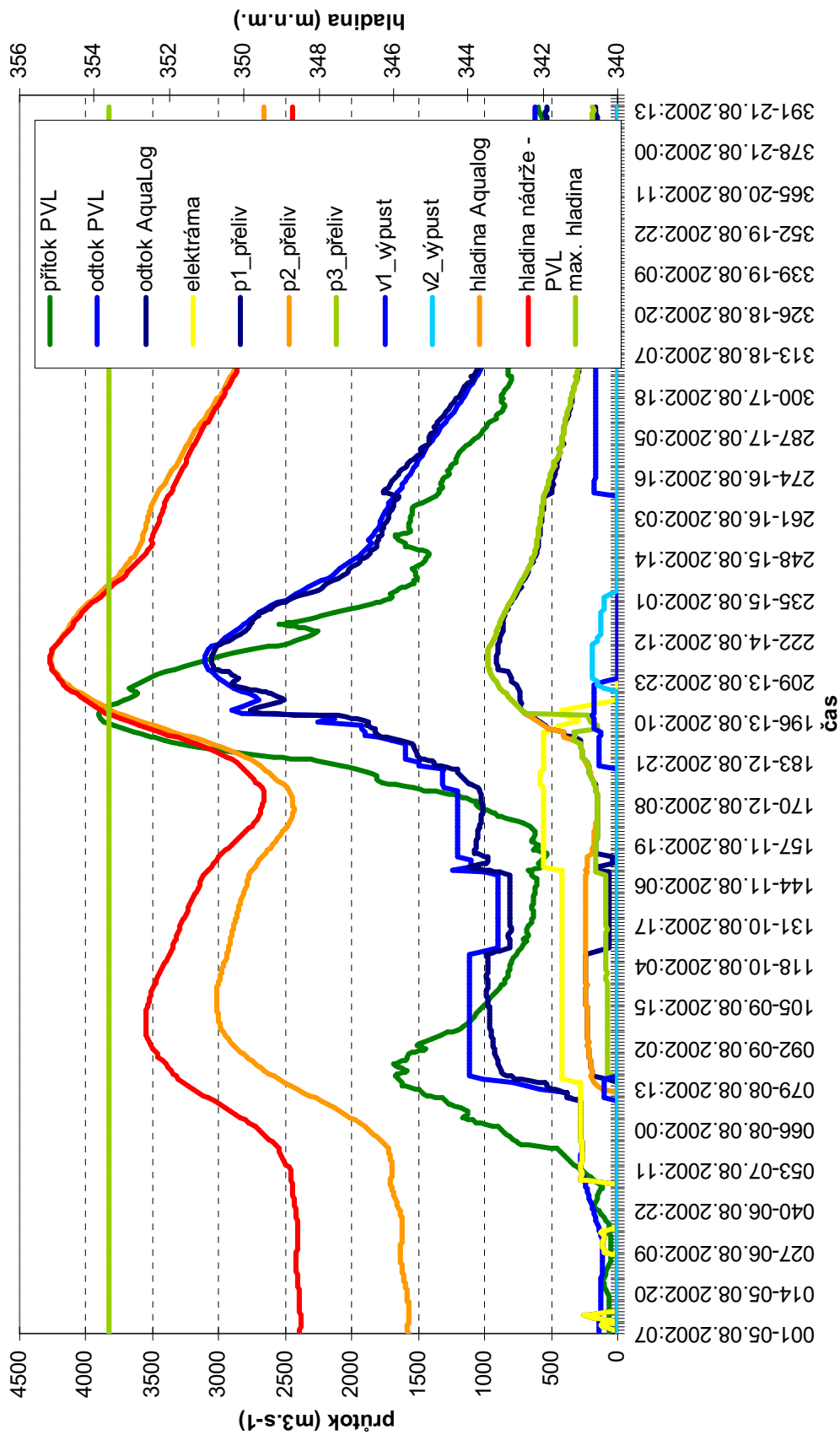
Varianta	Počáteční hladina VD Orlík (m.n.m.)	Max. průtok pf Chuchle ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Odchylka max. průtoku od průtoku PVL $5160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Odchylka max. průtoku od průtoku PVL $5160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (%)
3l	351.2	53869	226	4.4
3m	351.2	5228	68	1.3
3n	351.2	5117	-43	-0.8
4	348.5	5267	107	2.1
5a	348.5	5547	387	7.5
5b	348.5	5508	348	6.7

Tab. 3-3 Základní charakteristiky variant (profil Chuchle)

Nádrž	Počáteční hladina nádrže 5.7.2002 7:00 (m.n.m.)
Orlík	348.50
Kamýk	282.62
Slapy	269.95
Štěchovice	217.04
Vrané	199.88

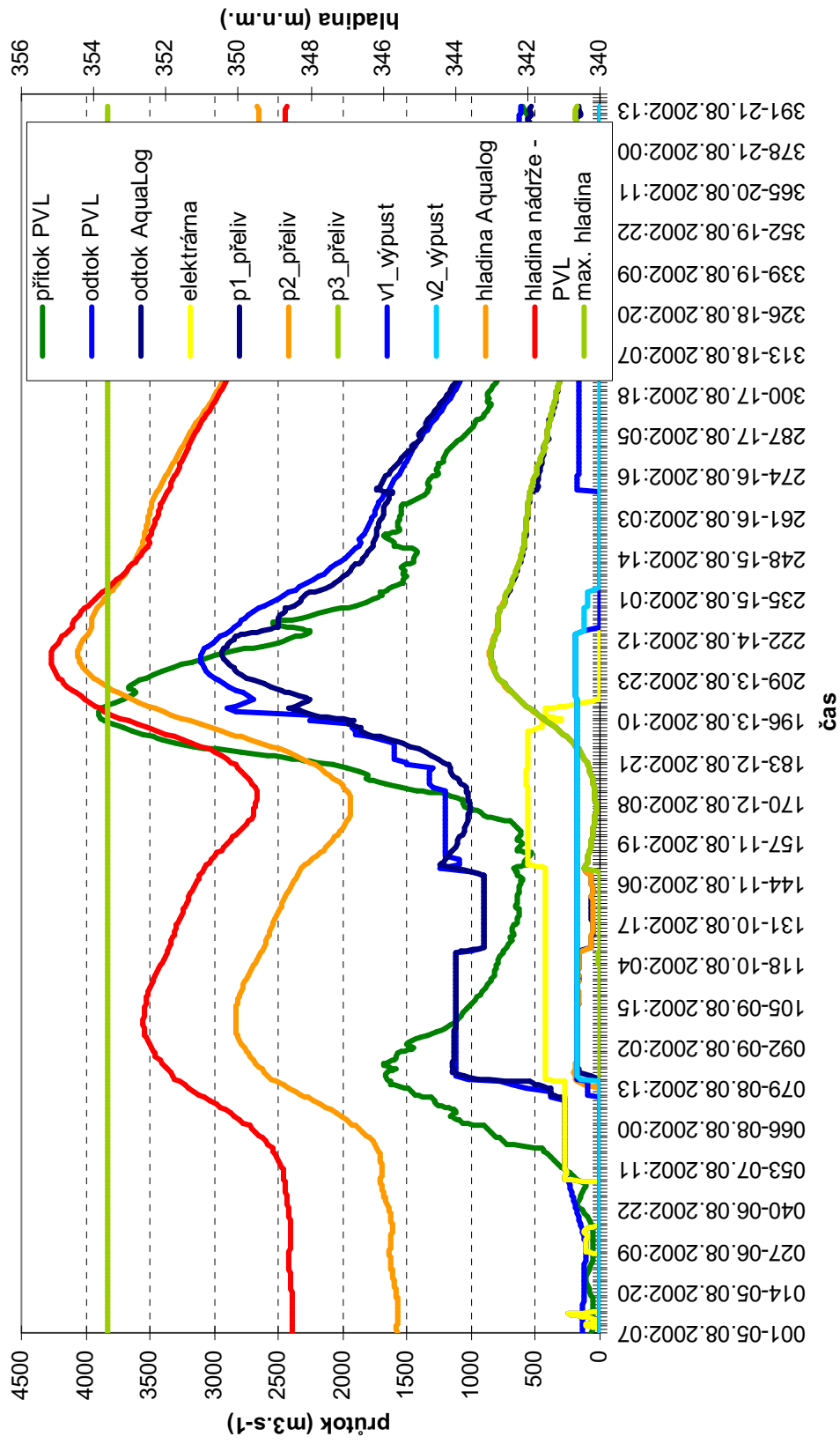
Tab. 3-4 Počáteční hladina v nádrži

**Simulace VD Orlik na základě měrných křivek a nastavení objektů
varianta 1a - počáteční hladina 345.6 mn.m**

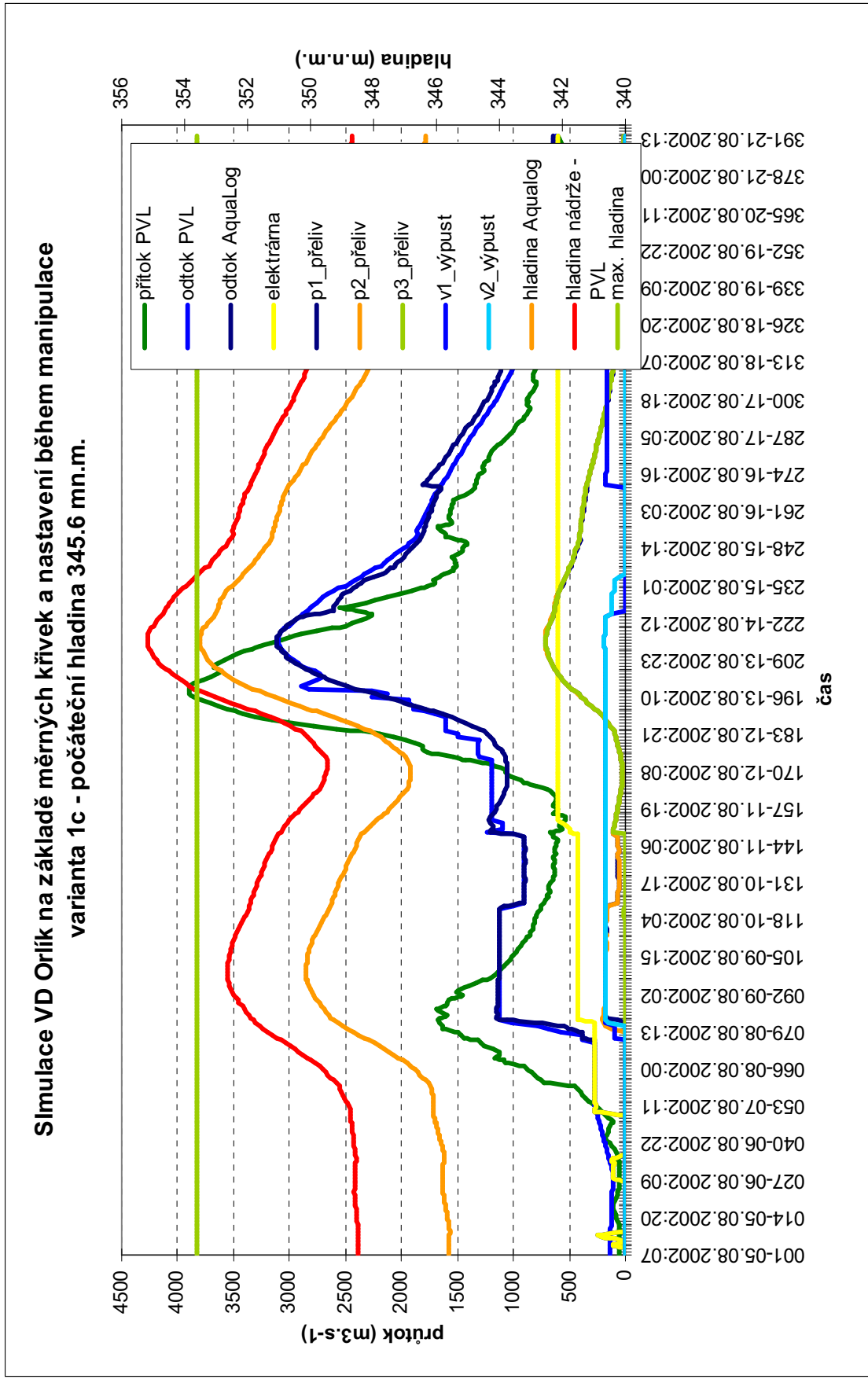


Obr. 3—1 Varianta 1a – simulace průběhu povodně na VD Orlik pro počáteční hladinu v nádrži 345.6 m.n.m. 5.8 2002 v 7:00 hod.

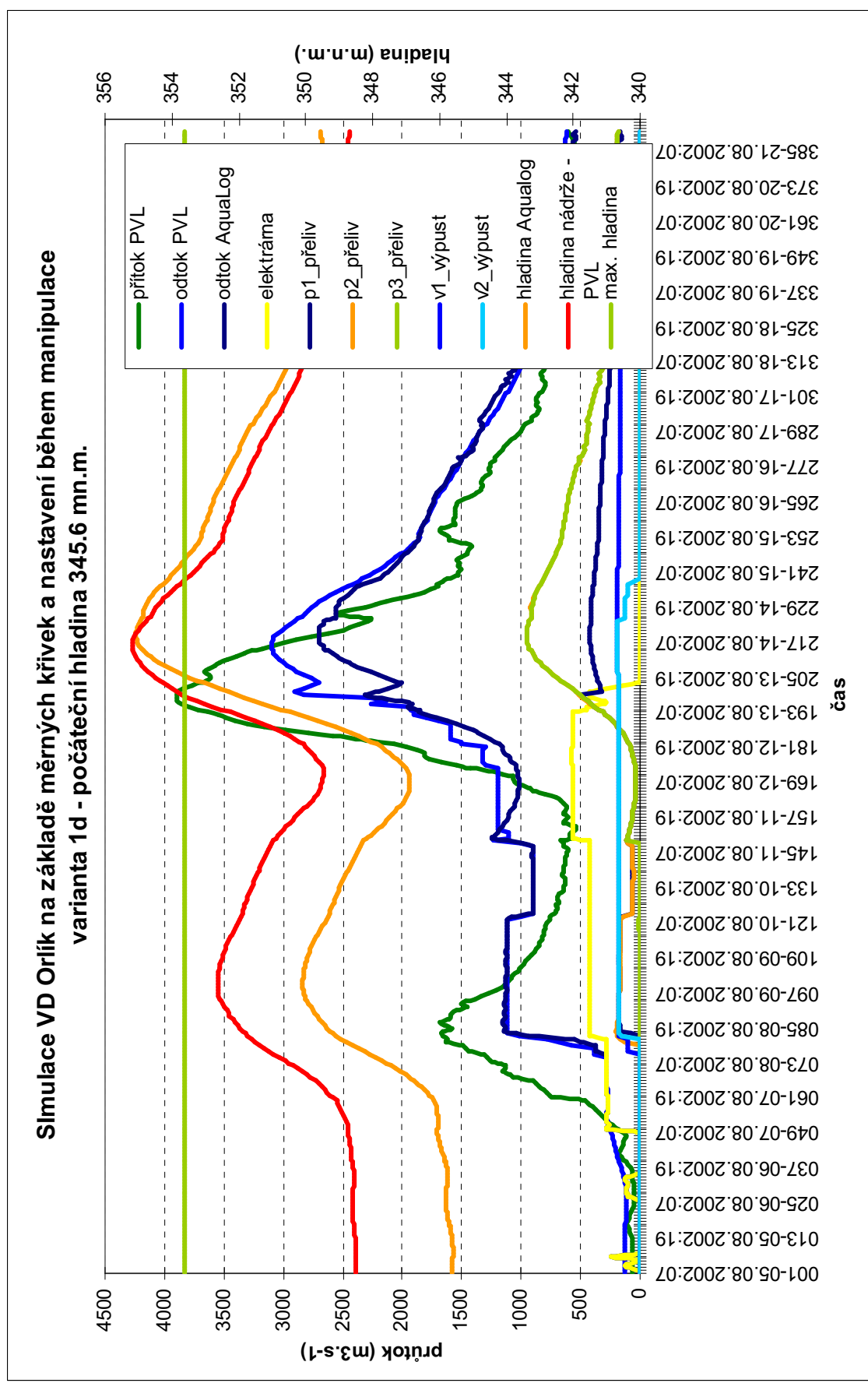
**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení během manipulace
varianta 1b - počáteční hladina 345.6 mn.m.**



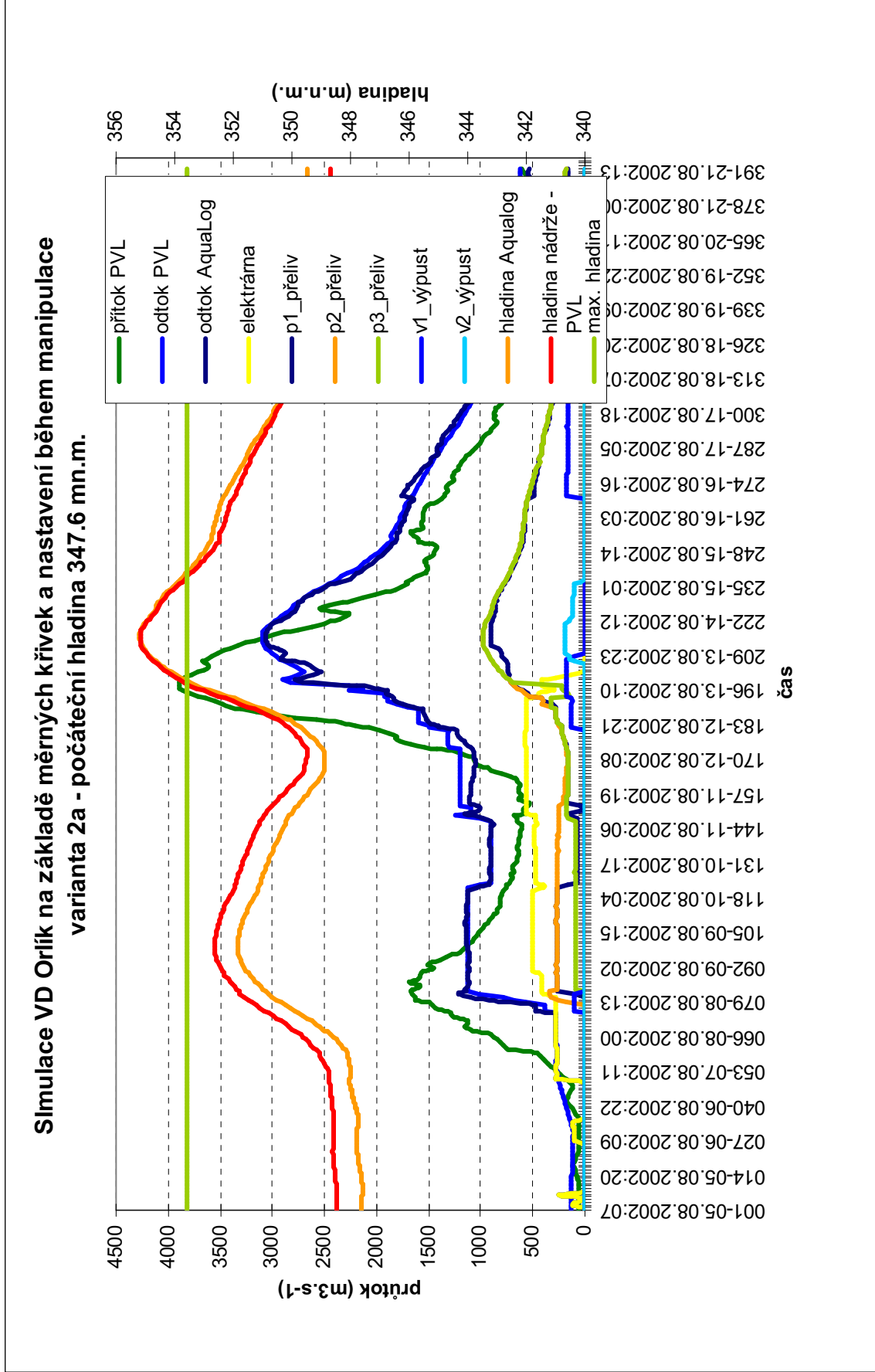
Obr. 3—2 Varianta 1b – simulace průběhu povodně na VD Orlík pro počáteční hladinu v nádrži 345.6 m.n.m. 5.8 2002 v 7:00 hod.



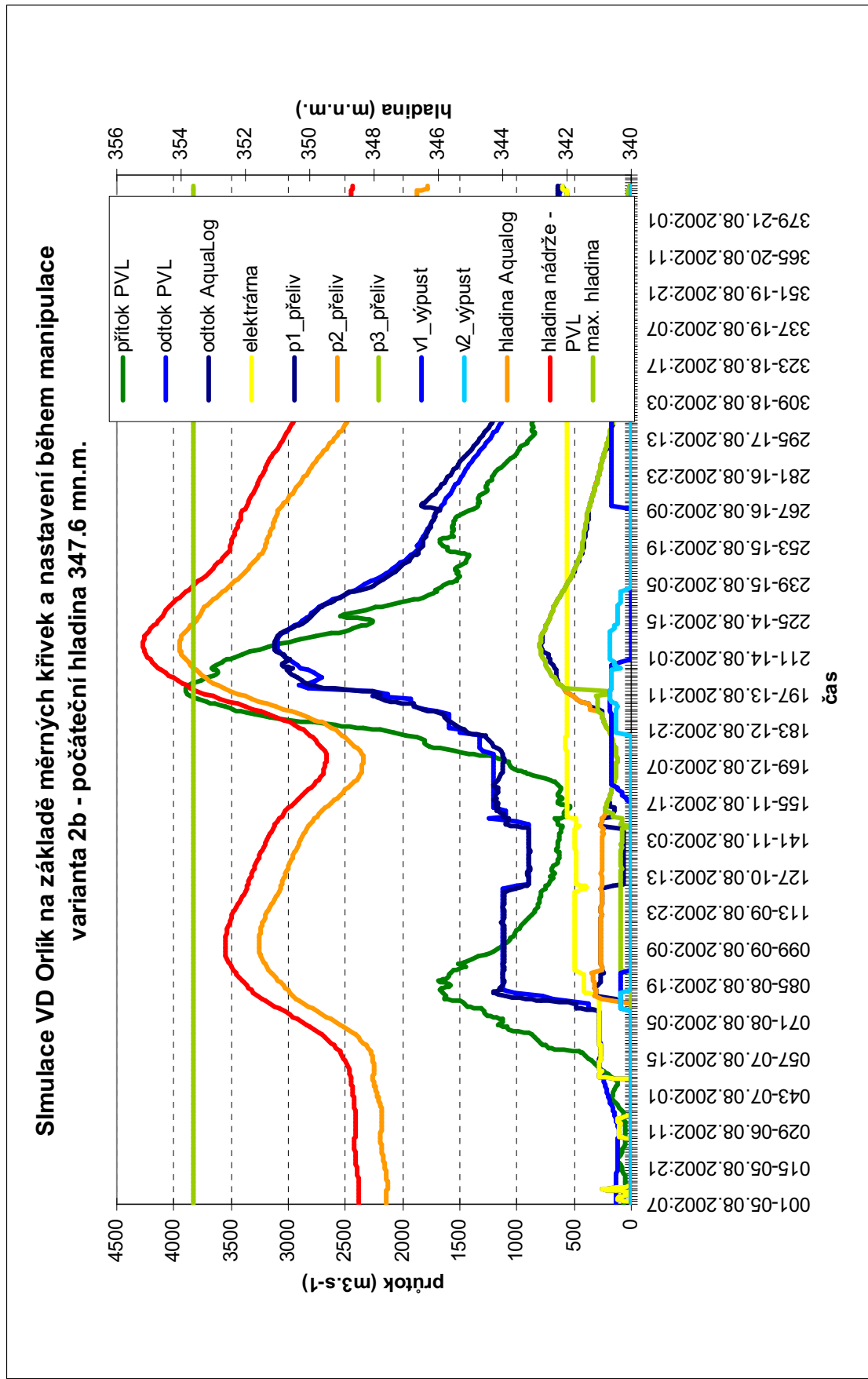
Obr. 3—3 Varianta 1c – simulace průběhu povodně na VD Orlík pro počáteční hladinu v nádrži 345.6 m.n.m. 5.8. 2002 v 7:00 hod. V době kulminace byly obě dvě výpusti otevřeny.



Obr. 3—4 Varianta 1d – simulace průběhu povodně na VD Orlík pro počáteční hladinu v nádrži 345.6 m.n.m. 5.8. 2002 v 7:00 hod. V době kulminace byly obě dvě výpusti otevřeny.

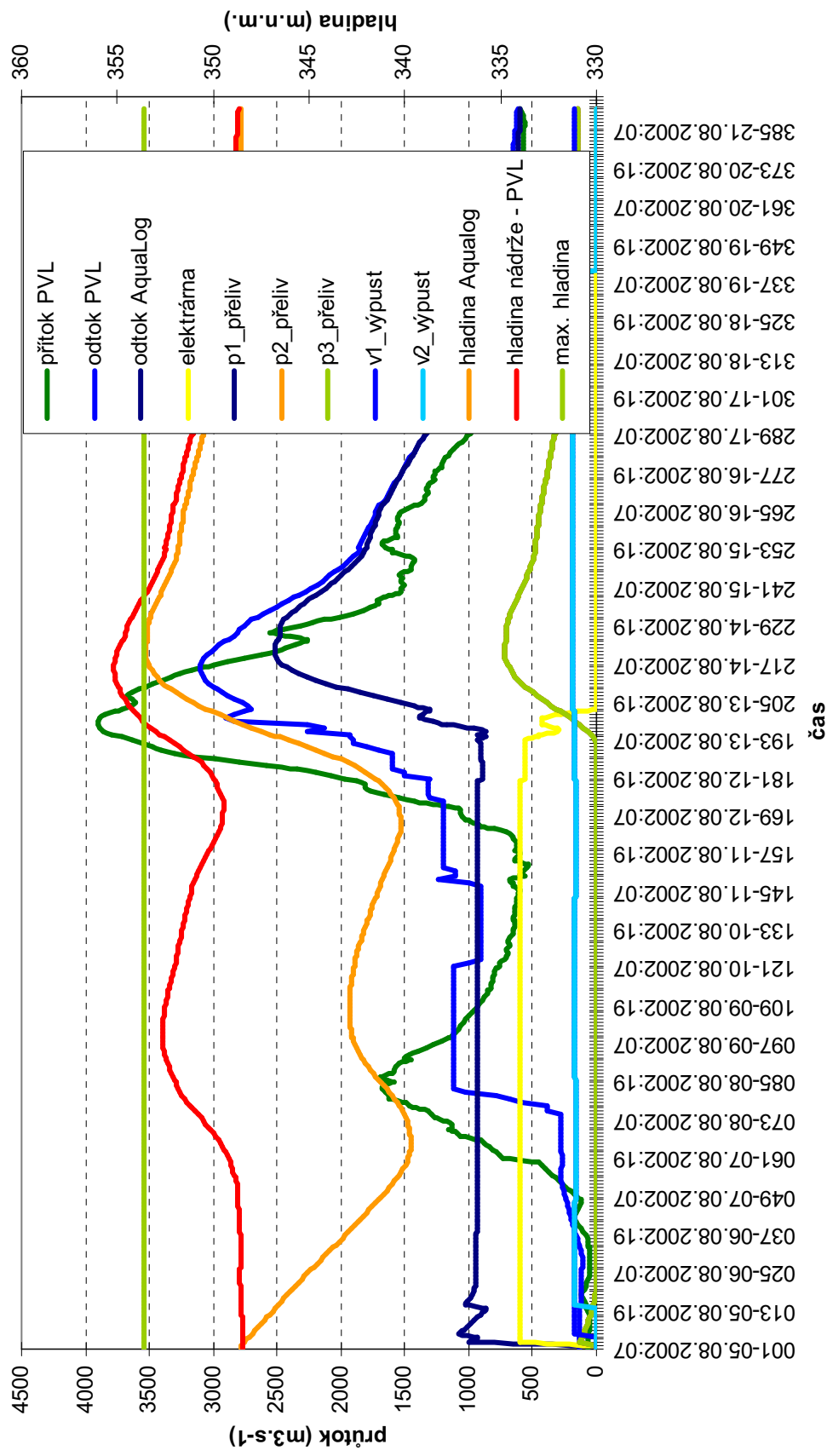


Obr. 3—5 Varianta 2a - simulace průběhu povodně na VD Orlík pro počáteční hladinu v nádrži 347.6 m.n.m. 5.8.2002 v 7:00 hod.



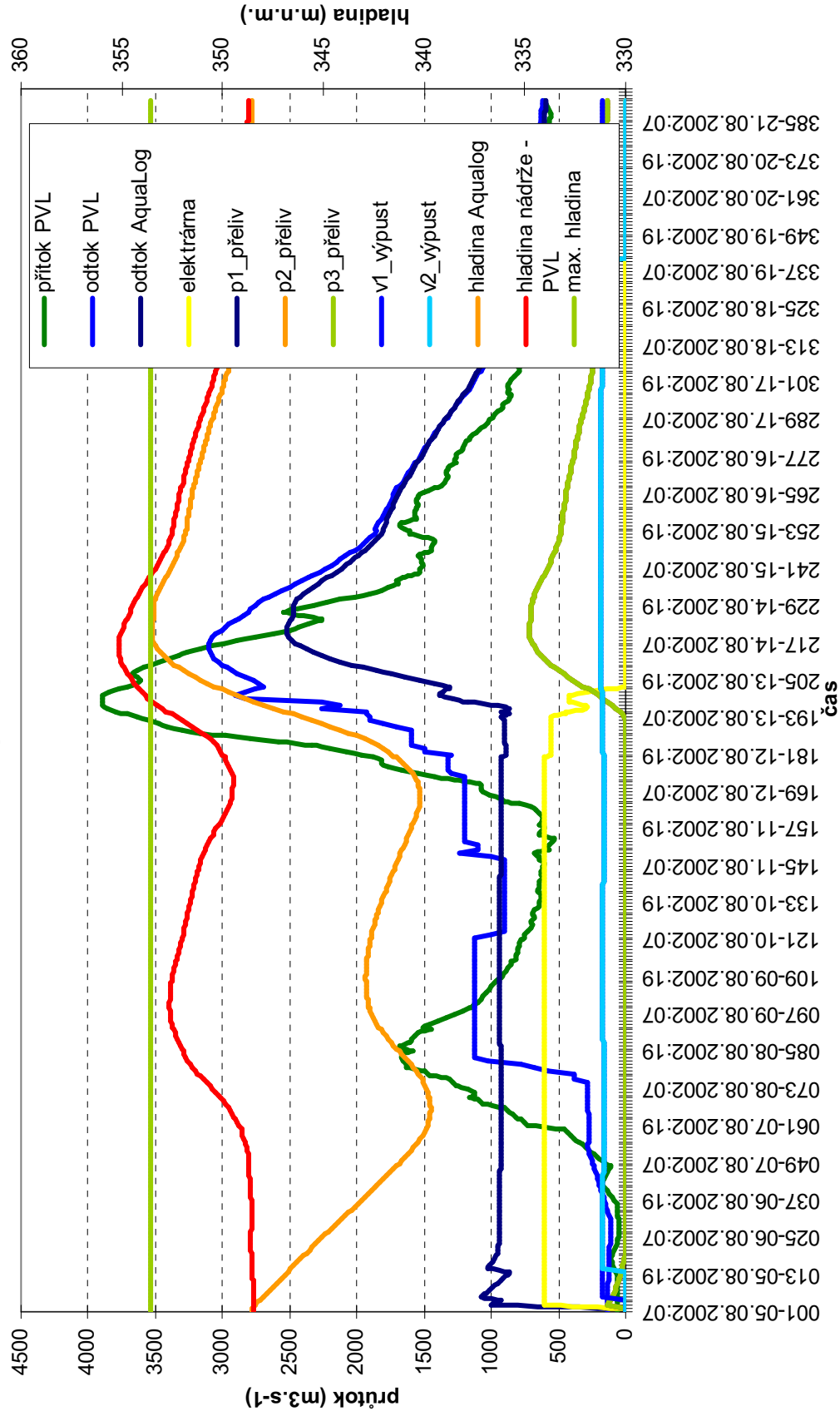
Obr. 3—6 Varianta 2b – simulace průběhu povodně na VD Orlík pro počáteční hladinu v nádrži 347.6 m.n.m. 5.8 2002 v 7:00 hod. V době kulminace byly obě dvě výpusti otevřeny.

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3a - neškodný průtok v Praze 1500 m³.s-1**



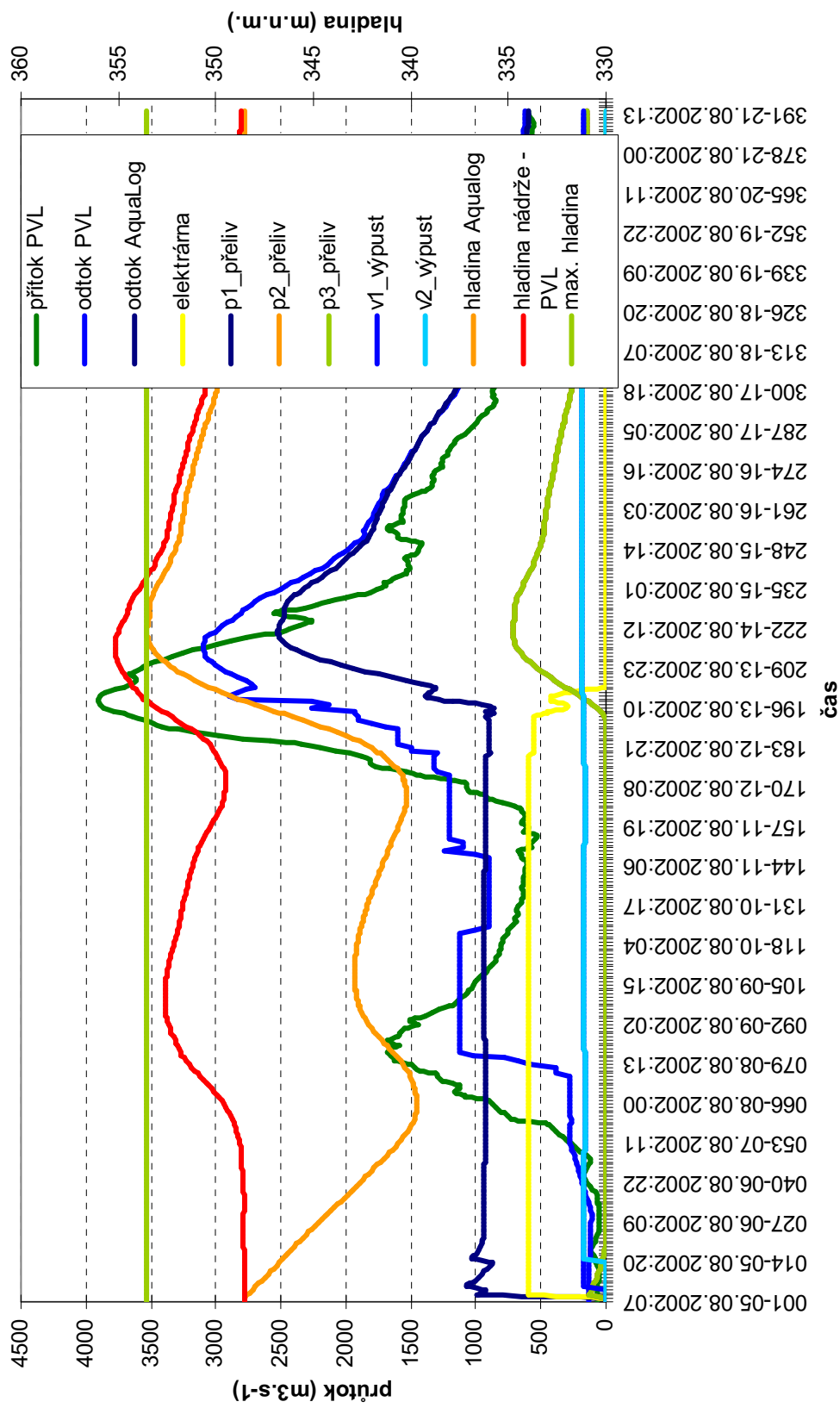
Obr. 3—7 Varianta 3a - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1500 m³.s⁻¹.

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3b - neškodný průtok v Praze 1700 m³.s-1**



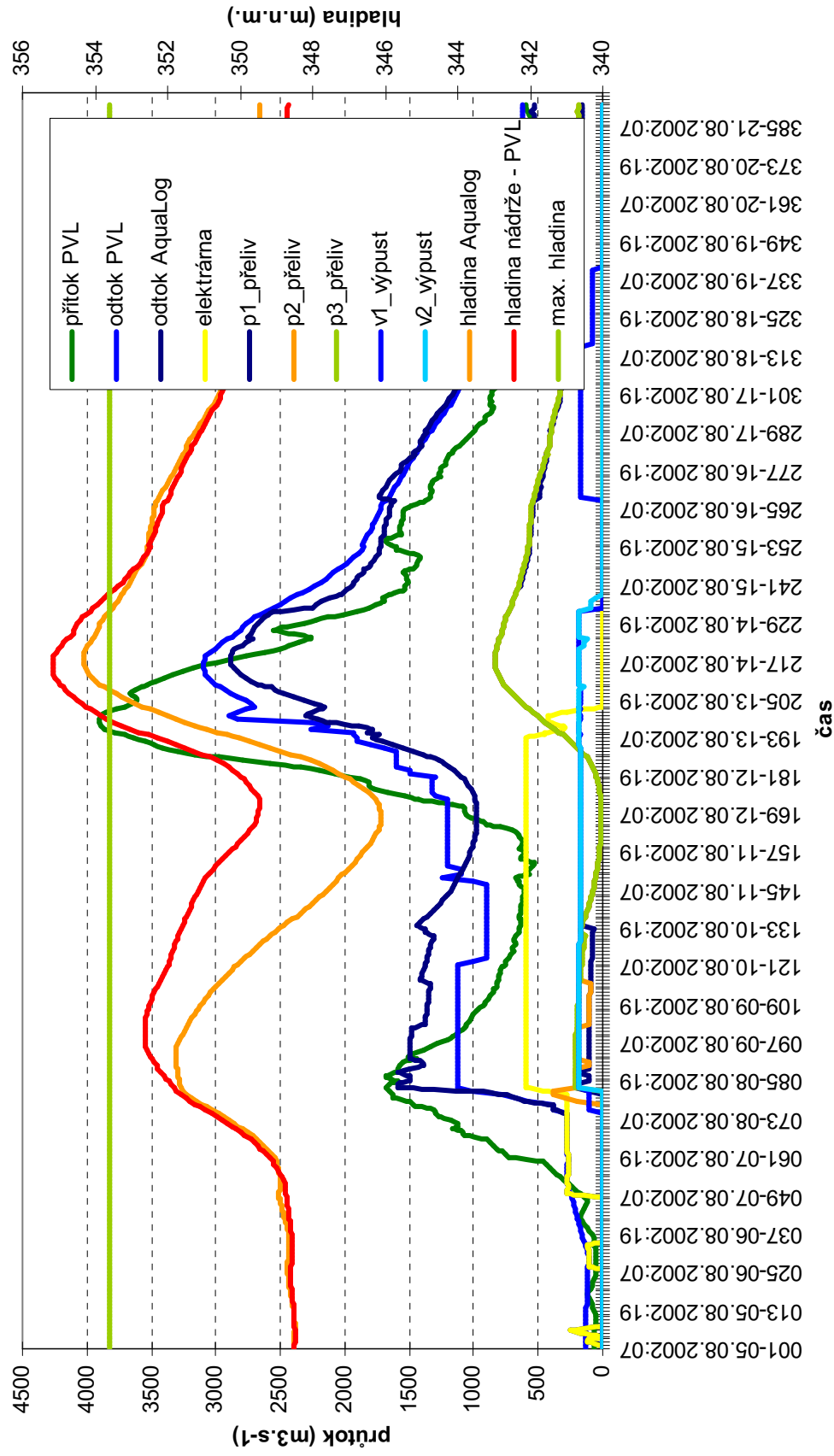
Obr. 3—8 Varianta 3b - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1700 m³.s⁻¹

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3c - neškodný průtok v Praze 2000 m³.s⁻¹**



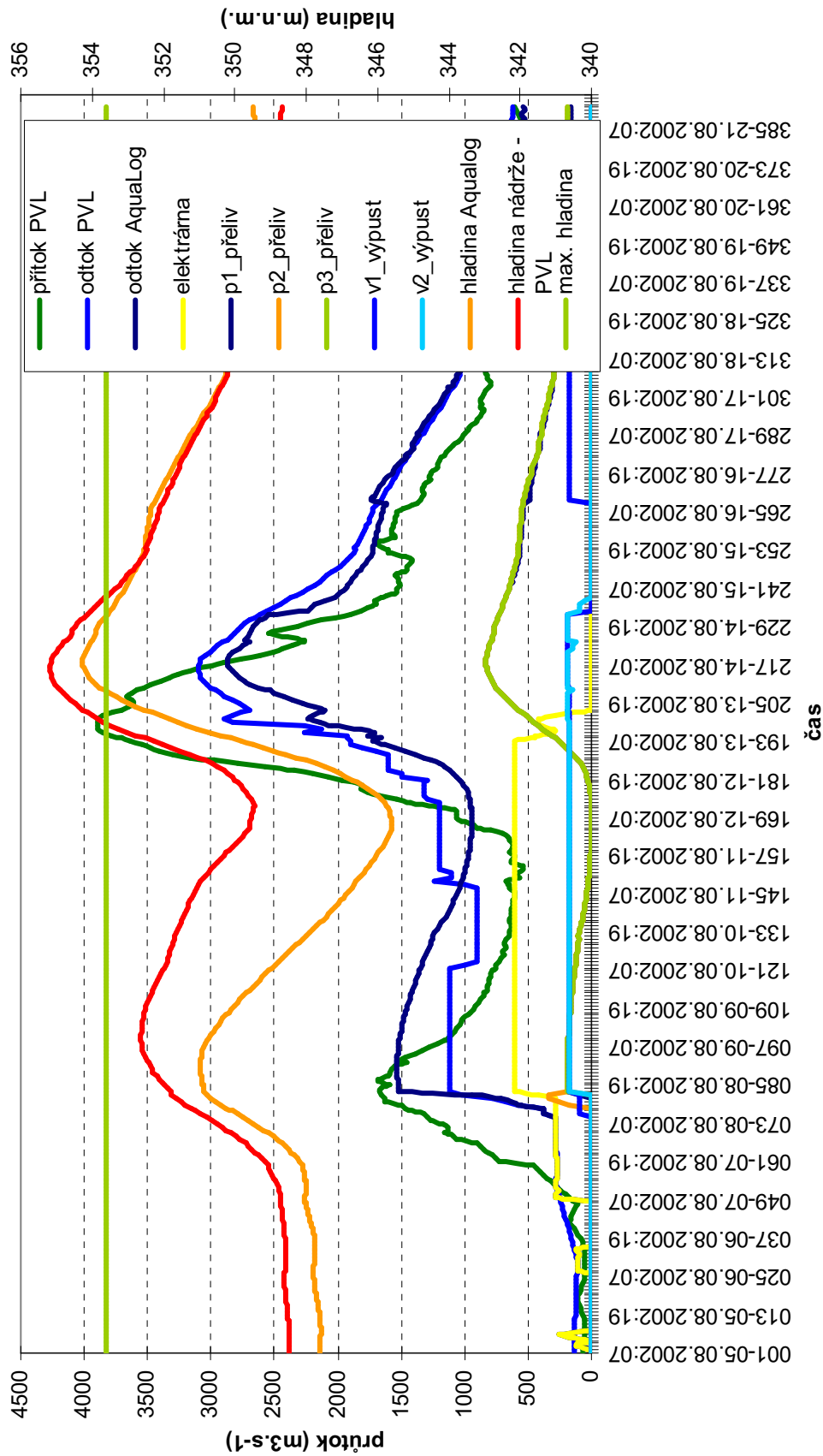
Obr. 3—9 Varianta 3c Simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 2000 m³.s⁻¹

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3d - neškodný průtok v Praze 1700 m³.s-1**



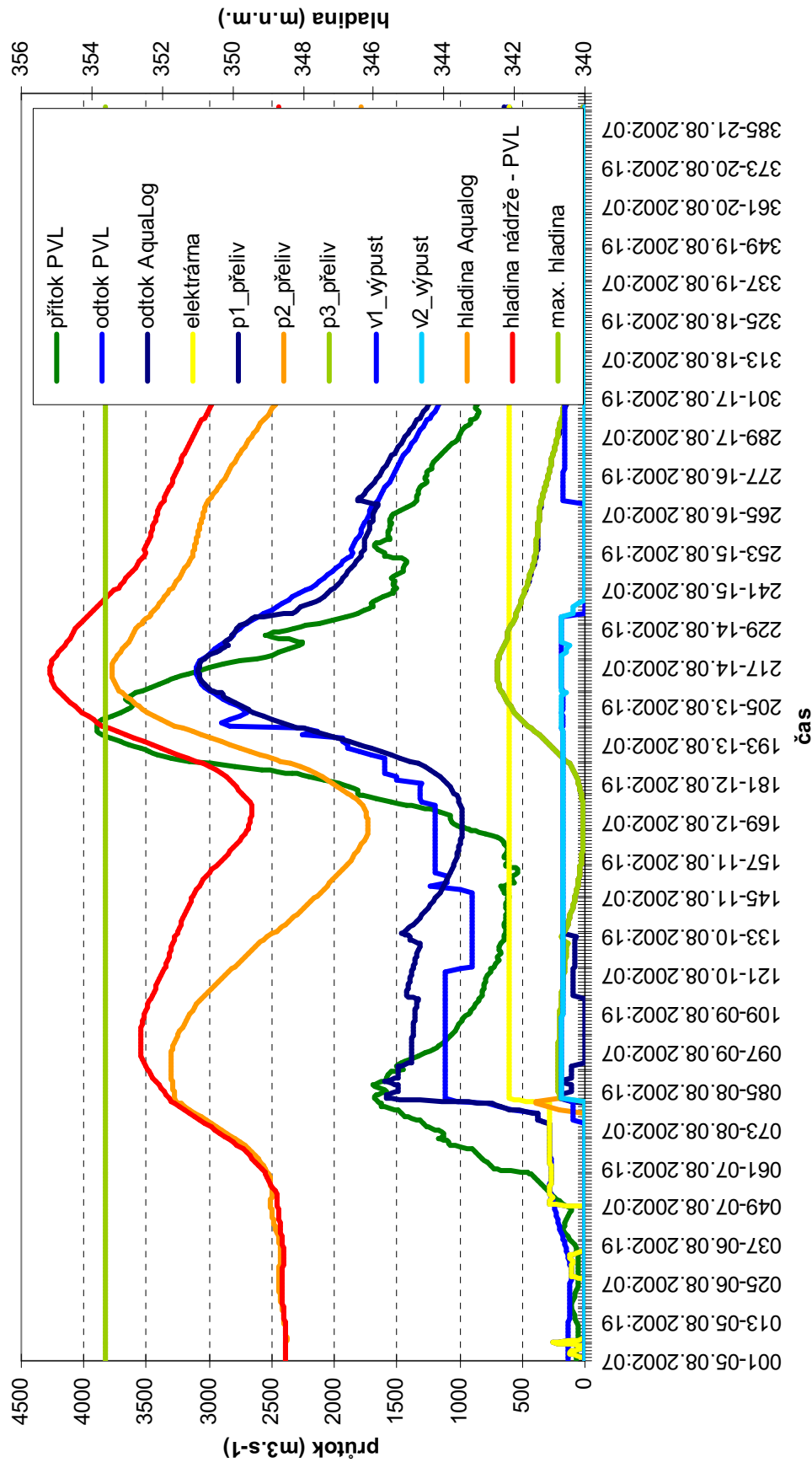
Obr. 3—10 Varianta 3d - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1700 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3i - neškodný průtok v Praze 2000 m³.s-1**



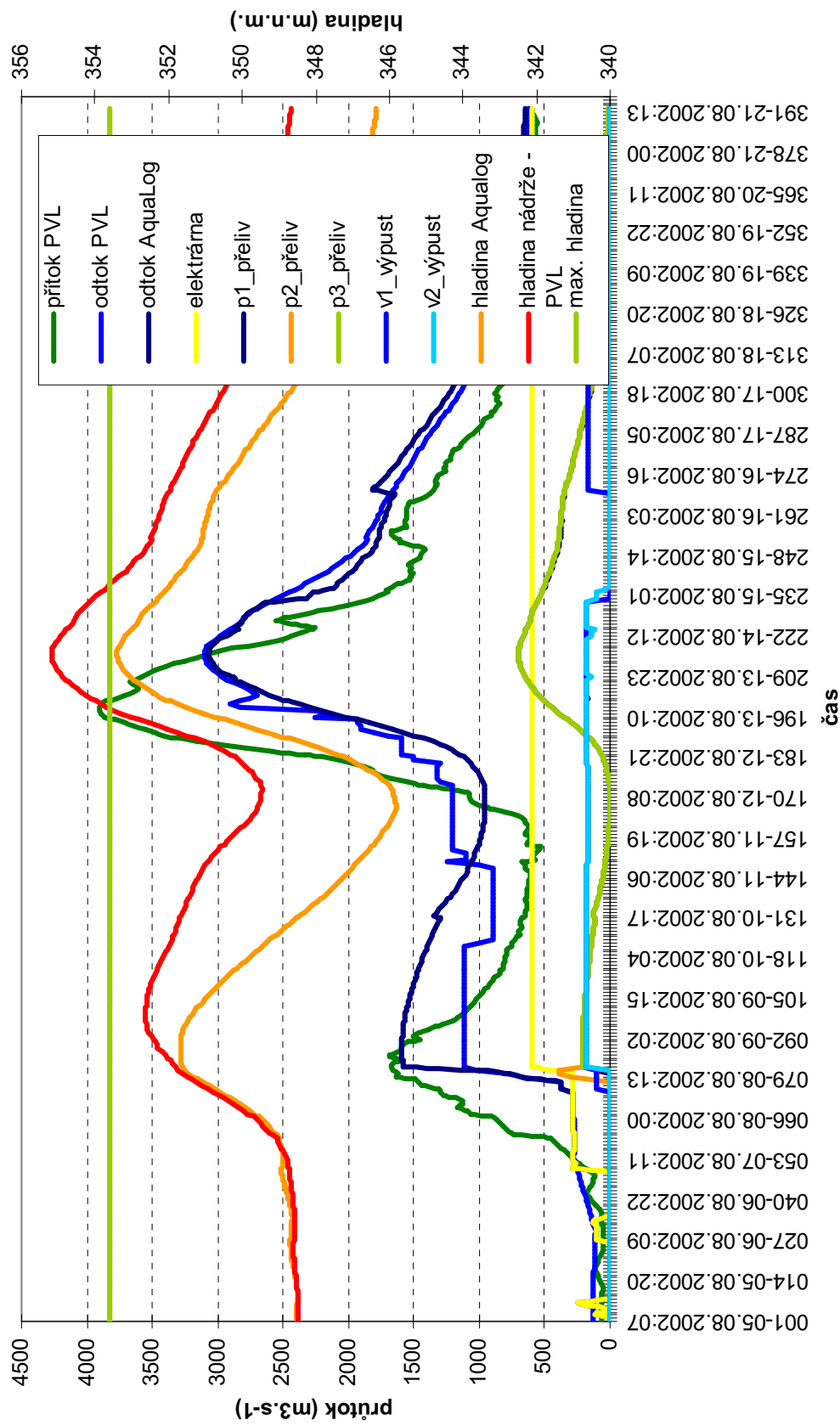
Obr. 3—11 Varianta 3e- simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 2000 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3f - neškodný průtok v Praze 1700 m³.s-1**



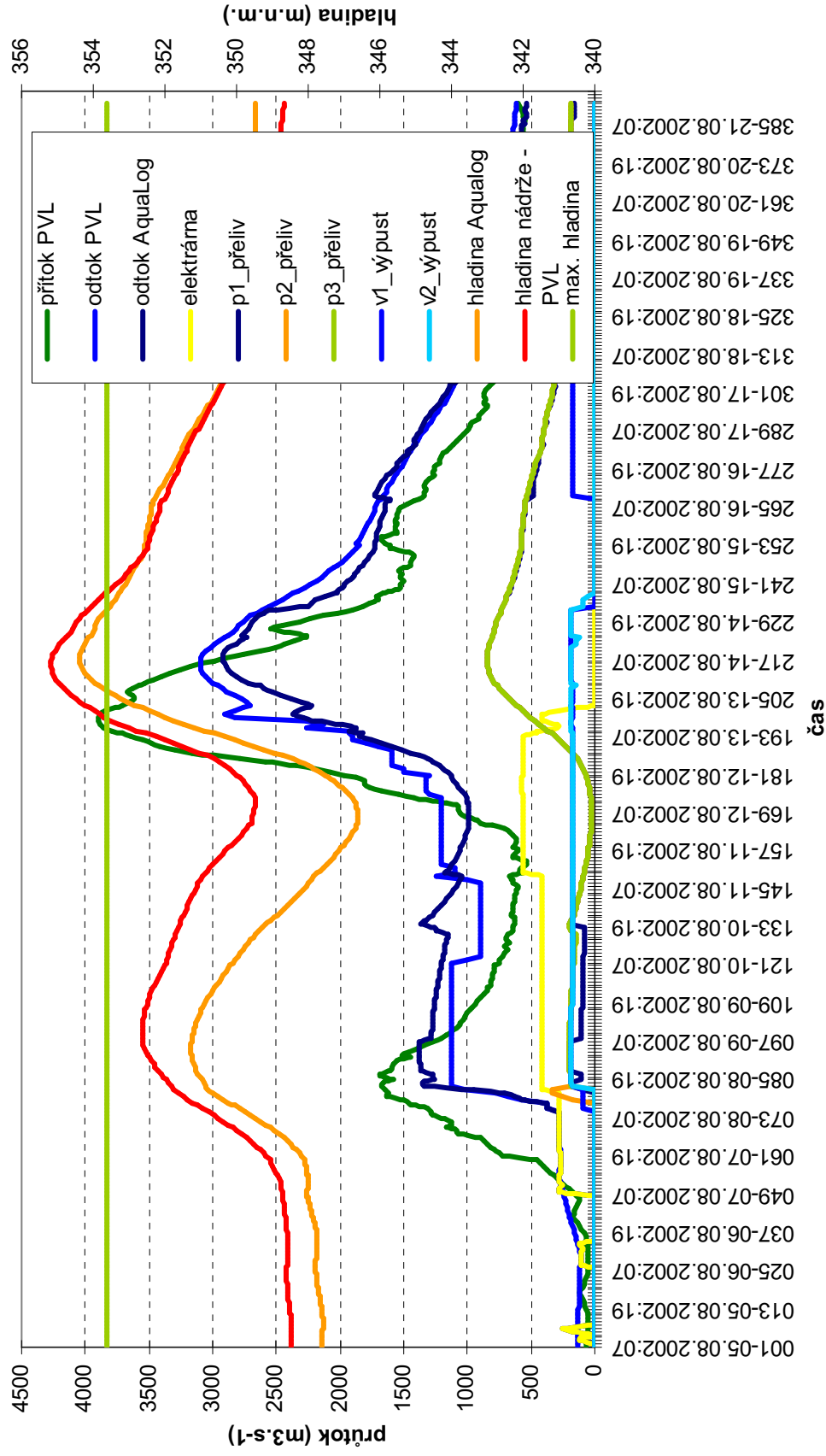
Obr. 3—12 Varianta 3f - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1700 m³.s⁻¹, nedošlo k odstavení elektrárny

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3g - neškodný průtok v Praze 2000 m³.s-1**



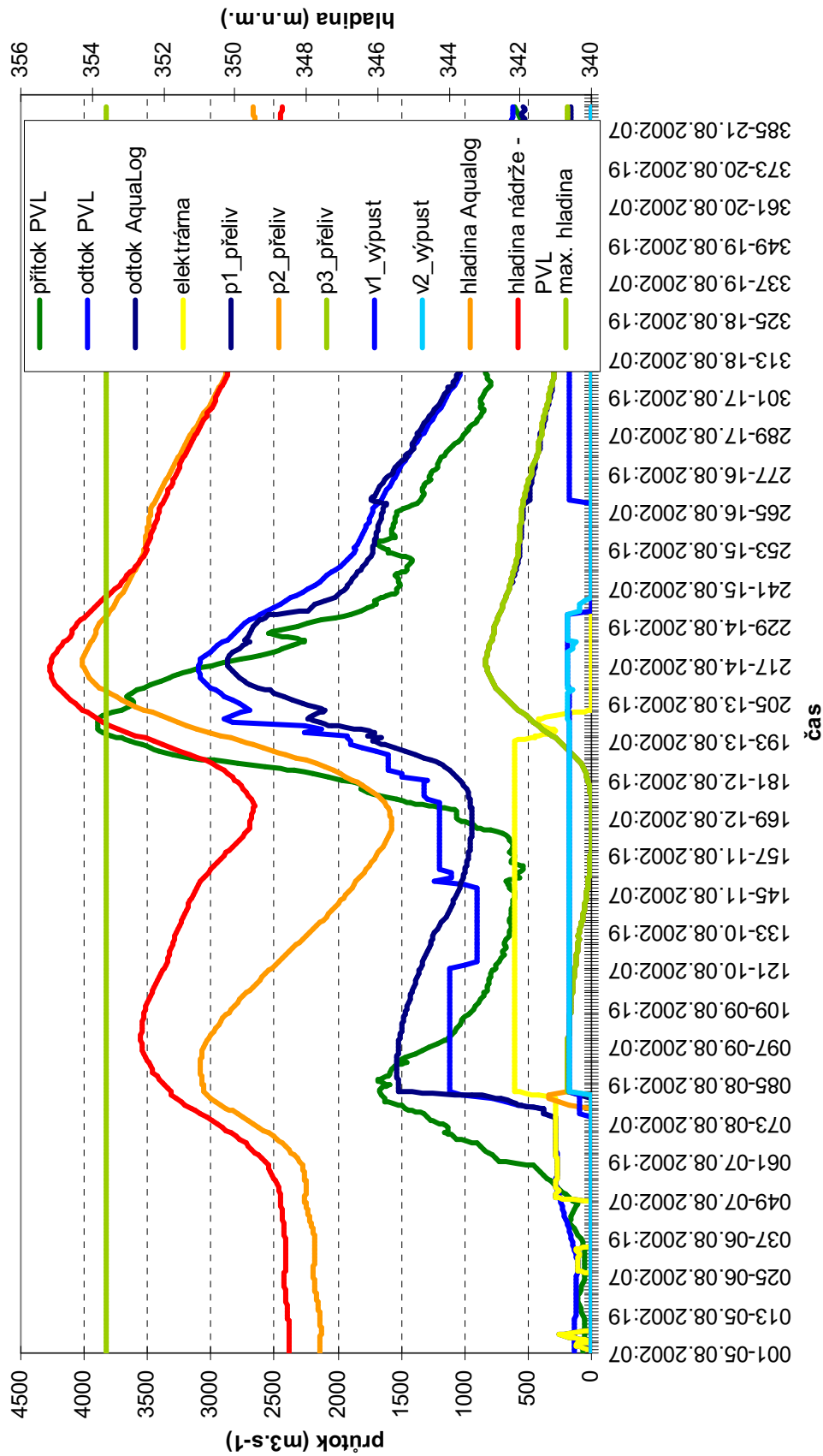
Obr. 3—13 Varianta 3g - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 2000 m³.s⁻¹, nedošlo k odstavení elektrárny

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3h - neškodný průtok v Praze 1700 m³.s-1**

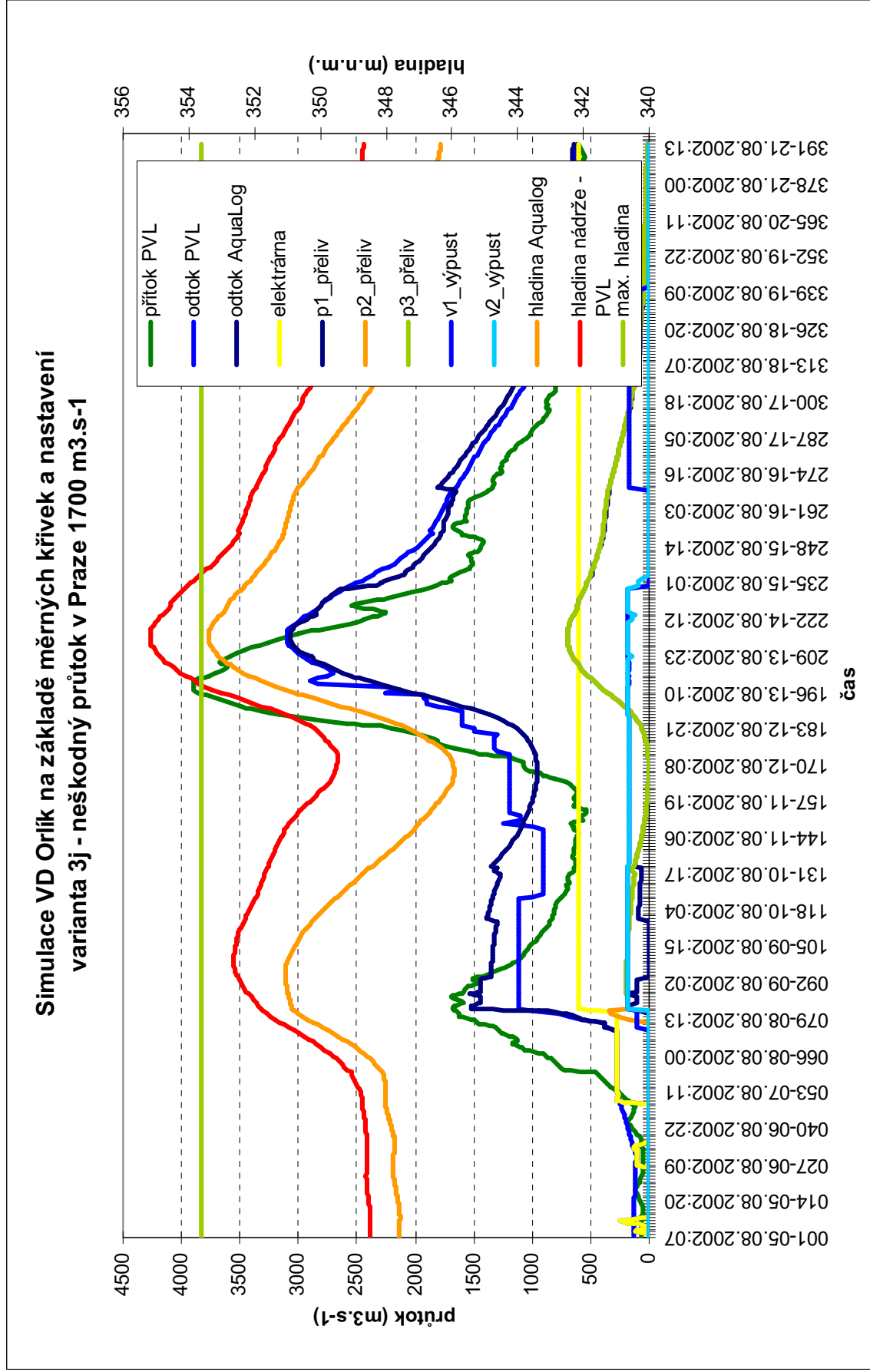


Obr. 3—14 Varianta 3h - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1700 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny

Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení varianta 3i - neškodný průtok v Praze 2000 m³.s-1

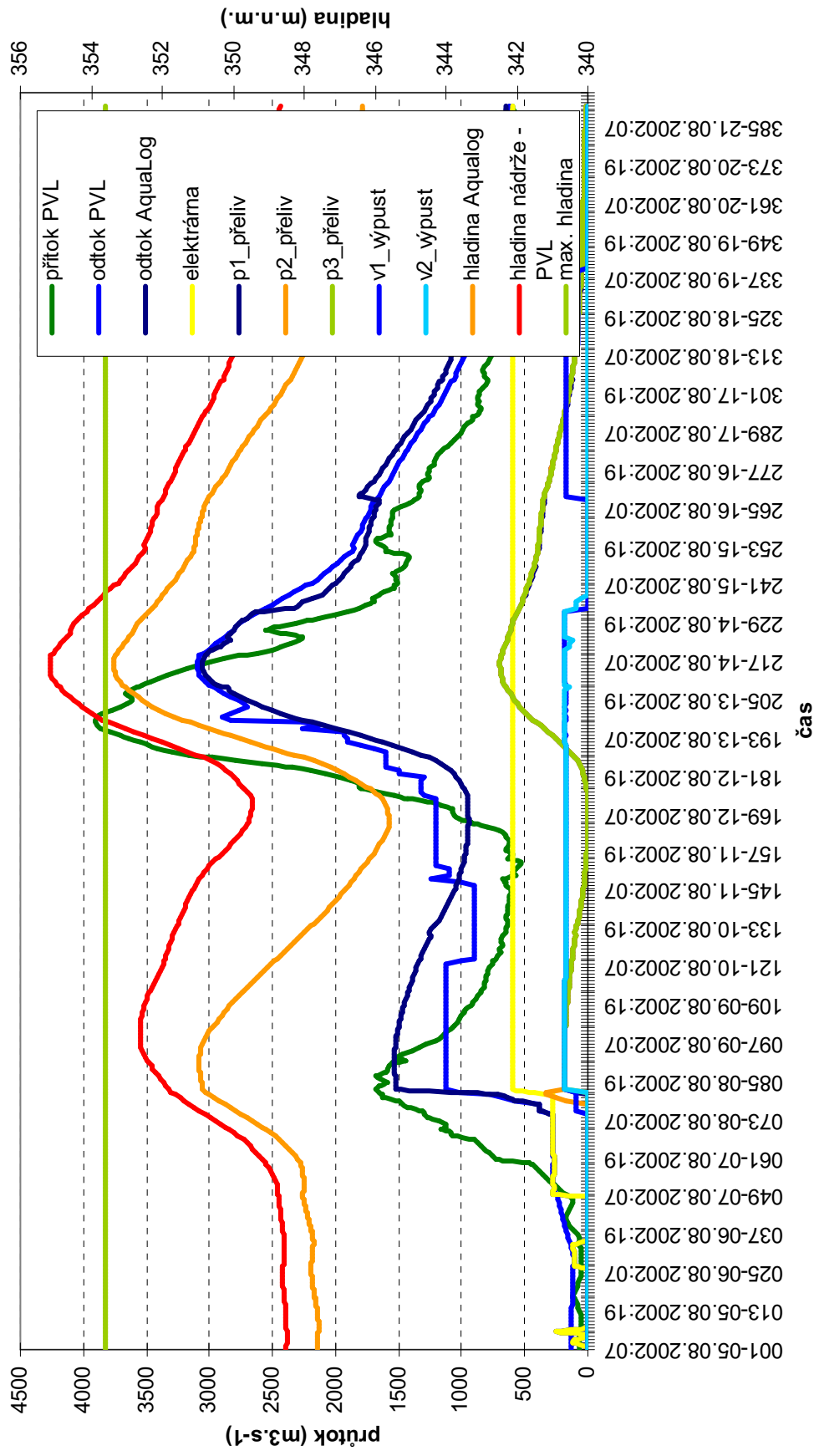


Obr. 3—15 Varianta 3i- simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 2000 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny



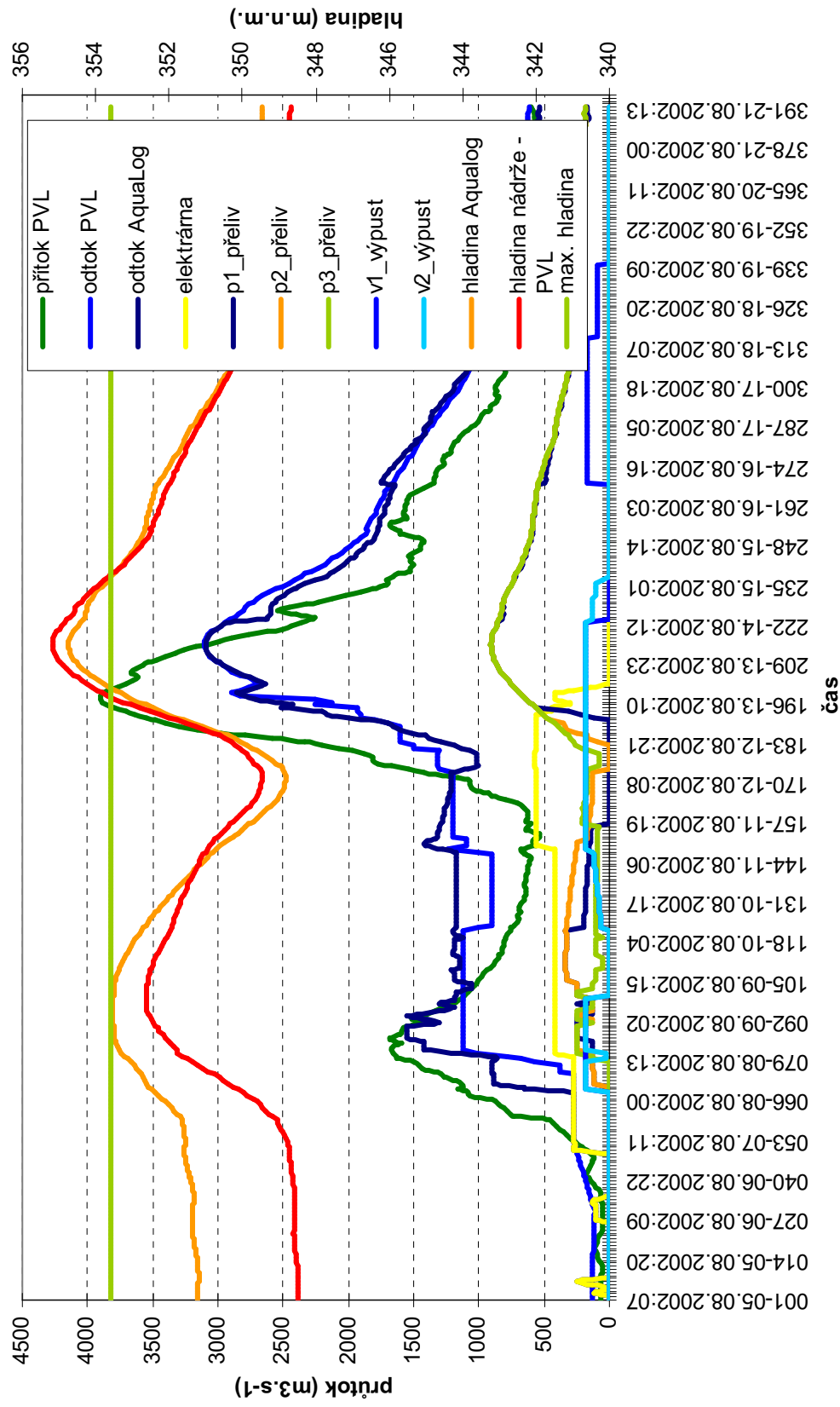
Obr. 3—16 Varianta 3j - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1700 m³.s⁻¹, nedošlo k odstavení elektrárny

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3k - neškodný průtok v Praze 2000 m³.s-1**



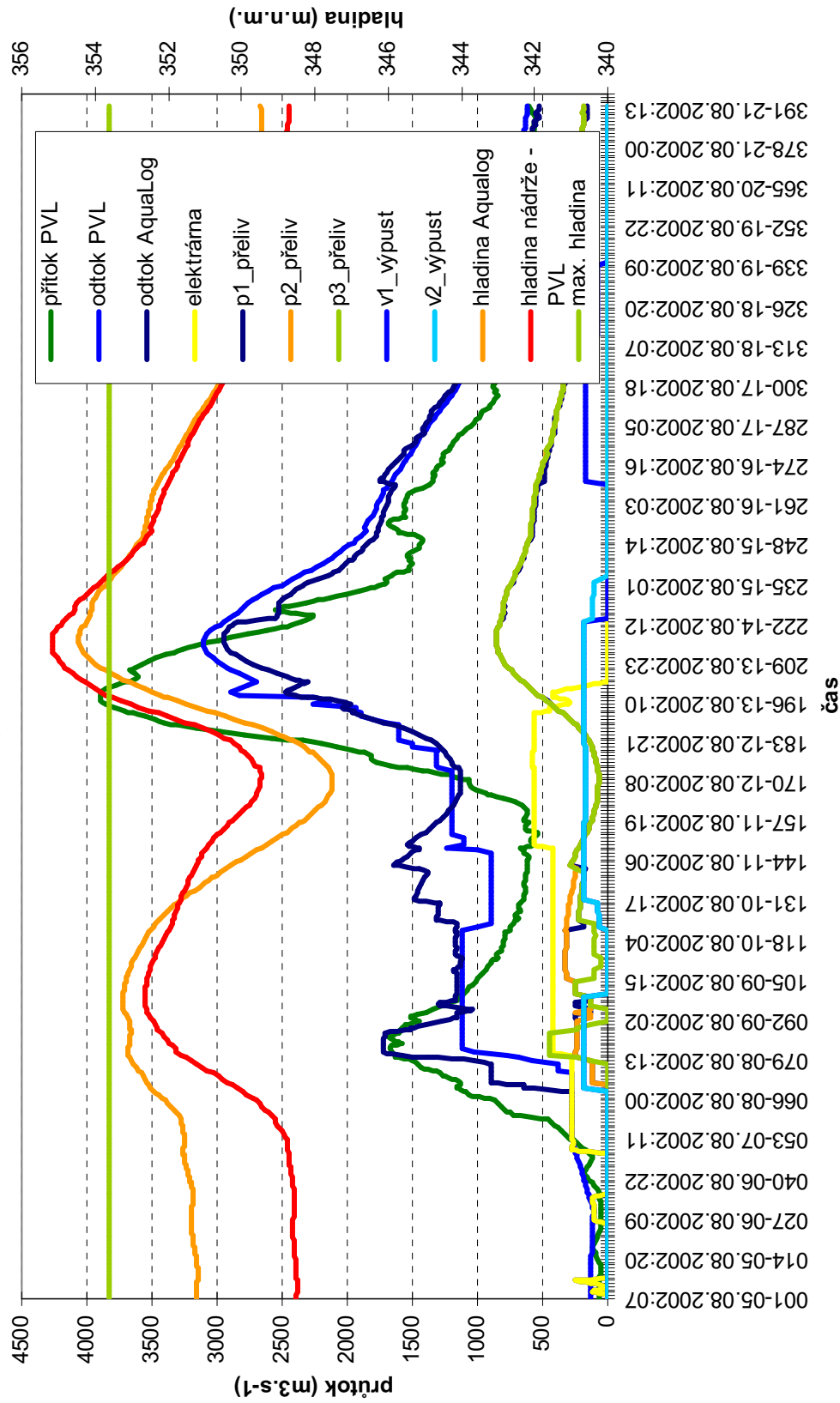
Obr. 3—17 Varianta 3k - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 2000 m³.s⁻¹, nedošlo k odstavení elektrárny

**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3l - neškodný průtok v Praze 1500 m³.s-1**

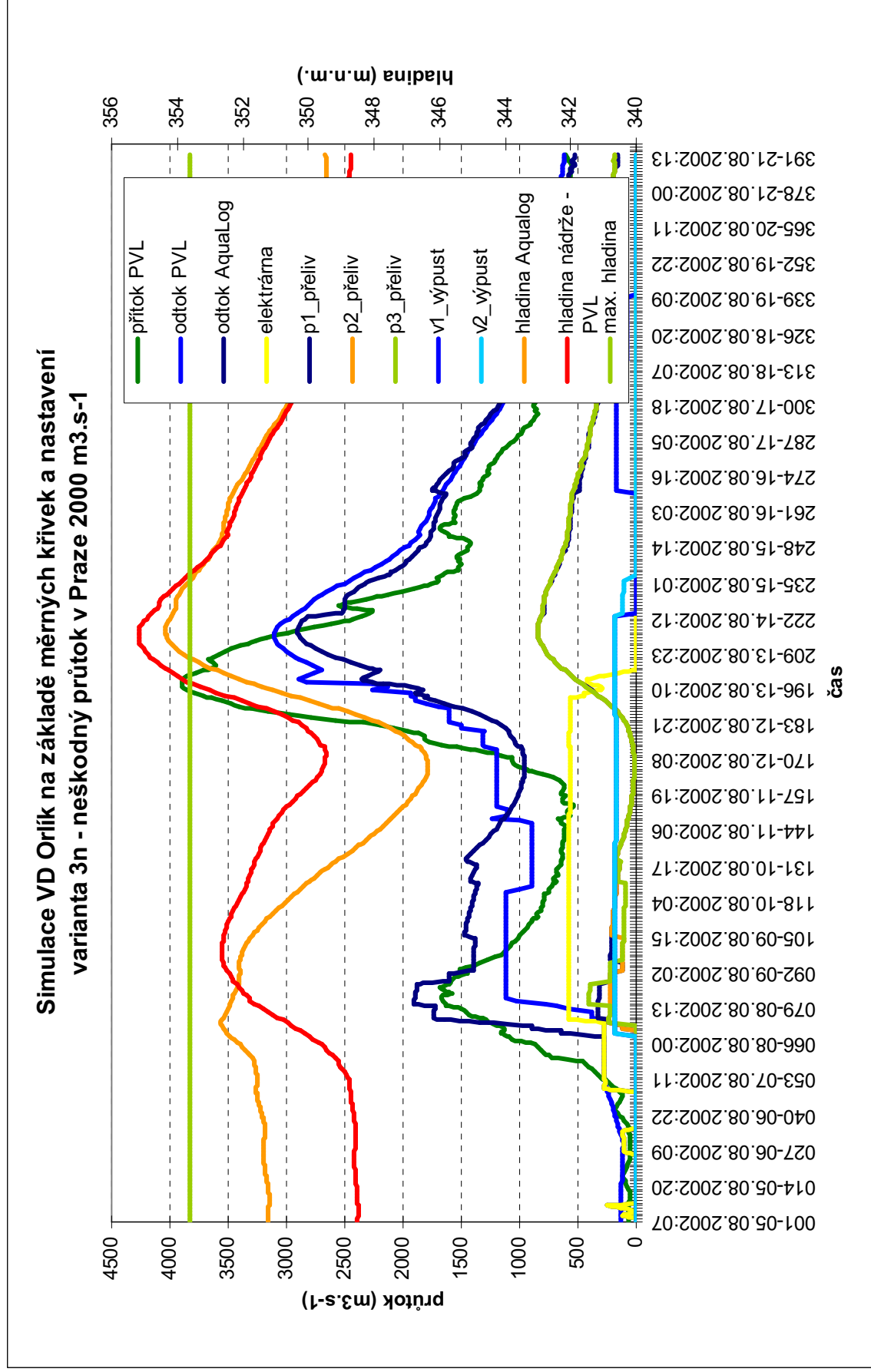


Obr. 3—18 Varianta 3l - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1500 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny

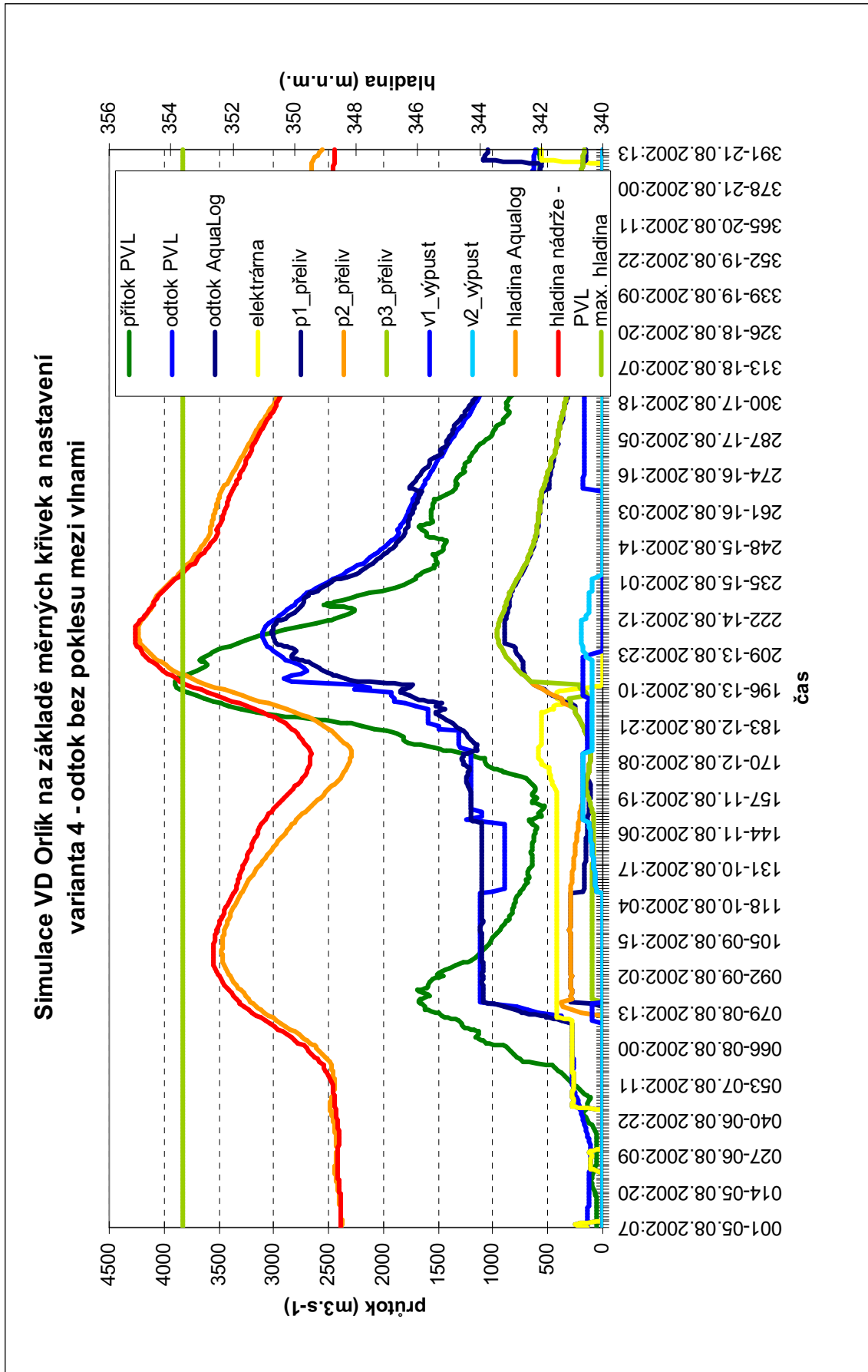
**Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení
varianta 3m - neškodný průtok v Praze 1700 m³.s-1**



Obr. 3—19 Varianta 3m - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1500 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny

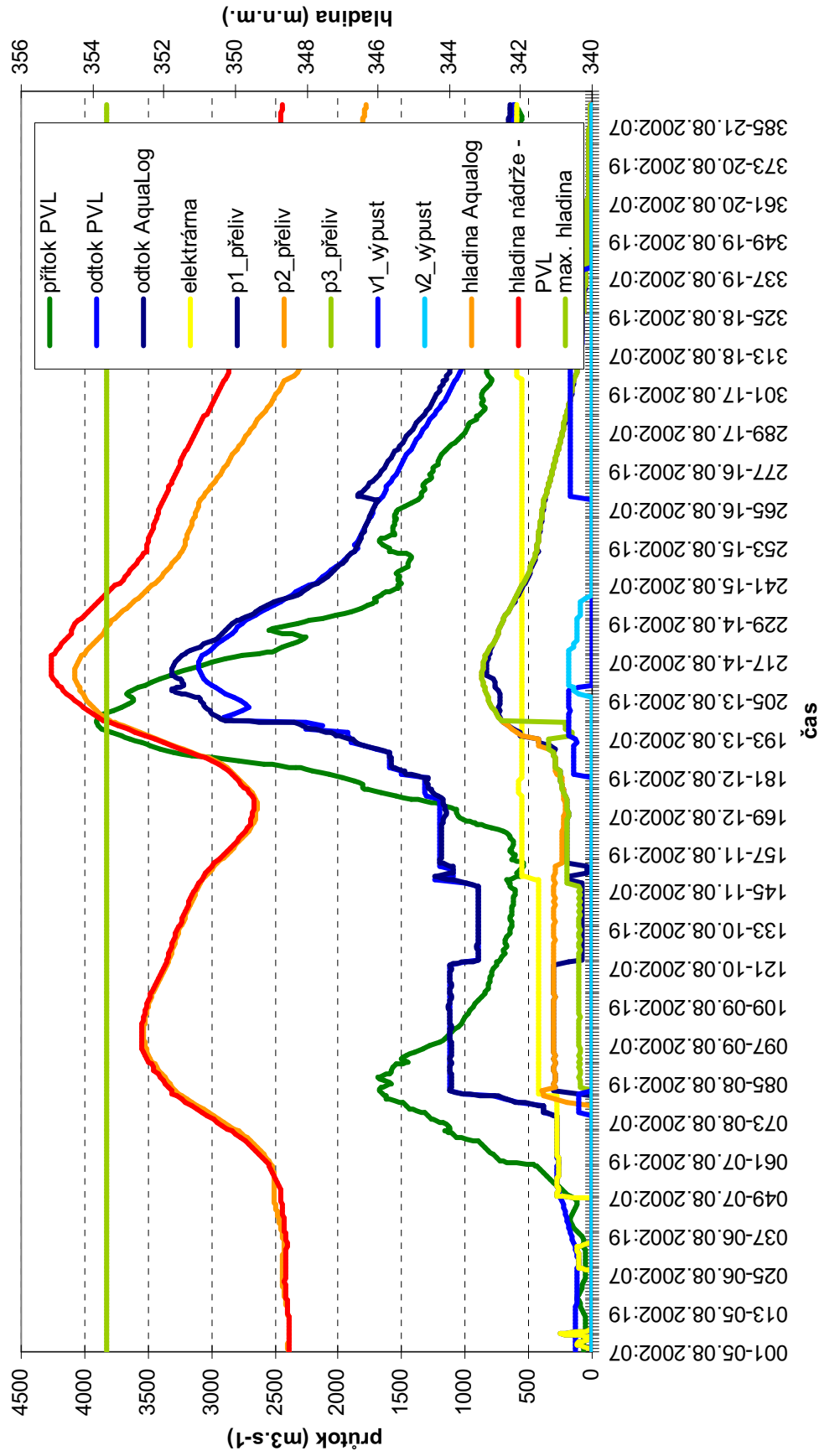


Obr. 3—20 Varianta 3n - simulace odtoku z VD Orlík – zachování neškodného průtoku v Praze 1500 m³.s⁻¹, došlo k odstavení elektrárny

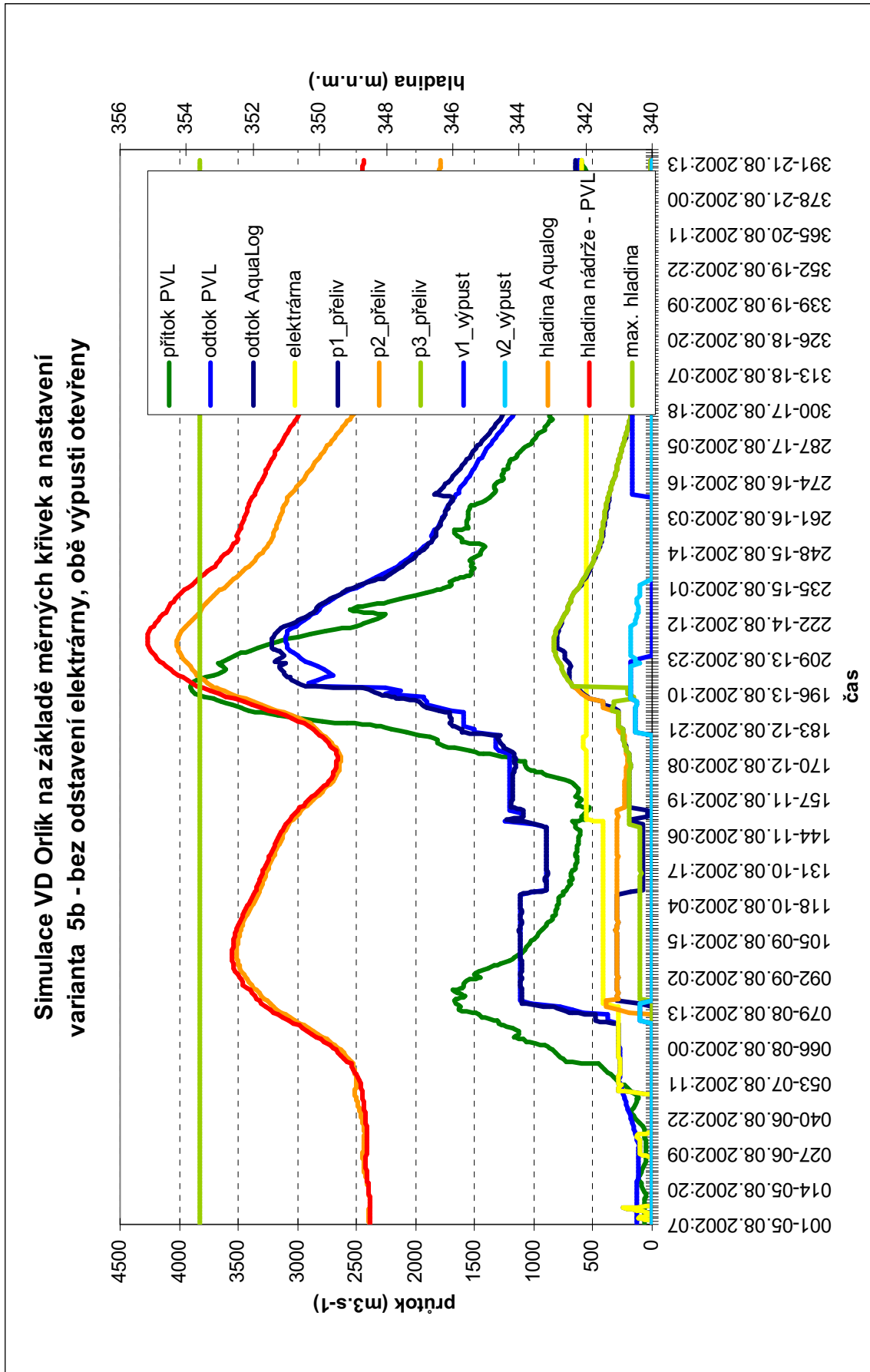


Obr. 3—21 Varianta 4— simulace průběhu povodně na VD Orlík. Manipulace byly prováděny tak, aby nedošlo k poklesu odtoku mezi oběma vlnami.

Simulace VD Orlík na základě měrných křivek a nastavení varianty 5a - bez odstavení elektrárny, 1 výpust otevřená

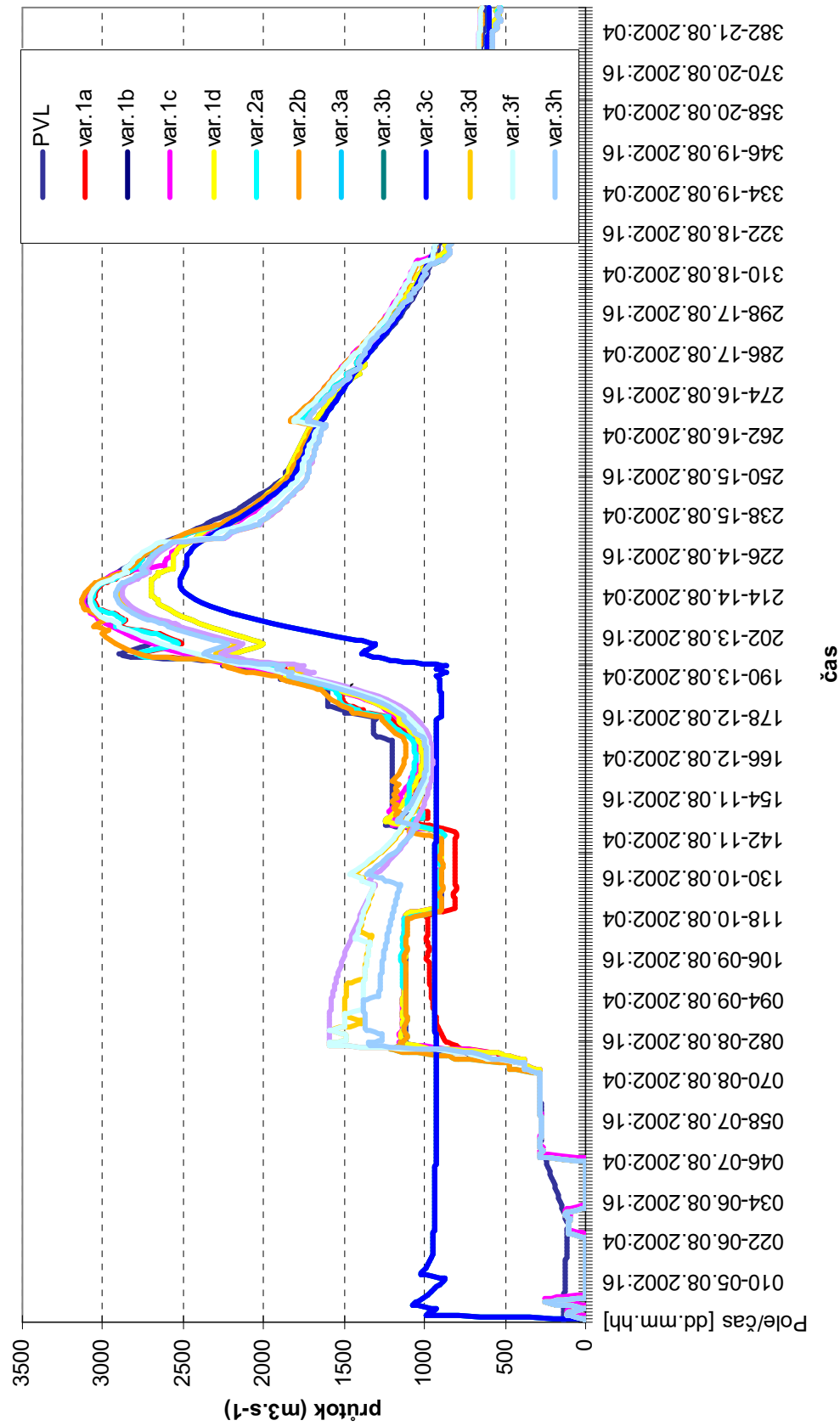


Obr. 3—22 Varianta 5a – simulace průběhu povodně na VD Orlík za předpokladu, že nedošlo k vypnutí elektrárny.



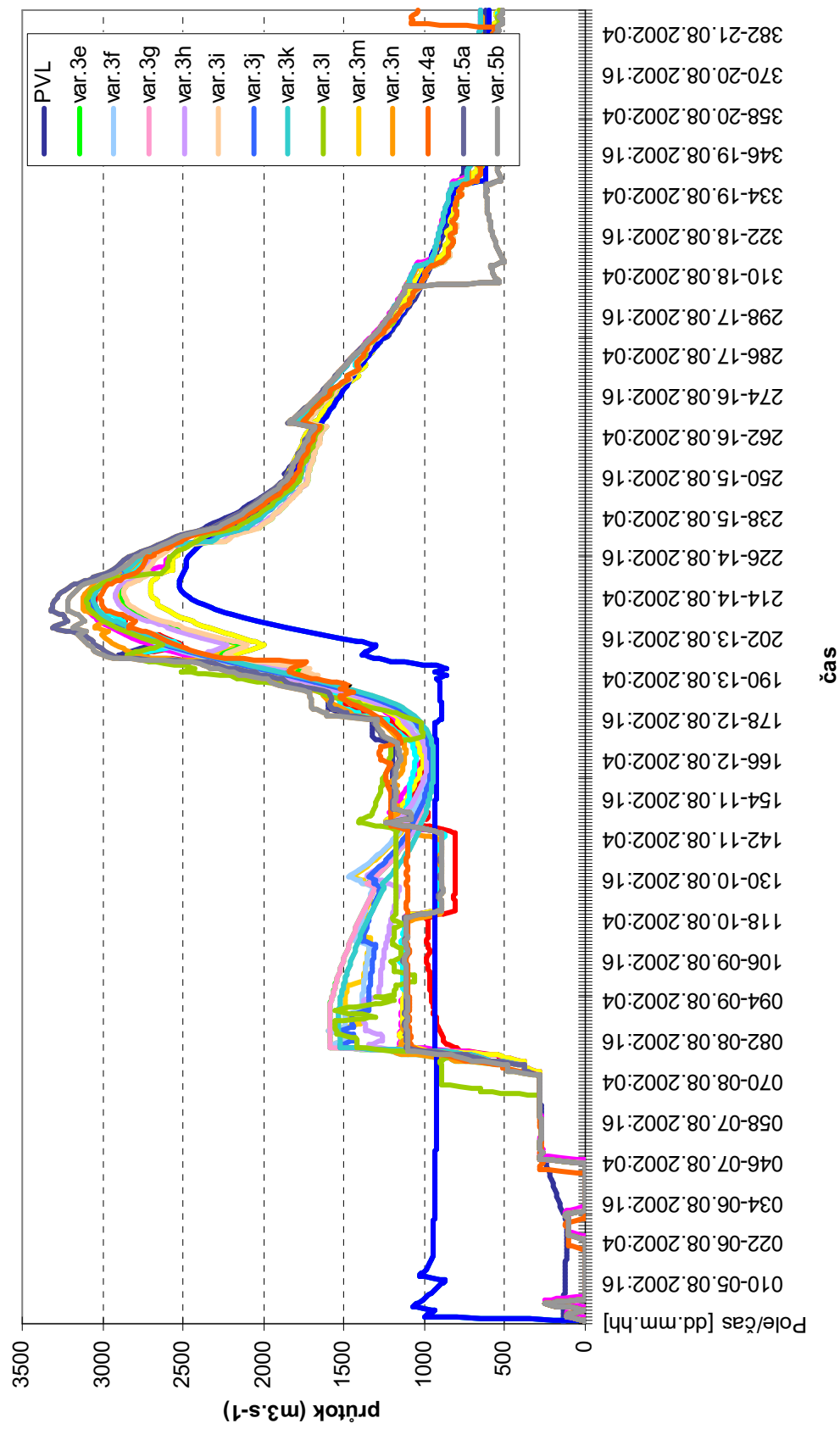
Obr. 3—23 Varianta 5b – simulace průběhu povodně na VD Orlík za předpokladu, že nedošlo k vypnutí elektrárny a obě výpusti byly v době kulminace otevřeny.

Průběh odtoku z VD Orlík pro jednotlivé varianty



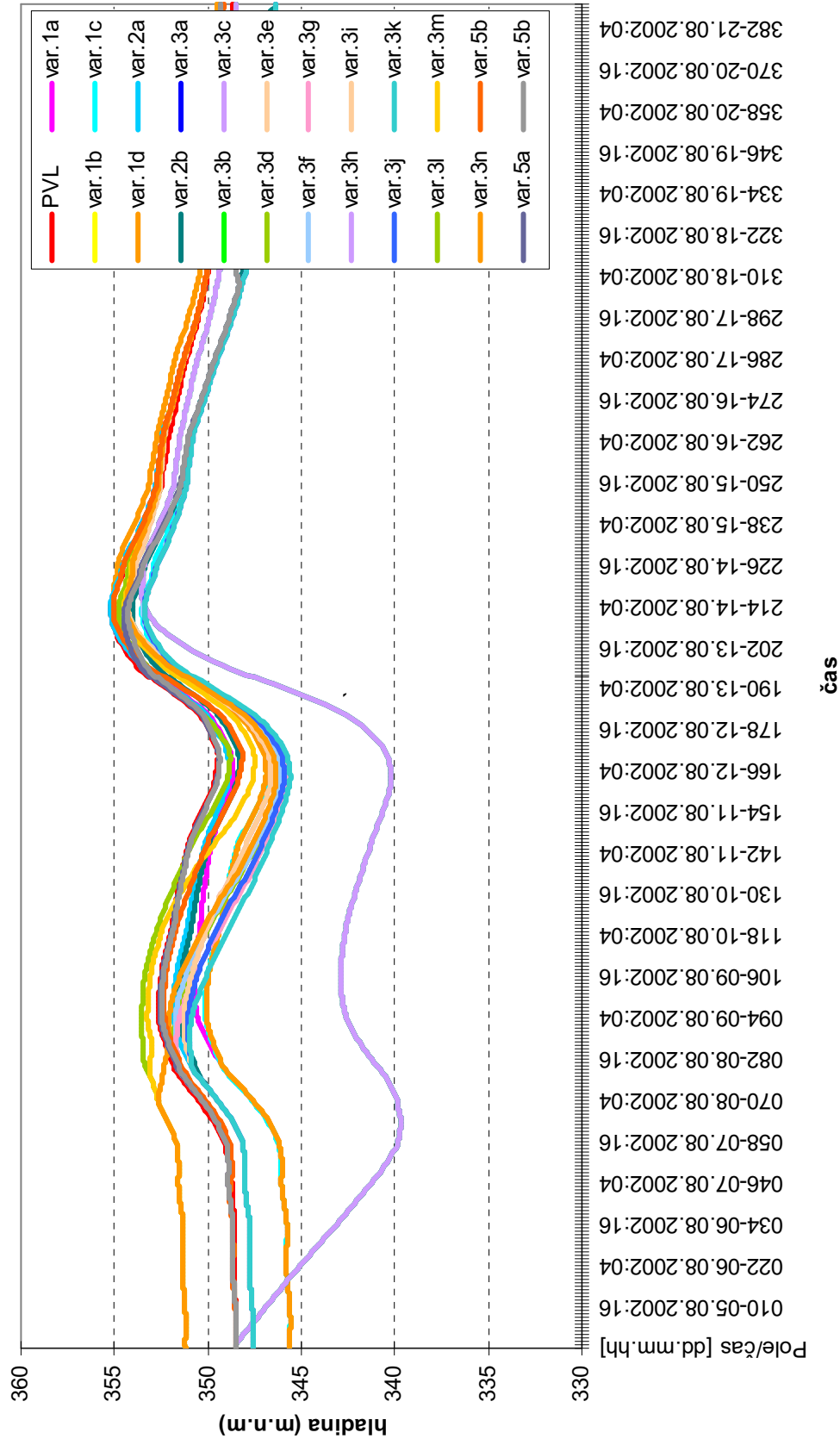
Obr. 3—24 Průběh odtoku z VD Orlík pro varianty 1a – 3d.

Průběh odtoku z VD Orlík pro jednotlivé varianty

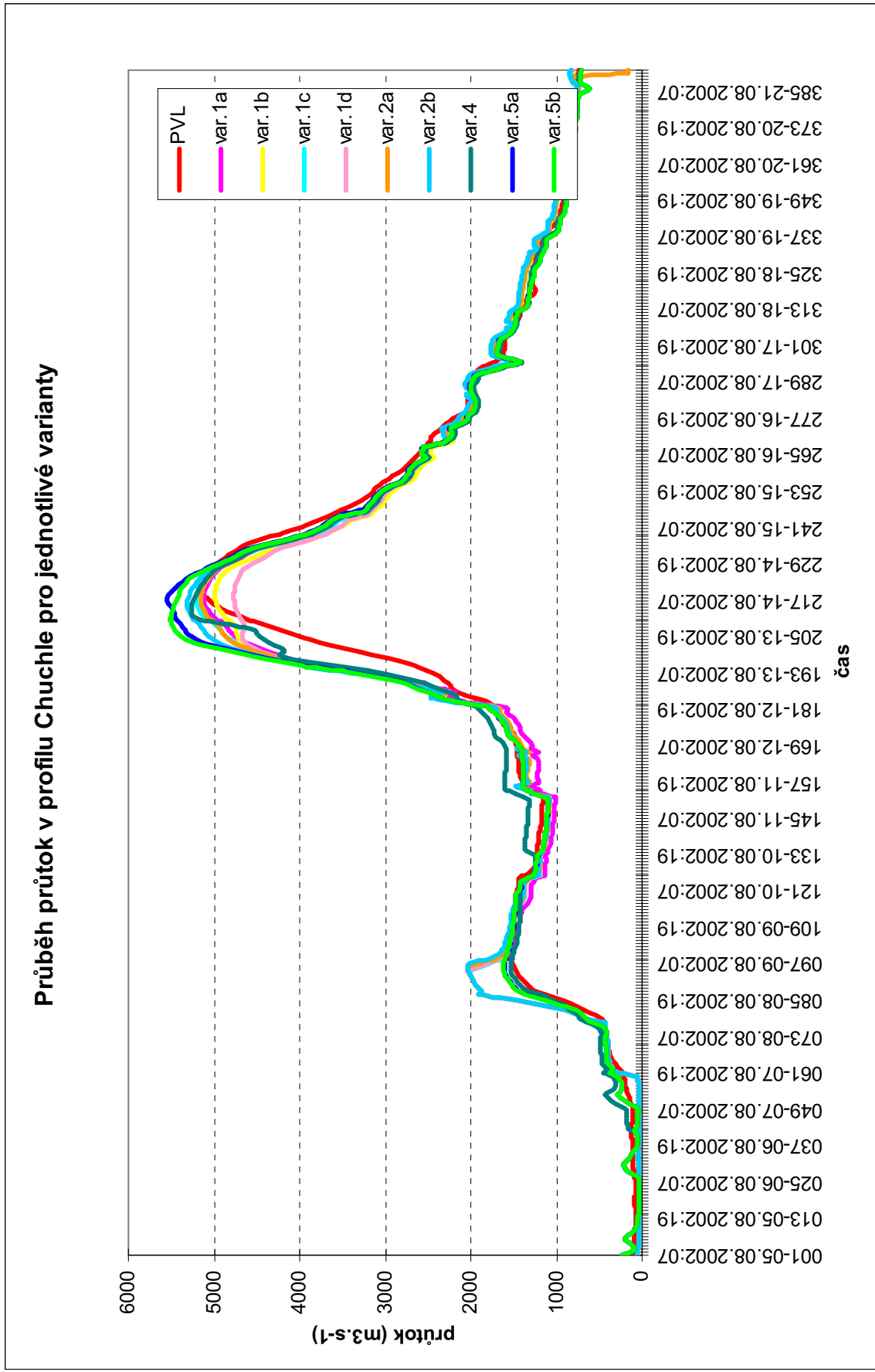


Obr. 3—25 Průběh odtoku z VD Orlík pro varianty 3e – 5b.

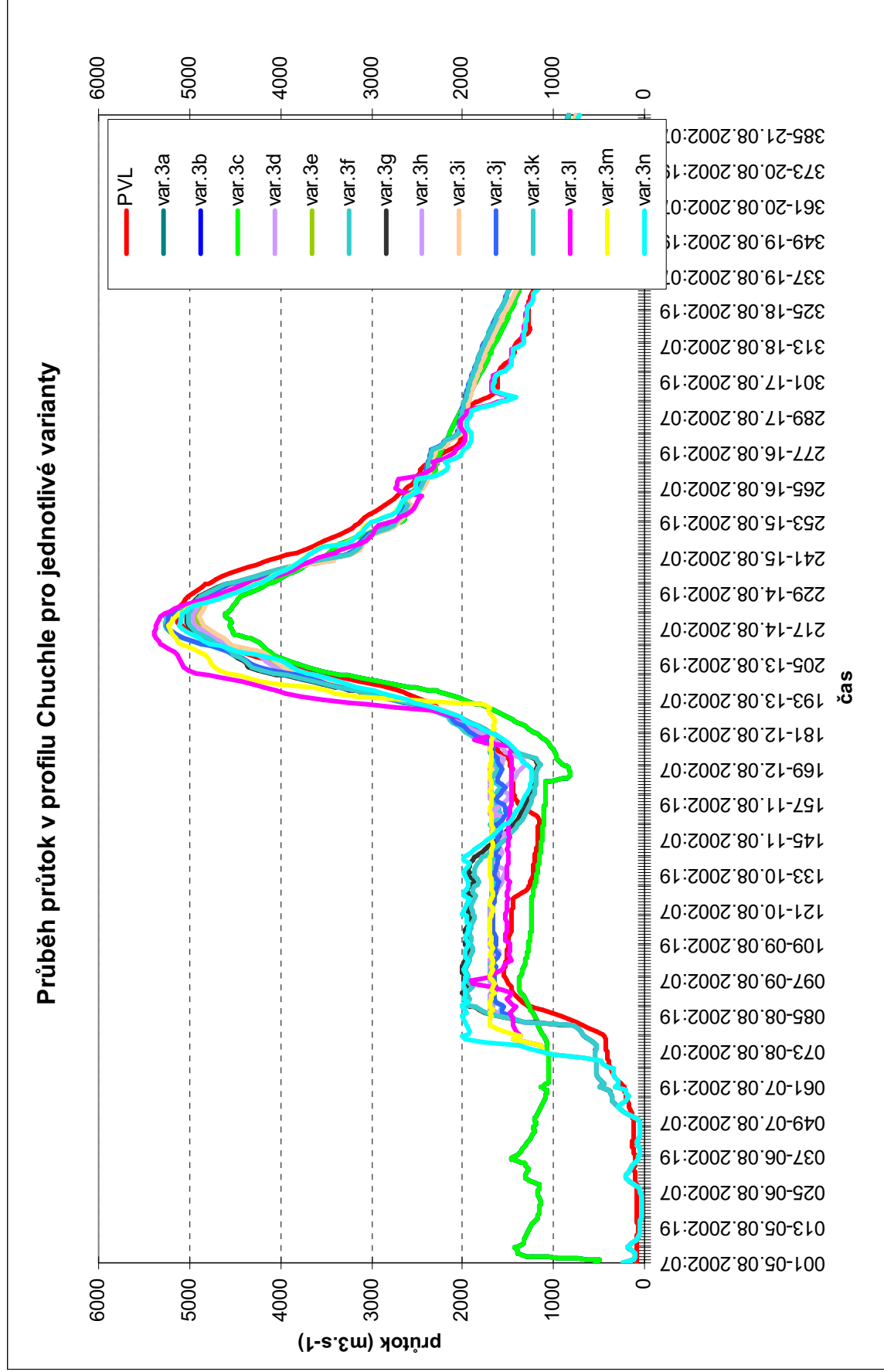
Průběh hladin VD Orlík pro jednotlivé varianty



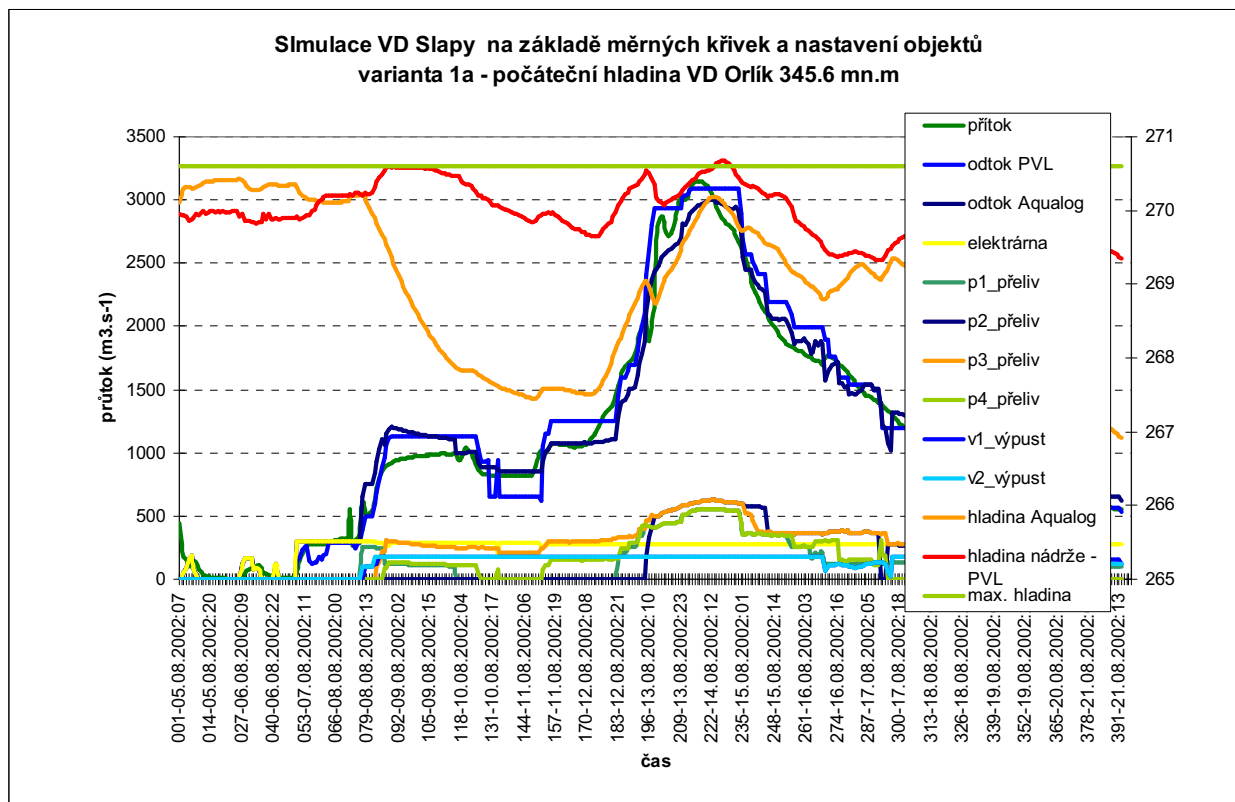
Obr. 3—26 Průběh hladin VD Orlík pro jednotlivé varianty.



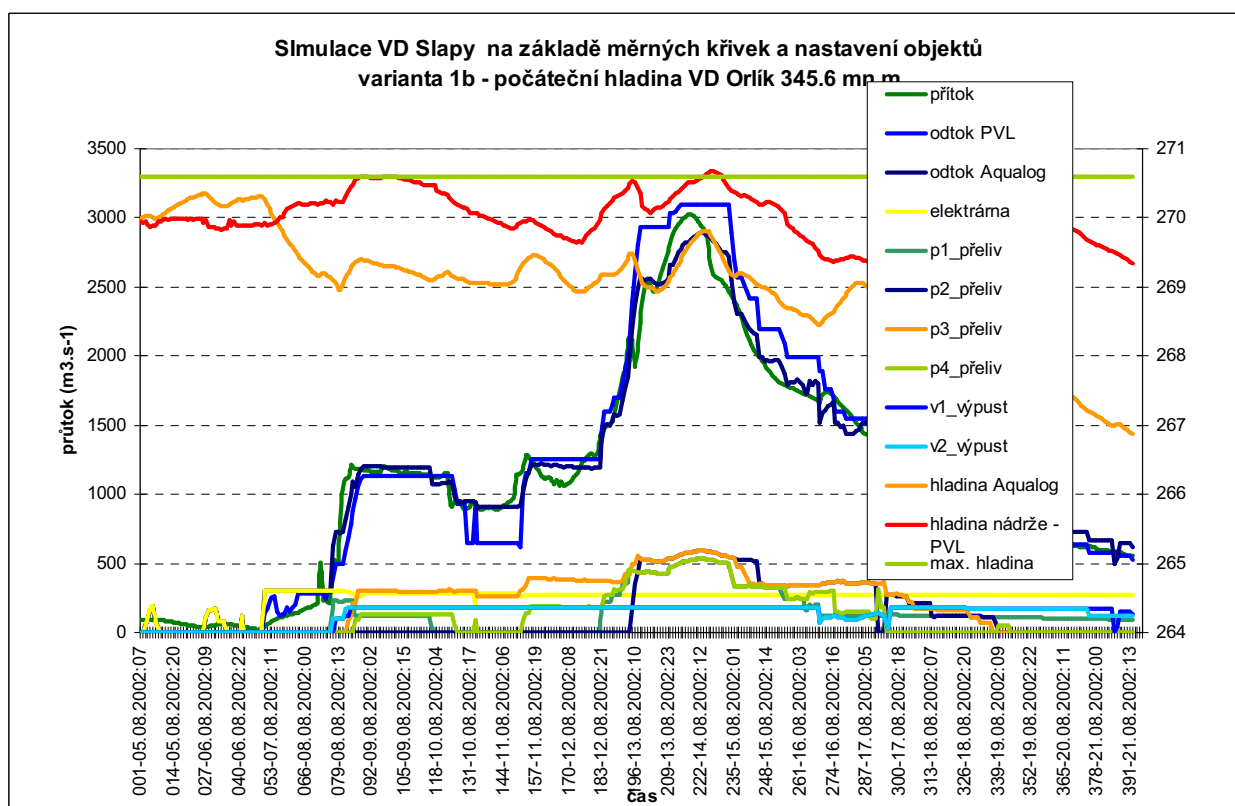
Obr. 3—27 Průběh průtoku pro profil Chuchle varianty 1a-5b, kromě variant 3



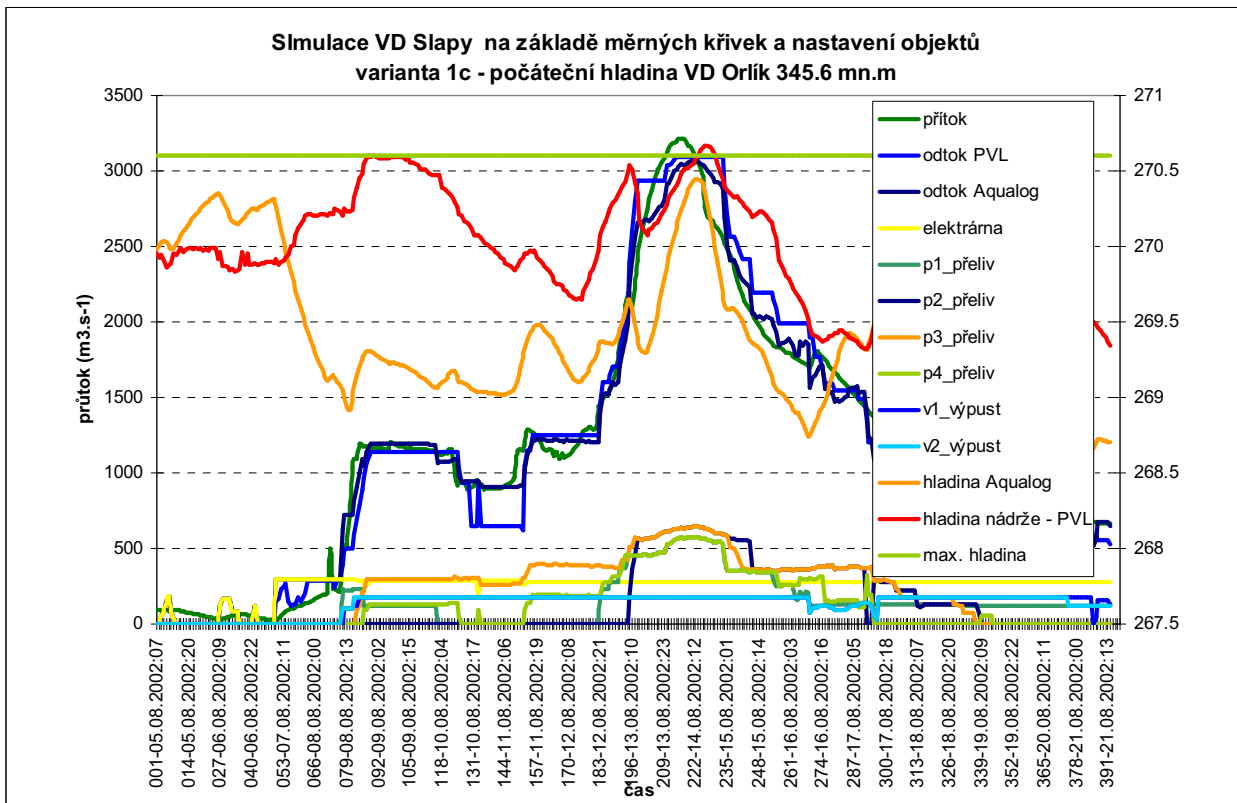
Obr. 3—28 Průběh průtoku pro profil Chuchle varianty 3a – 3k



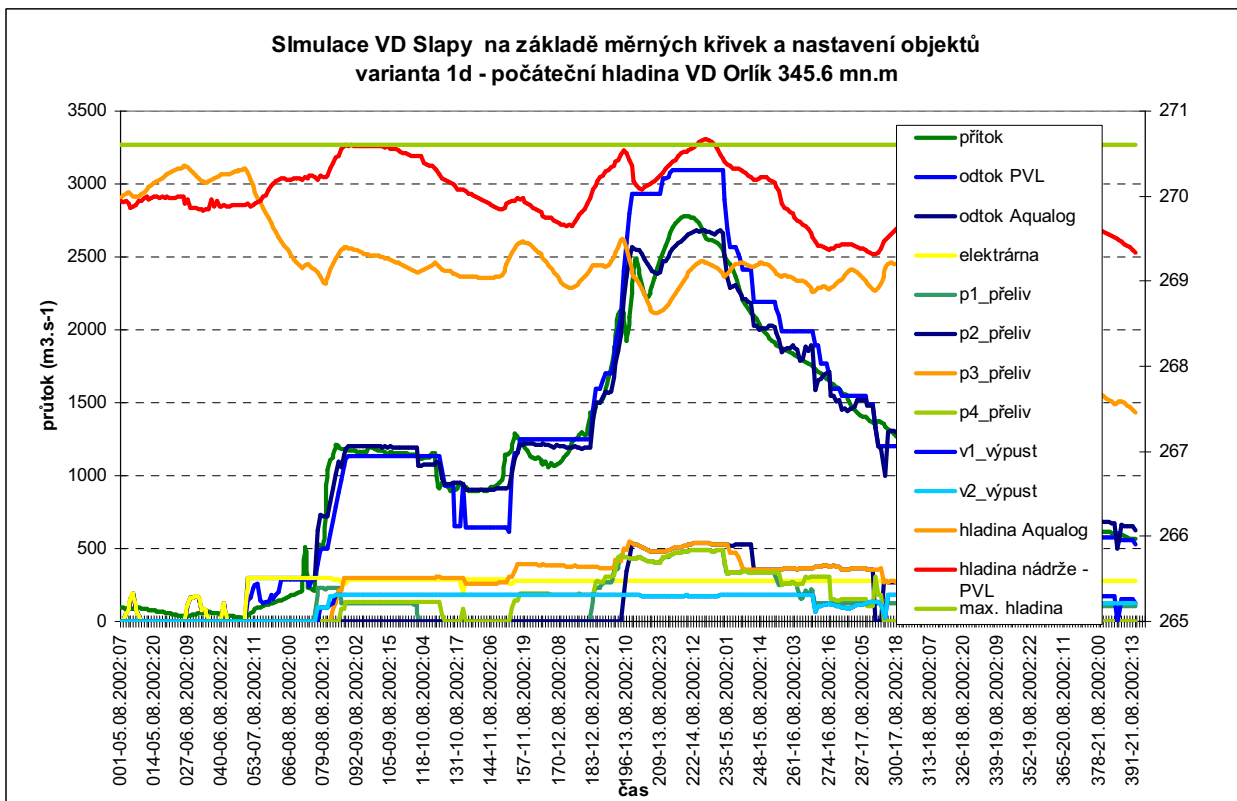
Obr. 3—29 Varianta 1a – simulace průběhu povodně na VD Slapy



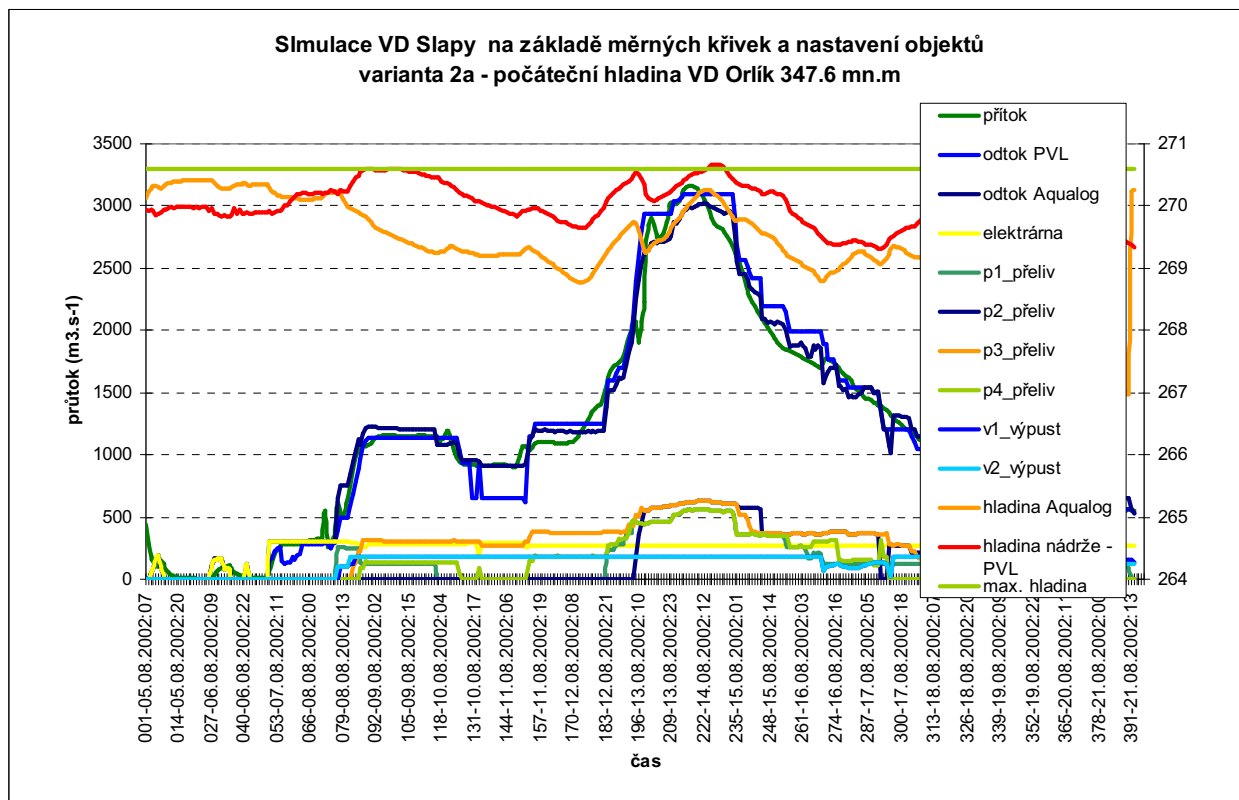
Obr. 3—30 Varianta 1b – simulace průběhu povodně na VD Slapy



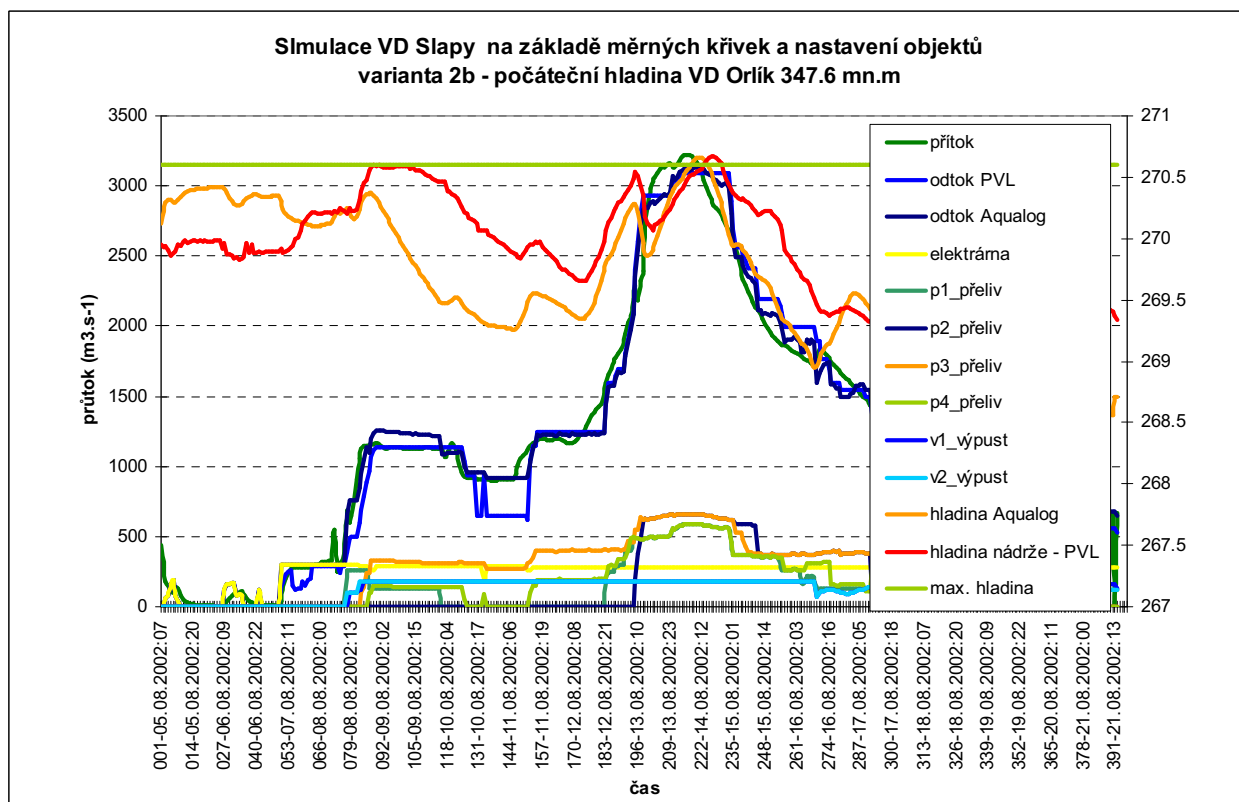
Obr. 3—31 Varianta 1c – simulace průběhu povodně na VD Slapy



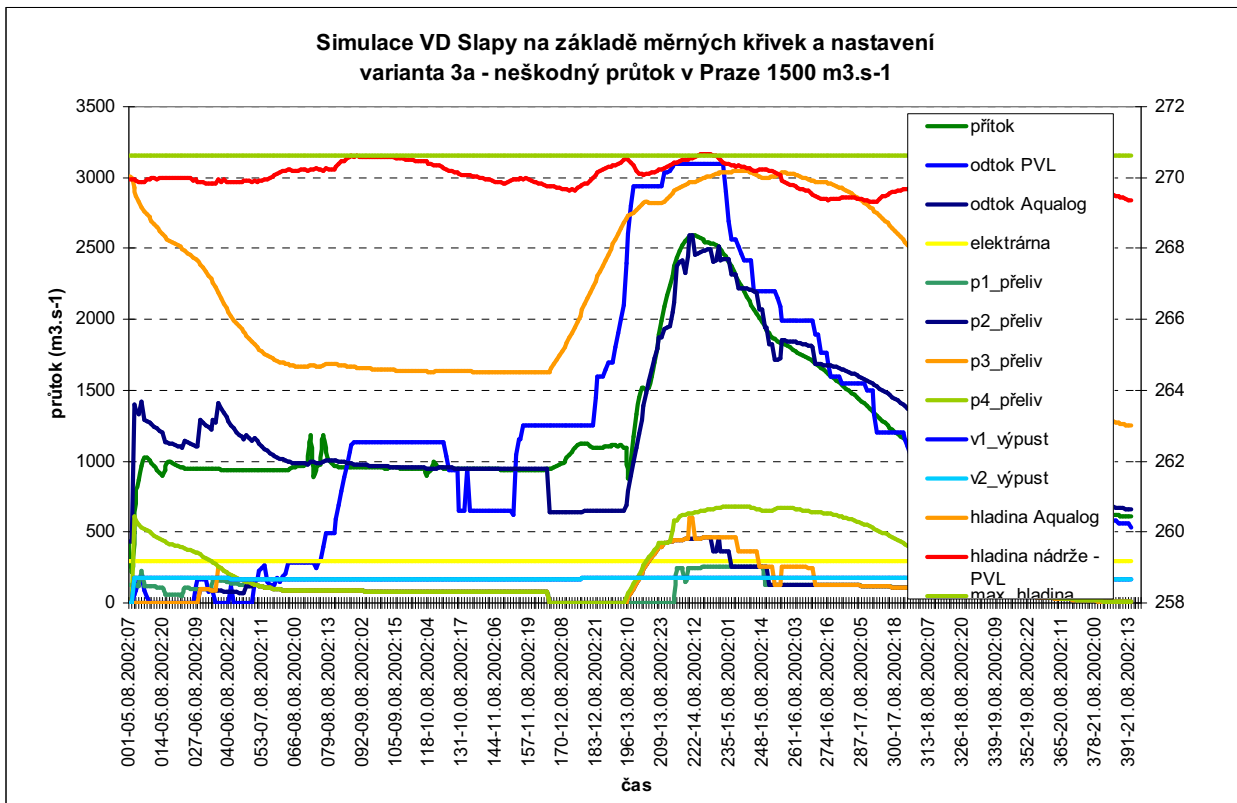
Obr. 3—32 Varianta 1d – simulace průběhu povodně na VD Slapy



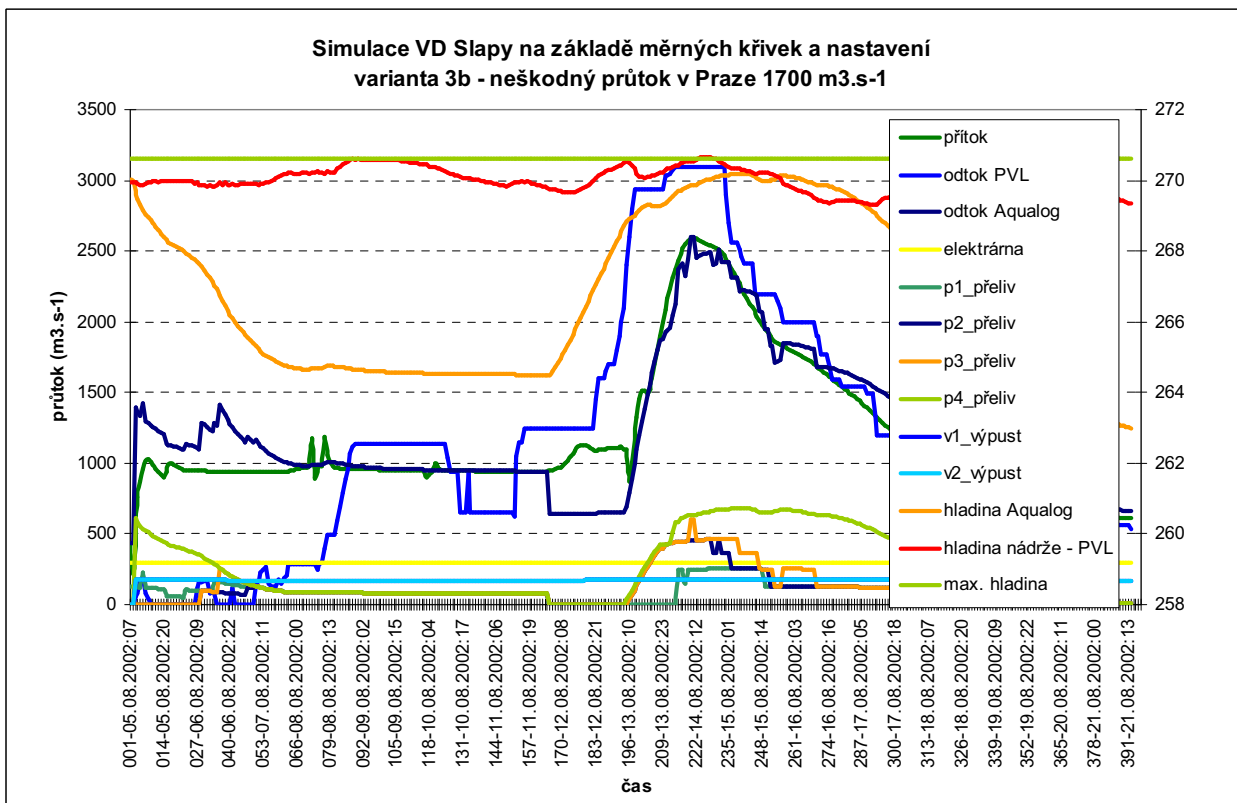
Obr. 3—33 Varianta 2a – simulace průběhu povodně na VD Slapy



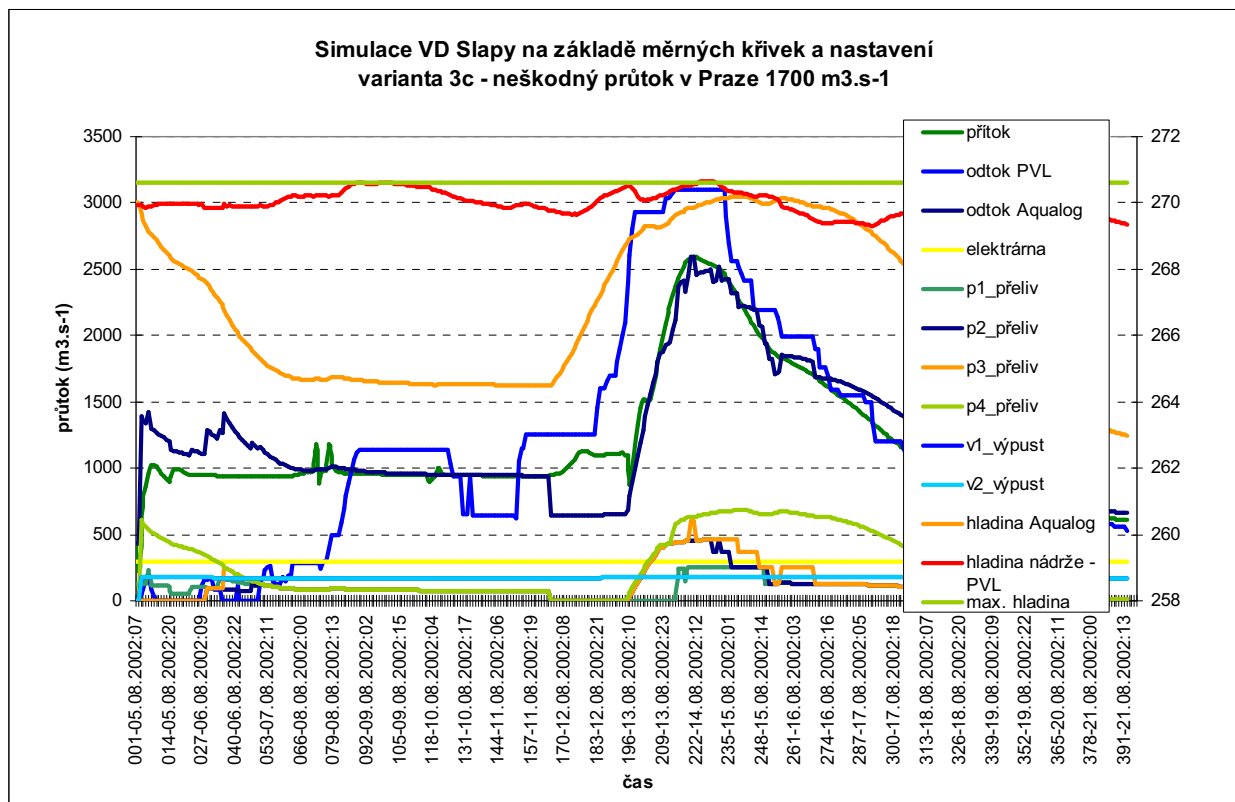
Obr. 3—34 Varianta 2b – simulace průběhu povodně na VD Slapy



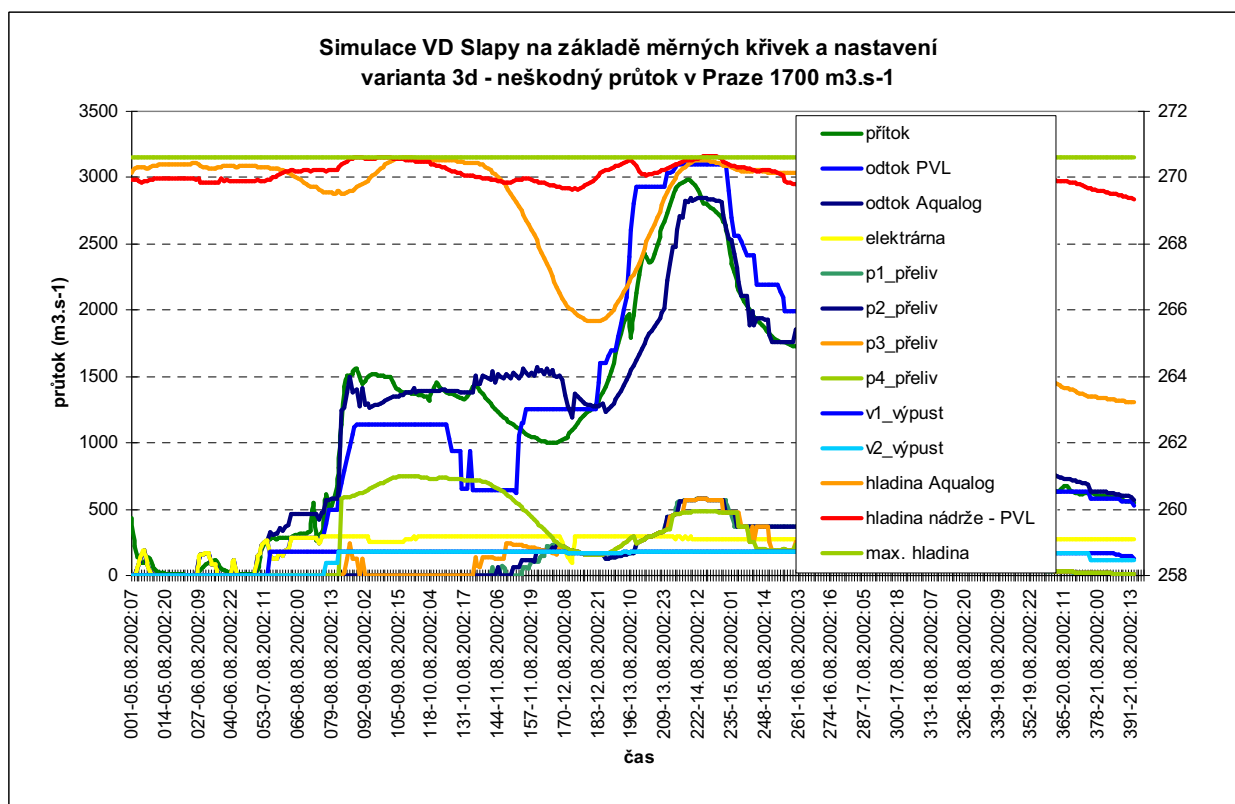
Obr. 3—35 Varianta 3a – simulace průběhu povodně na VD Slapy



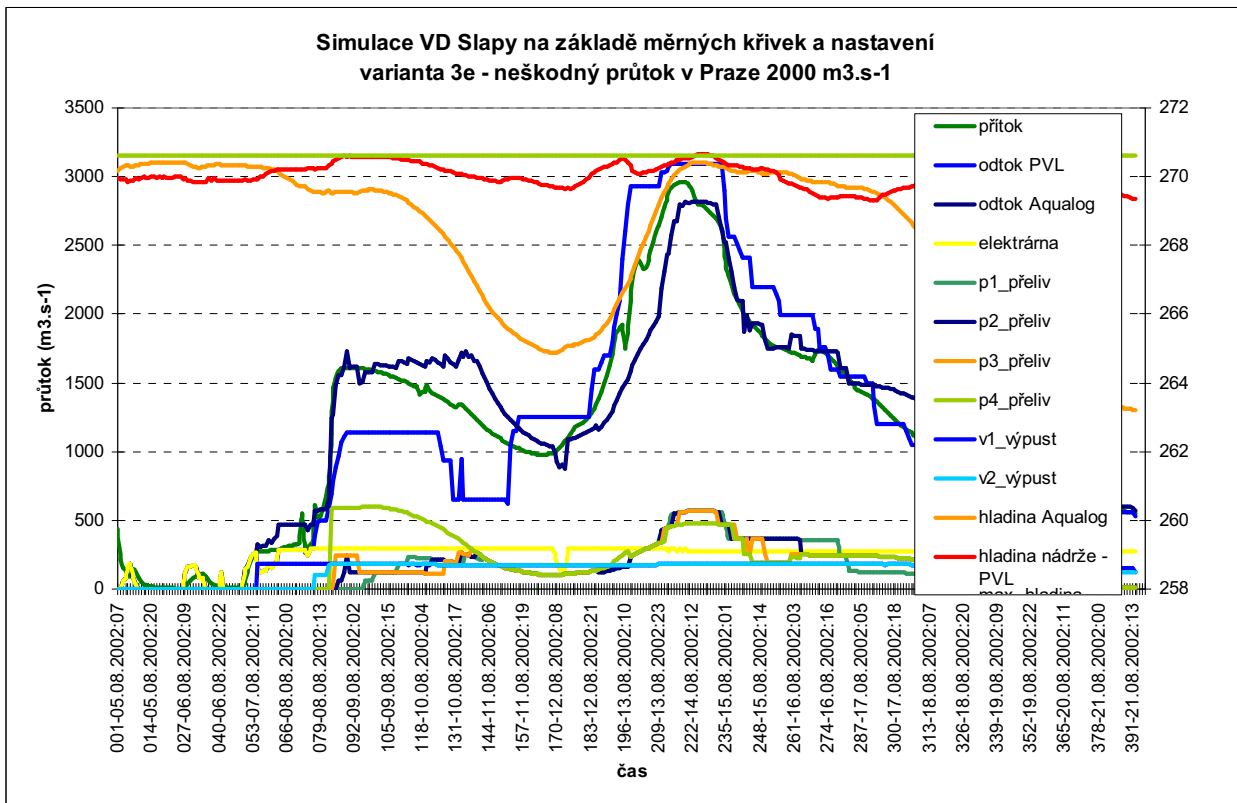
Obr. 3—36 Varianta 3b – simulace průběhu povodně na VD Slapy



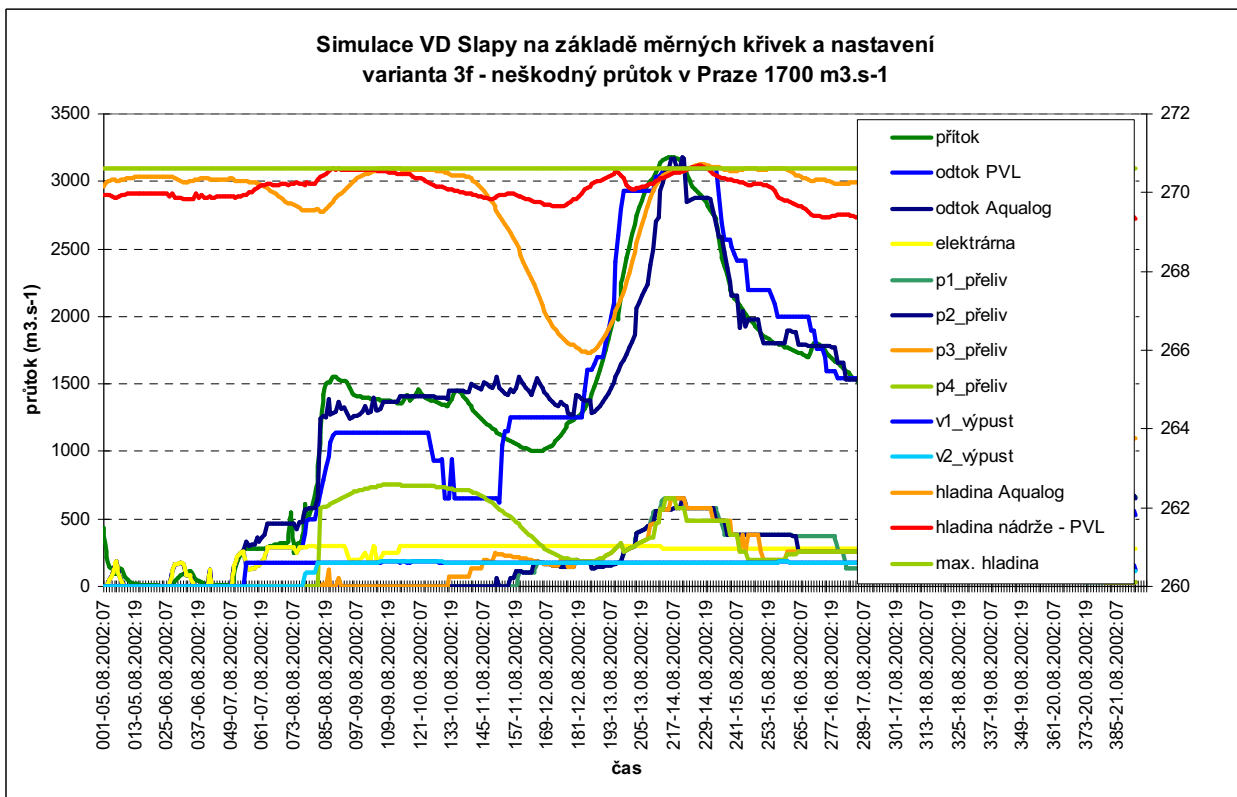
Obr. 3—37 Varianta 3c – simulace průběhu povodně na VD Slapy



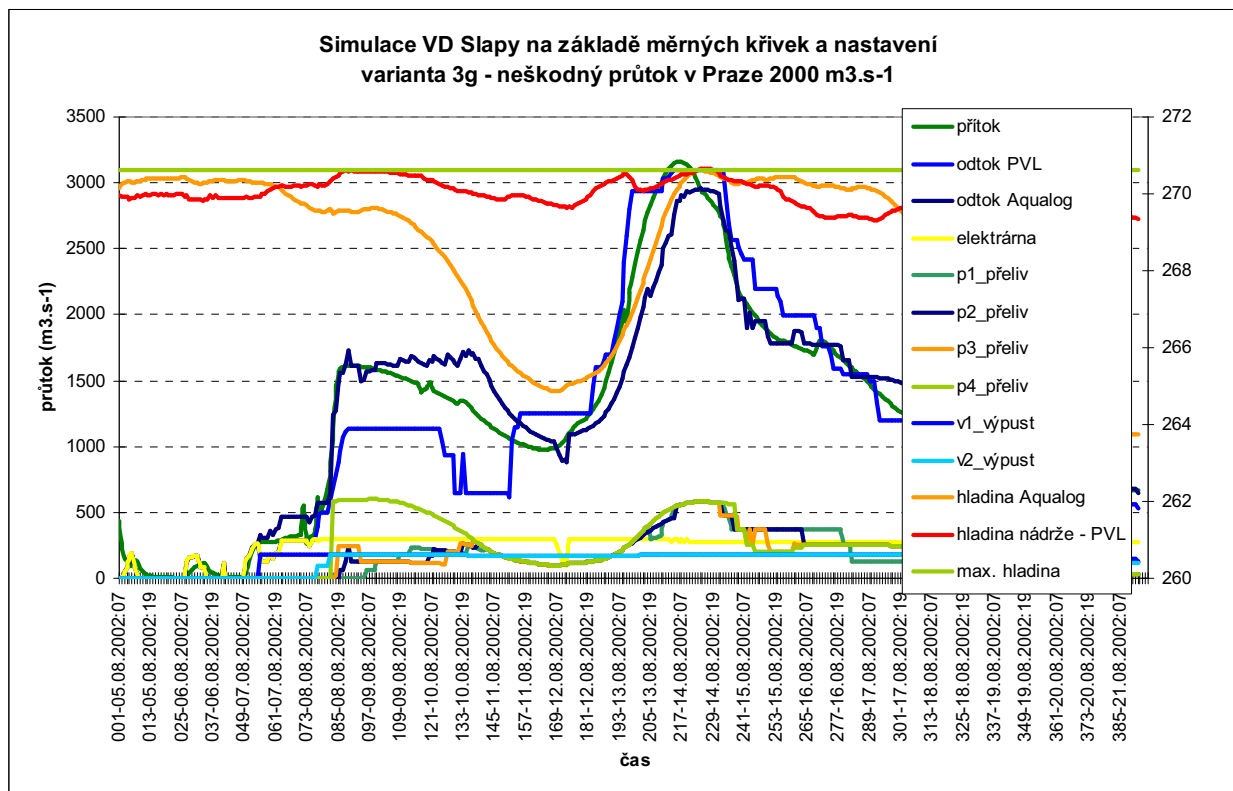
Obr. 3—38 Varianta 3d – simulace průběhu povodně na VD Slapy



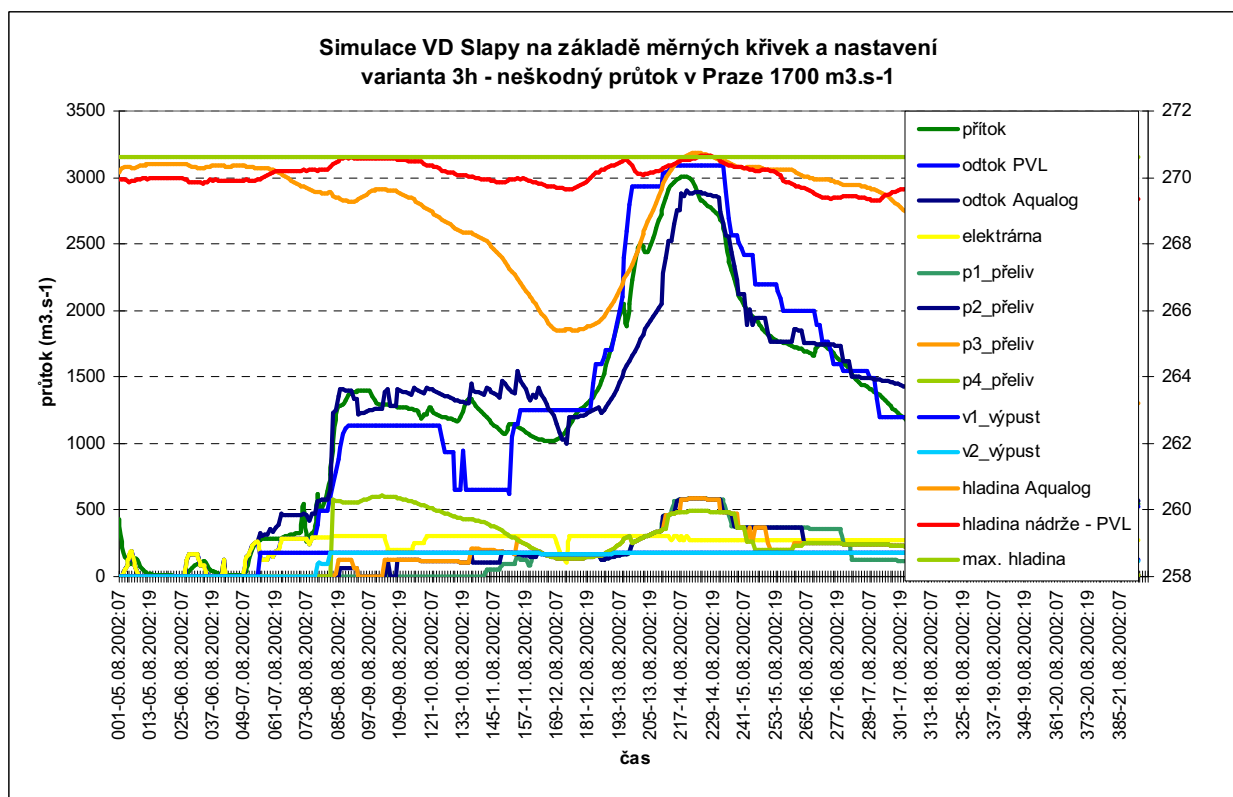
Obr. 3—39 Varianta 3e – simulace průběhu povodně na VD Slapy



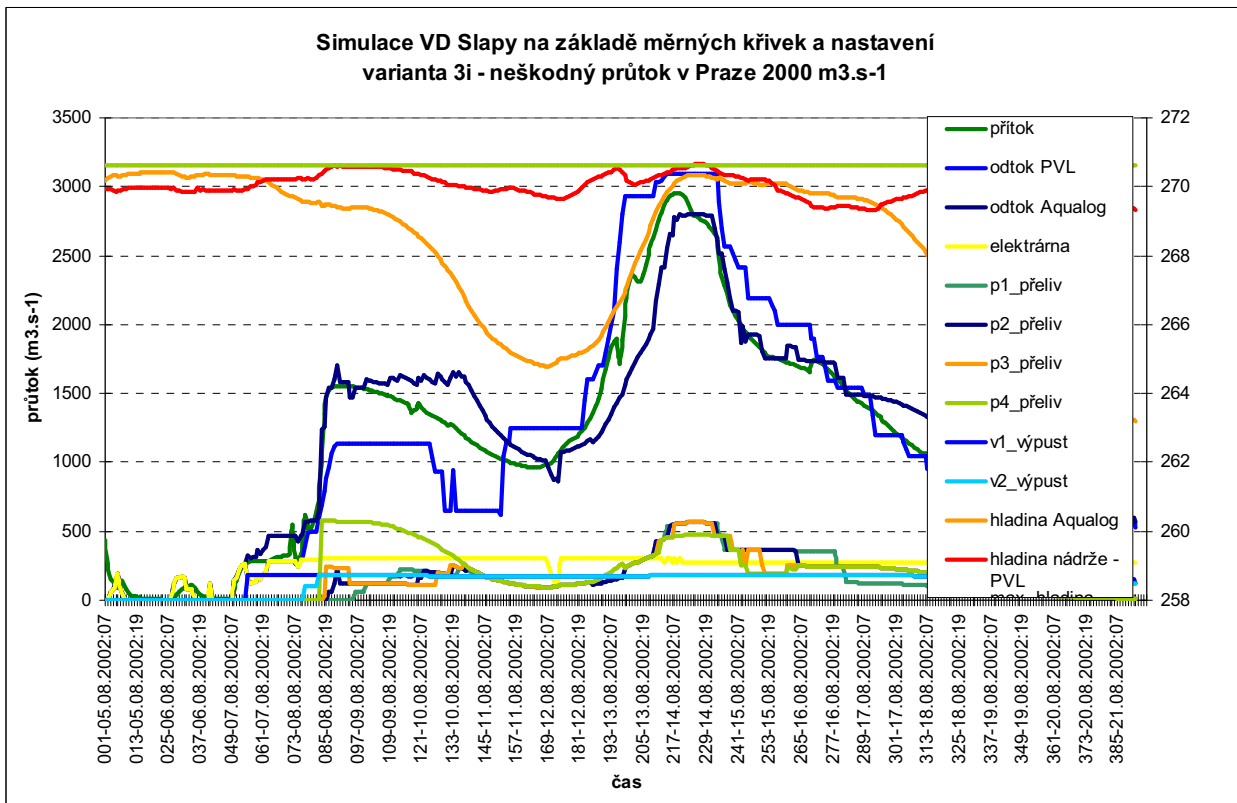
Obr. 3—40 Varianta 3f – simulace průběhu povodně na VD Slapy



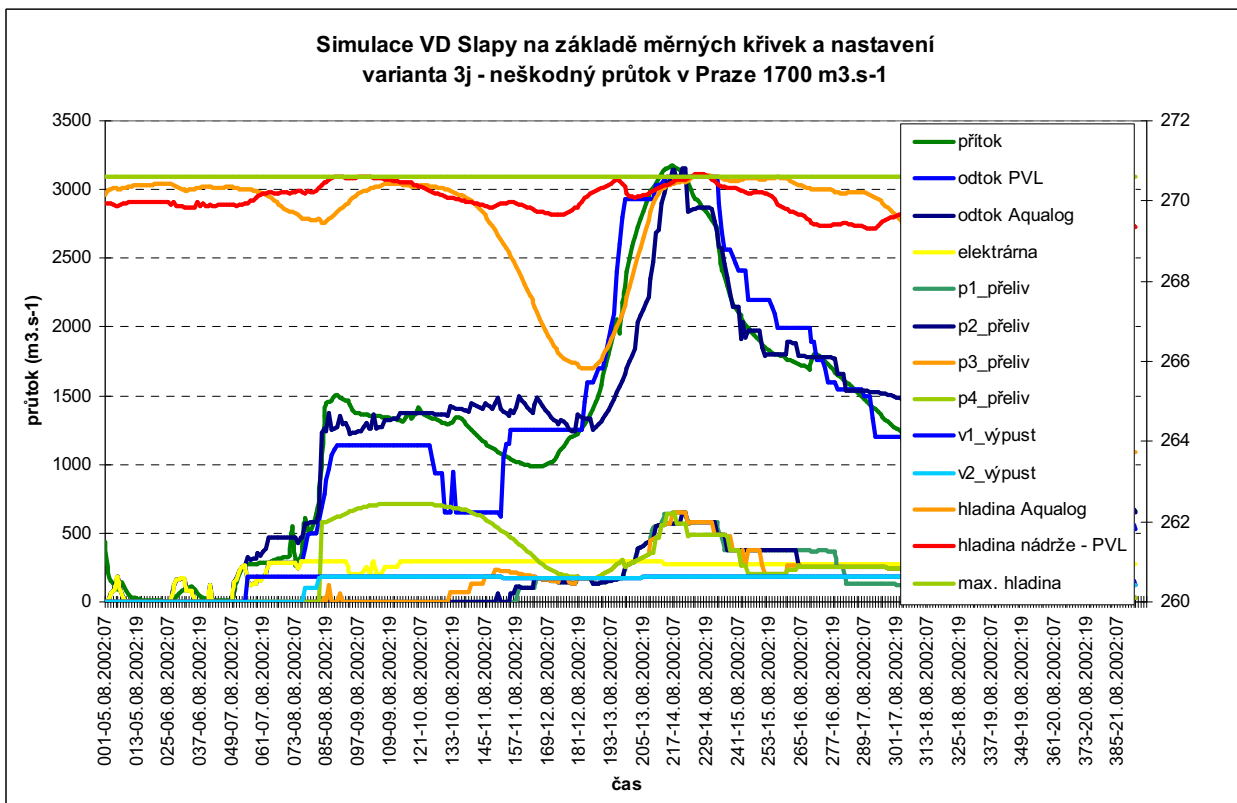
Obr. 3—41 Varianta 3g – simulace průběhu povodně na VD Slapy



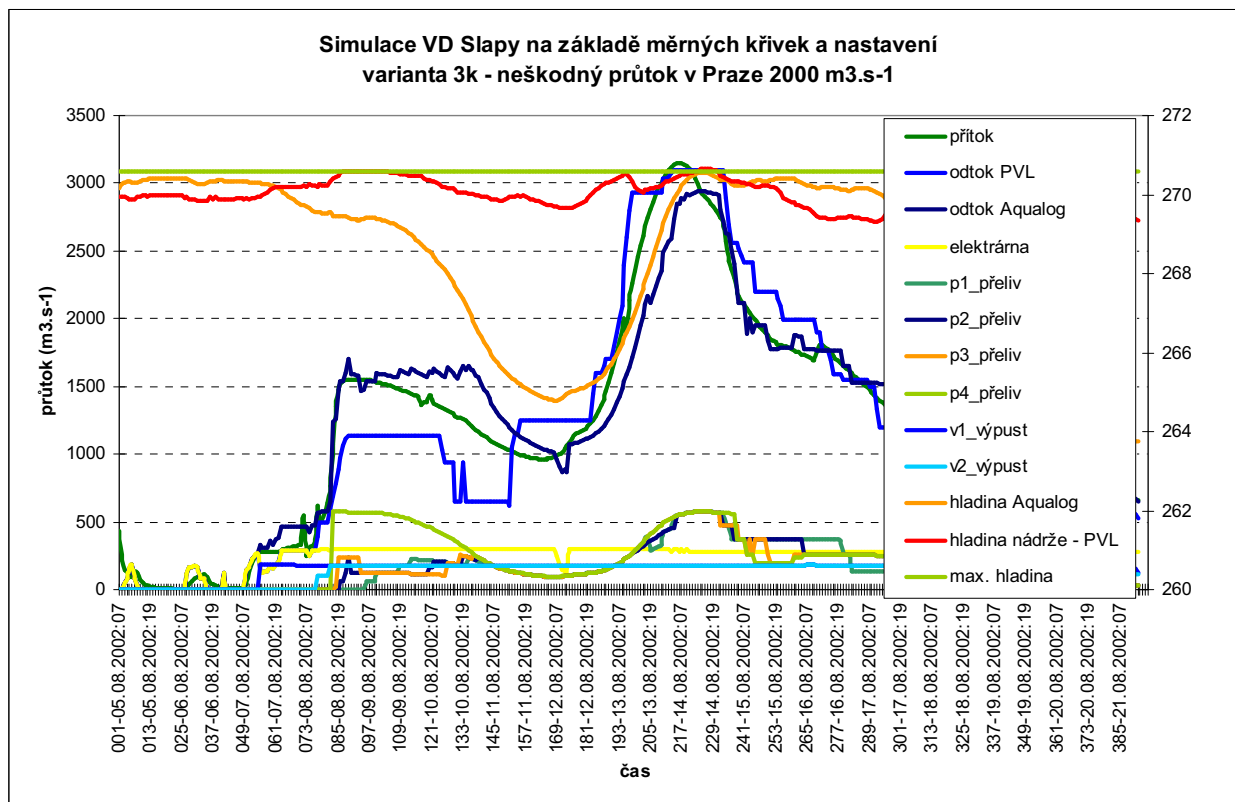
Obr. 3—42 Varianta 3h – simulace průběhu povodně na VD Slapy



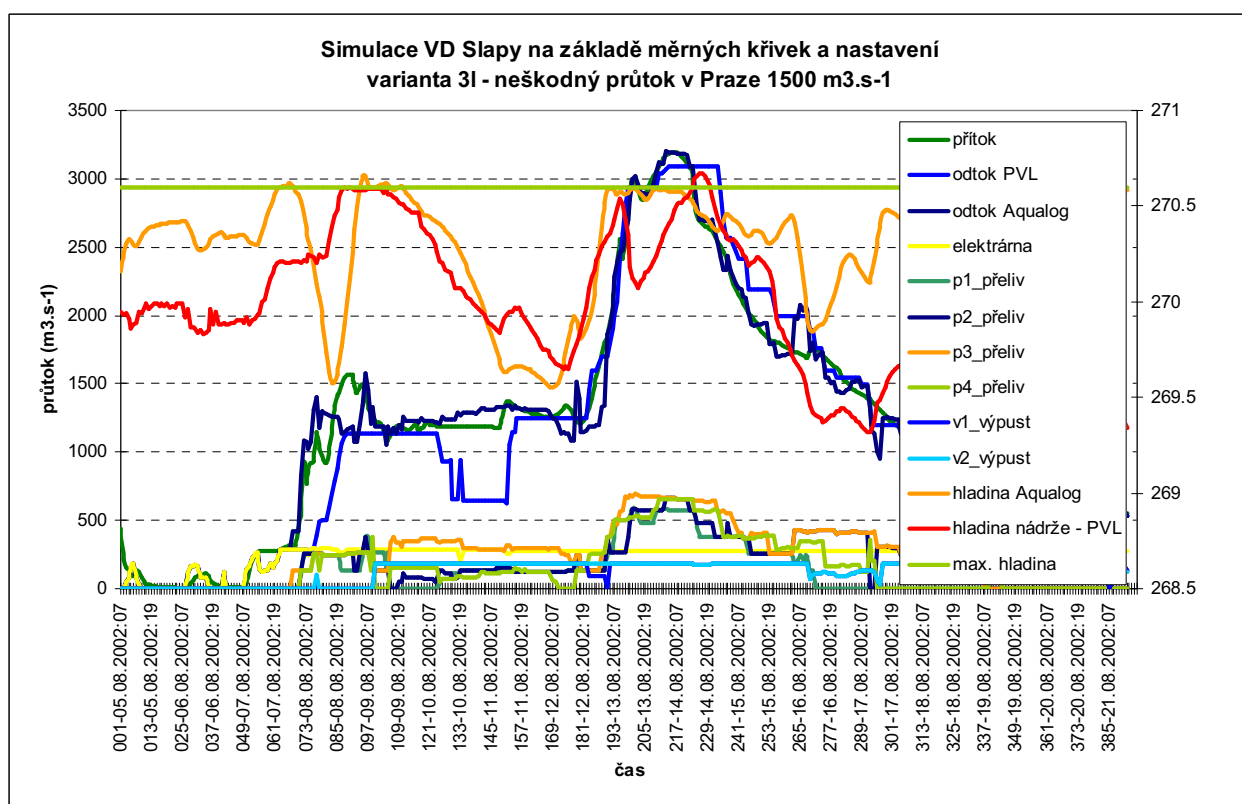
Obr. 3—43 Varianta 3i – simulace průběhu povodně na VD Slapy



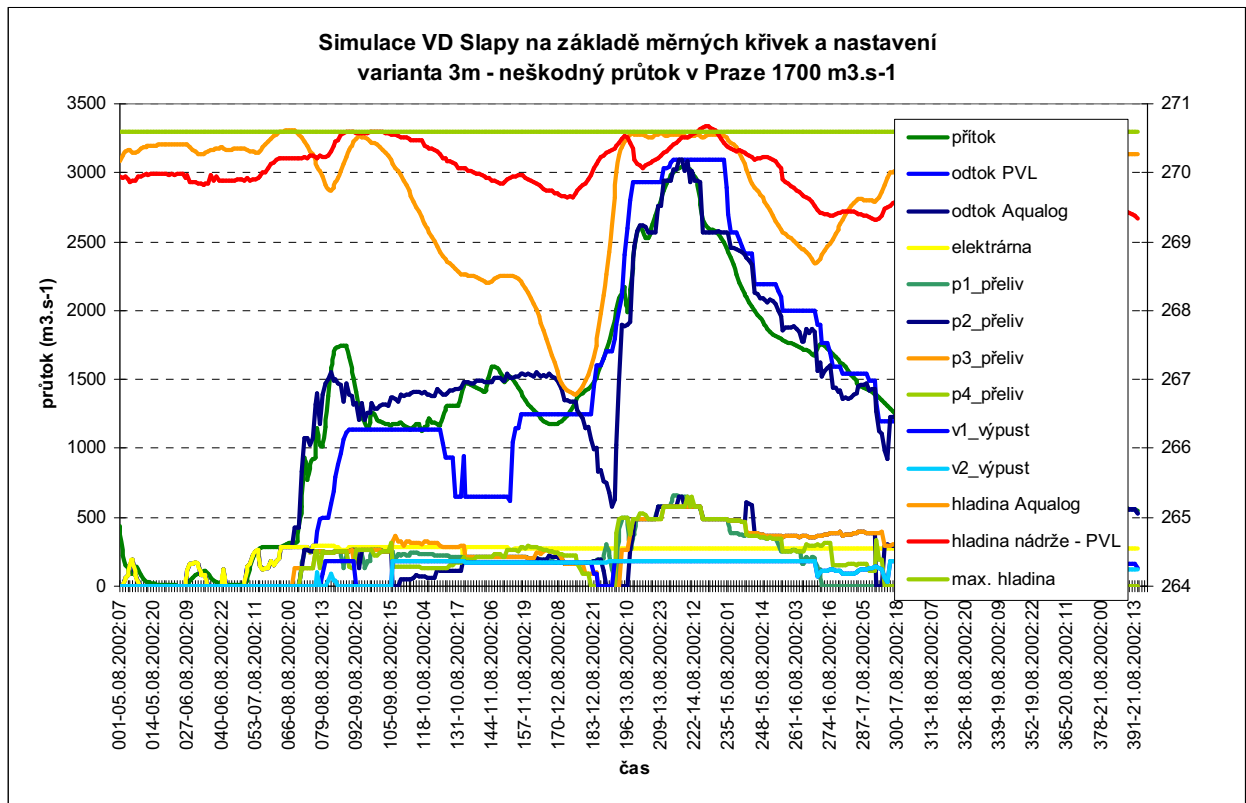
Obr. 3—44 Varianta 3j – simulace průběhu povodně na VD Slapy



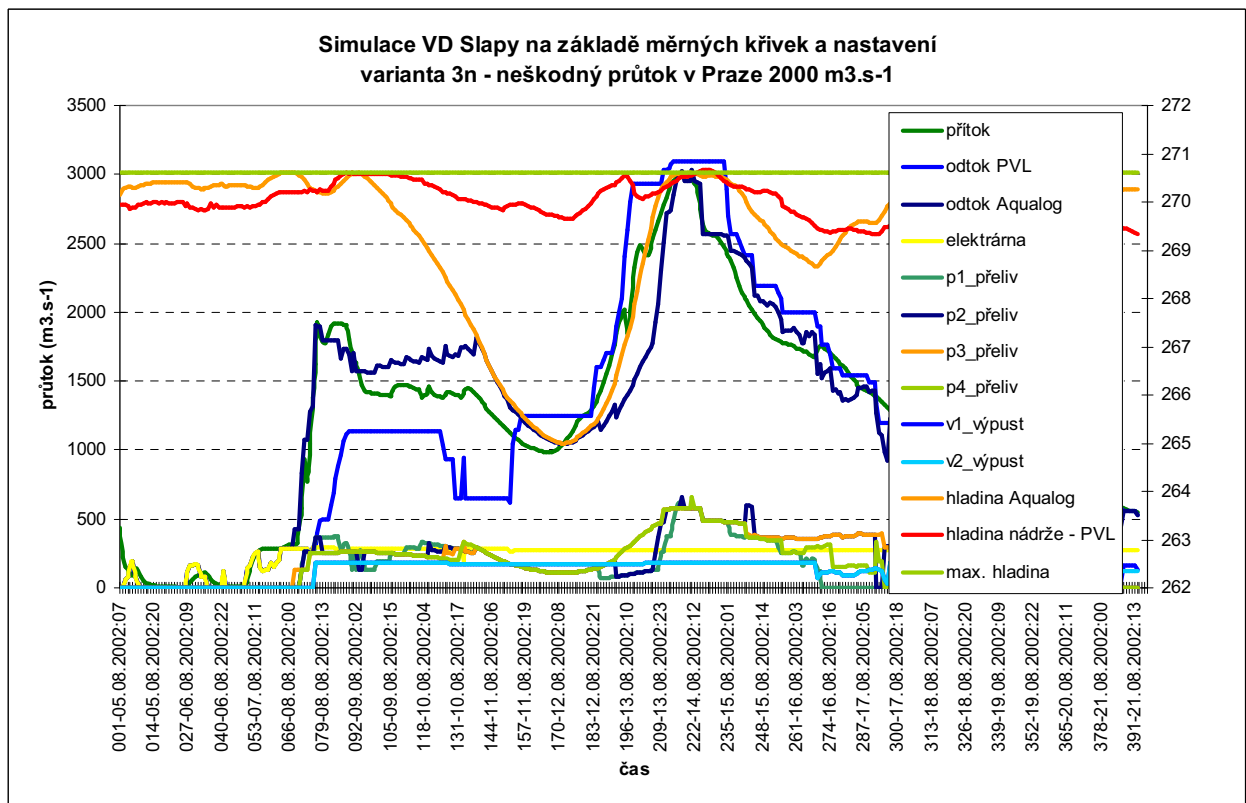
Obr. 3—45 Varianta 3k – simulace průběhu povodně na VD Slapy



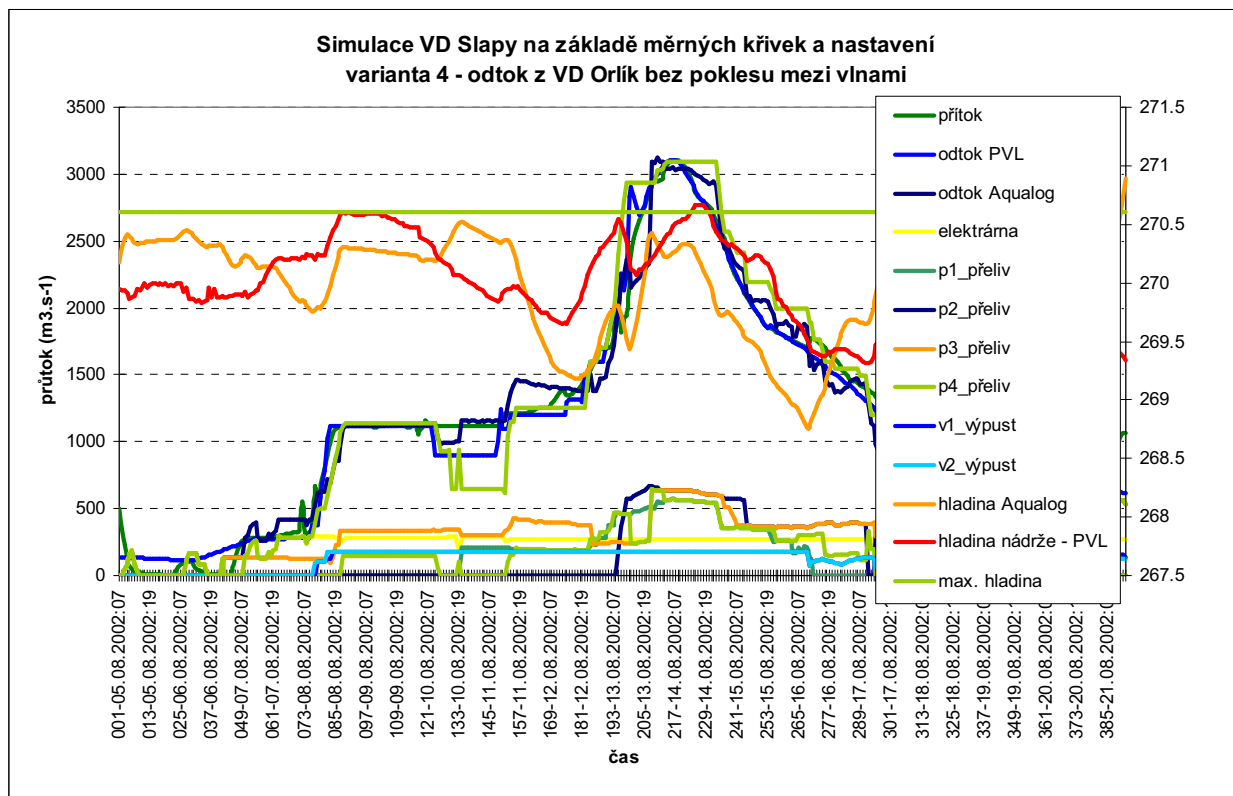
Obr. 3—46 Varianta 3l – simulace průběhu povodně na VD Slapy



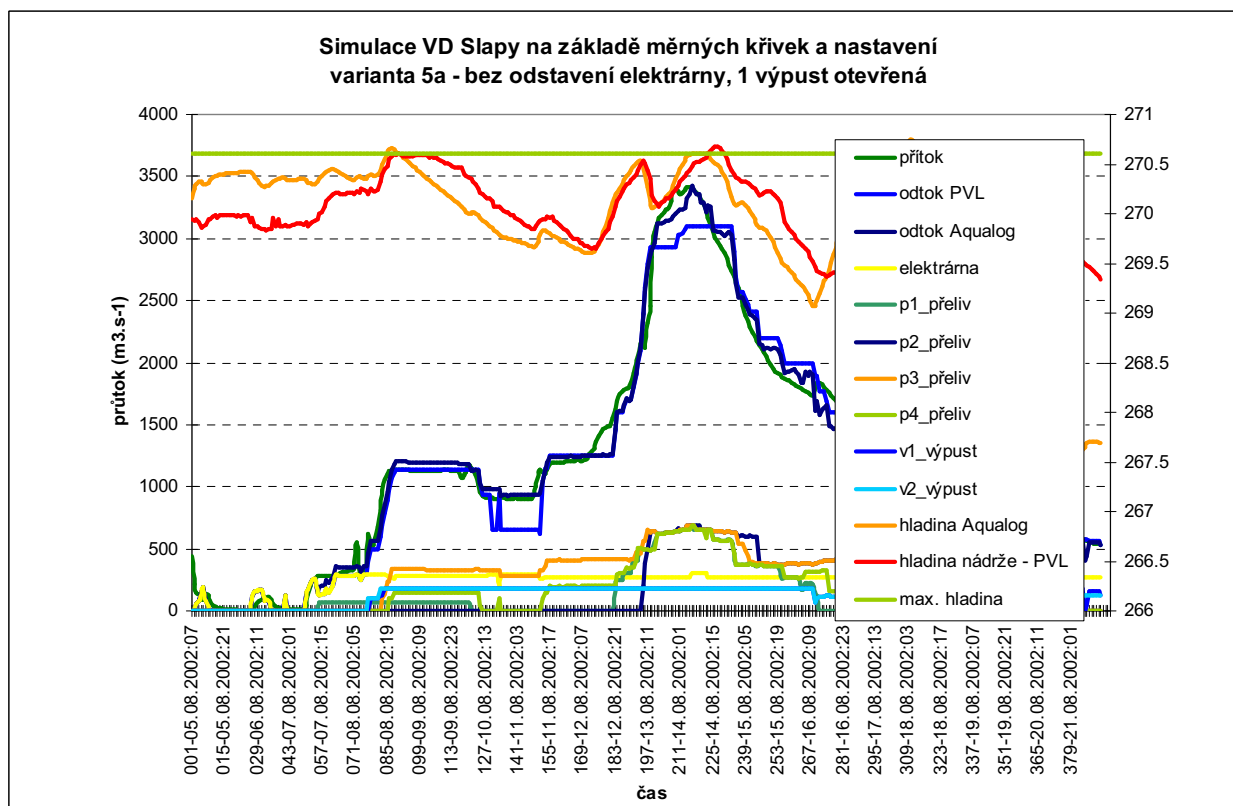
Obr. 3—47 Varianta 3m – simulace průběhu povodně na VD Slapy



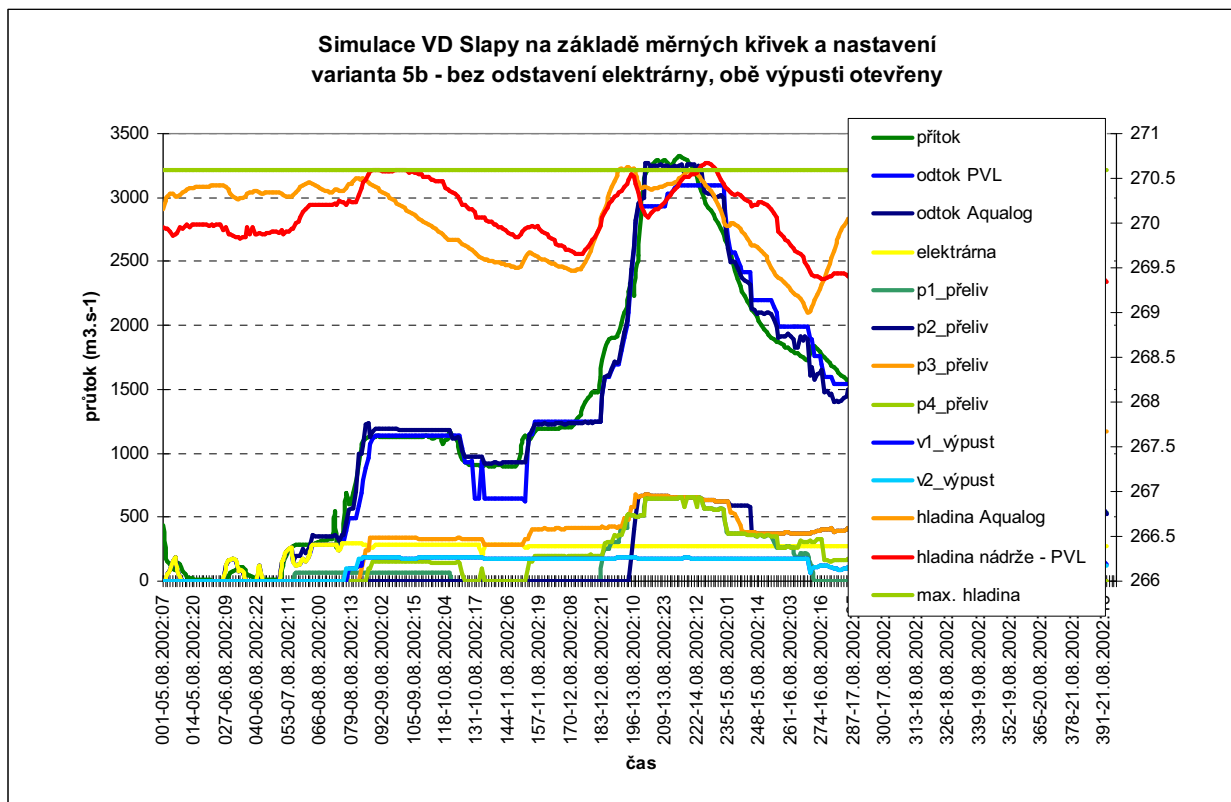
Obr. 3—48 Varianta 3n – simulace průběhu povodně na VD Slapy



Obr. 3—49 Varianta 4 – simulace průběhu povodně na VD Slapy



Obr. 3—50 Varianta 5a – simulace průběhu povodně na VD Slapy



Obr. 3—51 Varianta 5b – simulace průběhu povodně na VD Slapy

3.1.1.1 Závěr

Byl sestaven a ověřen model Vltavské kaskády, který umožňuje provádět manipulaci na všech nádržích v každé časové hladině. Bylo provedeno celkem pět základních variant manipulací s různými kritérii a počátečními podmínkami:

1. Varianta **1a** až **1d** předpokládaly jiné počáteční podmínky sledovaného systému (345.60 m.n.m 5.8.2003 7 hod), a to konkrétně plnění nádrže VD Orlík.
2. Varianta **2a** a **2b** předpokládaly jiné počáteční podmínky sledovaného systému (347.60 m.n.m), a to konkrétně plnění nádrže VD Orlík.
3. Varianta **3a**, **3b** a **3c** uvažovaly vliv velikosti neškodného průtoku v Praze (1500, 1700 a 2000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) na možnosti prázdnění nádrží před nástupem povodně od 5.8.2002 7:00. Varianty **3 d-k** uvažovaly vliv velikosti neškodného průtoku v Praze (1700 a 2000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) na možnosti prázdnění nádrží před nástupem povodně od 8.8.2002 17:00 pro různé počáteční plnění nádrže (348.5 a 347.6 m.n.m. 5.8.2003 7 hod). Varianty **3 l - n** uvažovaly vliv velikosti neškodného průtoku v Praze (1500, 1700 a 2000 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) na možnosti prázdnění nádrží před nástupem povodně od 8.8.2002 4:00 pro počáteční plnění nádrže 5.8.2003 7 hod 351.2 m.n.m..
4. Varianta **4** uvažovala manipulaci na VD Orlík tak, aby nedošlo k poklesu odtoku mezi vlnami.
5. Varianty **5a** a **5b** předpokládaly, že nedojde k přerušení chodu elektrárny během povodně

Alternativy jsou určeny pouze pro VD Orlík. K významným modifikacím manipulace došlo také na VD Slapy. Na ostatních nádržích VD Kamýk, VD Štěchovice a VD Vrané probíhala manipulace téměř identicky jako za povodně. Pokud byla manipulace na těchto nádržích modifikována bylo jejím cílem především nepřekročení maximální hladiny v nádrži.

Ad 1) Počáteční hladina 345.60 m.n.m v závislosti na způsobu manipulace a míře překročení maximální hladiny snížila kulminační průtok až o 403 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj až o 13%. Ve všech případech byla překročena maximální hladina v nádrži.

Ad 2) Počáteční hladina 347.60 m.n.m. v závislosti na způsobu manipulace a míře překročení maximální hladiny snížila kulminační průtok ve variantě **a** o $37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj až 1% v případě výpadku elektrárny. Ve variantě **b** případě byl kulminační průtok vyšší než měřený o $26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při variantě **b** došlo ke snížení maximální dosažené hladiny v nádrži oproti variantě **a** o 114 cm.

Ad 3) Počáteční hladina odpovídala skutečnosti ve variantách **a - g**. Ve variantě **h-i** byla počáteční hladina stanovena na 347.60 m.n.m. a ve variantách **l - m** 351.2 m.n.m. Manipulace vedoucí k udržení tří variant (**a-c**) velikostí neškodného průtoku v Praze vedla k identickým výsledkům. V těchto variantách začalo předpouštění přehrady již 5.8.2002 v 7 hod. Nedošlo k překročení maximální hladiny v nádrži a maximální odtok byl nižší o $578 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tj. o 18.6 % než ve skutečnosti. Důvodem identických výsledků pro tři různé velikosti neškodného průtoku ($1500, 1700$ a $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) je technické omezení velikosti odtoku elektrárnou a výpustmi. Odtok z VD Orlík nemohl být vzhledem k maximálnímu technicky možnému odtoku zvyšován tak, aby došlo k maximálnímu využití celého rozsahu neškodného průtoku v Praze. Ve všech případech byla optimalizována i manipulace na VD Slapy.

Ve variantách (**e-k**) začal režim předpouštění 8.8.2002 v 17 hod s podmínkou udržení neškodného průtoku 1700 nebo $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tyto varianty byly počítány pro dvě různé počáteční hladiny (348.5 a 347.60 m.n.m, obě pro 5.8.2002:07). Ve variantách (**d,e,h,i**), kde bylo počítáno s výpadkem elektrárny, byla vždy překonána maximální hladina v nádrži. V identických variantách (stejná velikost neškodného průtoku) s rozdílnou počáteční hladinou došlo k minimálnímu rozdílu hladin. Ve variantě **i, j, k** (poč. hladina 347.60 m.n.m) byla dosažena nižší maximální hladina i průtok ve srovnání s identickými variantami (s výpadkem nebo bez výpadku elektrárny) **e, f, g** (poč. hladina 348.50 m.n.m). Ve variantě **d** (poč. hladina 348.5 m.n.m.) byla dosažena nižší maximální hladina a nižší maximální průtok než ve variantě **h** (poč. hladina 347.6 m.n.m.). Tento výsledek je důsledkem manipulací na VD Slapy, kdy došlo vzhledem k nižší počáteční hladině na VD Orlík k jinému režimu manipulace na VD Slapy v zájmu dodržení neškodného průtoku a nepřekročení maximální hladiny v nádrži. V těchto variantách (**e-k**) se maximální technický odtok z VD neprojevil jako limitující. Rozdíly mezi identickými variantami byly z hlediska výpočtu minimální.

Ve variantách (**l-m**) začal režim předpouštění 8.8.2002 ve již ve 4 hod na rozdíl od variant **e-k**. Nutnost dřívějšího začátku předpouštění bylo vyvoláno snahou nepřekročit maximální hladinu v nádrži již při první vlně. Důvodem bylo vyšší počáteční plnění nádrže. Ve všech případech byla překročena maximální hladina v nádrži.

Ad 4) Udržení odtoku mezi oběma povodňovými vlnami na úrovni maximálního odtoku během první vlny nevedlo k významnému poklesu kulminačního průtoku ($88 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Maximální dosažená hladina se snížila oproti skutečnosti o pouhých 10 cm.

Ad 5) U těchto dvou variant byl zjišťován vliv přerušení provozu elektrárny během povodně. Pokud by chod elektrárny nebyl přerušen, kulminační průtok by se zvýšil o $218 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V případě **b**, kdy by byla při náběhu kulminace otevřena i druhá výpust, kulminační průtok by se zvýšil pouze o $121 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V čase kulminačního průtoku této varianty byla již jedna výpust uzavřena.

3.2 Analýza neovlivněného odtoku říční sítí a účinku Vltavské kaskády hydraulickým modelem

Jedním z problémových okruhů studie bylo posoudit účinek nádrží Vltavské kaskády na povodňový režim v toku a zhodnotit transformační a translační účinek nádrží při extrémních povodních. Z toho důvodu bylo třeba sestavit model, který pracuje ve dvou režimech:

1. umožňuje hydrodynamickou simulaci hladinového a průtokového režimu při nestacionárním proudění v toku, neovlivněném řízením odtoku, a současně
2. umožňuje doplnění modelu neovlivněného proudění modely ovládacích objektů, schopných matematicky simulovat zjednodušenou manipulaci vodních děl kaskády.

Pro tento účel byl vybrán prostředek HEC-RAS ver. 3.1.1, jehož vstupní data lze případně převést do formátu modelu FLDWAV předpovědního systému **AquaLog**. Je třeba zdůraznit, že s ohledem na nedostupnost podrobného zaměření říčního koryta a časovou náročnost aktivace modelu řízení hydrotechnickými objekty (což systém do značné míry umožňuje off-line, nikoliv operativně), byl vývoj modelu cílen především na získání obecné představy o chování obou scénářů říční tratě v úseku České Budějovice – Praha Helmovský jez. Současná forma modelu však prokazuje využitelnost zvolené metodiky a může být podkladem pro jeho zdokonalení v dalších fázích vývoje.

3.2.1 Charakteristika hydraulického modelu HEC-RAS ver.3.1.1

Předchozí verze systému HEC-RAS (do verze 2.2) umožňovaly řešení širokého spektra hydraulických úloh ustáleného nerovnoměrného proudění včetně proudění objekty. Od verze 3.0 je tento prostředek vybaven hydraulickým modelem neustáleného proudění na bázi modelu UNET.

Model využívá obvyklé diskretizace diferenciálního systému rovnic kontinuity a pohybové do 4-bodového numerického schématu diferenčních rovnic. Metoda je podrobně popsána v manuálu (část Hydraulic Reference). Model je dostatečně stabilní a řešení v podmínkách plynule se měnícího proudění rychle konverguje. Stejně jako u všech obdobných systémů nastávají problémy s numerickou nestabilitou při náhlých změnách geometrie koryta, při přechodu říčního proudění do bystrinného a opačně a v podmínkách nízkých průtoků při „vysychání“ koryta. Matematické formulace výpočtového schématu jsou proto vybaveny účinnými prostředky, které tato rizika do značné míry eliminují.

3.2.2 Konfigurace modelu říční tratě České Budějovice – Praha Helmovský jez

Kostra topografie modelu zohledňuje základní vodoměrné profily toku Vltavy v řešeném úseku, její hlavní přítoky a hydrotechnické objekty Obr. 3—52. Princip zachování vodní bilance si vyžádal zavedení dalších profilů pro vodoměrná měření bočních přítoků a nepřímých odvozených přítoků z mezipovodí.

V roce 1906 byl v úseku České Budějovice-Praha vybudován Ředitelstvím pro stavbu vodních cest (RVC) v Praze nivelační pořad s výškami bodů vztaženými k Jadranu a zaměřen podélný profil Vltavy v úseku České Budějovice- Štěchovice a později doplněn až do Prahy. V letech 1926-1932 zajistilo RVC v Praze zaměření řečišť a údolních částí toku Vltavy a dolních úseků vltavských přítoků Lužnice, Otavy a Sázavy metodou pozemní fotogrammetrie. Říční mapy byly zobrazeny v měřítku 1:1000, 1:2880 a 1:10000. Současně byly zaměřeny příčné profily po 100 m a inundační příčné profily pro vzduté hladiny projektovaných přehrad. Z těchto dat vycházela i historická studie Vltavské vodní cesty, (Expositura c.a k. ředitelství pro stavbu vodních cest v Praze, 1902 až 1911), která byla využita i pro sestavení tohoto říčního modelu. Citované podklady bylo však možno dohledat ve velmi omezeném rozsahu.

Historický materiál zmíněné studie byl zpracovatelem modelu naskenován a s ohledem na rozsah digitálních dat bude podrobněji zpracován v rámci jiného projektu. Materiál zahrnuje:

- zaměřené příčné profily Vltavy v úseku České Budějovice Čtyři Dvory – Šítkovský jez v měřítku 1:500/100. Všech 133 dostupných profilů bylo využito při vývoji modelu,

- podrobný podélný profil téhož úseku 1:20 000/100,
- situace okolí toku v měřítku 1:2880 se sporadicky vyznačeným výškopisem.

Počátek staničení je v Českých Budějovicích, staničení horního závěrového profilu modelu je Km 3.100. Dolním závěrovým profilem je Šítkovský jez v Praze v Km 190.555. S ohledem na potřebu definování volné dolní okrajové podmínky bylo třeba model prodloužit k Helmovskému jezu. Tvar příčného profilu byl pouze odhadnut, neboť tento úsek nebyl předmětem řešení.

Jak již bylo zmíněno, takto získaná data byla doplněna údaji z dalších zdrojů, především z Podrobného podélného profilu střední Vltavy, (Ústav hydrologický a hydrotechnický v Praze-Podbabě, 1940). Podélný profil je zobrazen v měřítku 1:10 000/200. Výsledky měřických prací z roku 1926 až 1932 a uvedený podélný profil z roku 1939 a 1940 byly hlavním podkladem pro vypracování studií a projektů jednotlivých stupňů Vltavské kaskády. Zpracovateli modelu se však nepodařilo získat zaměřené příčné profily.

Podélný profil má dvojí kilometráž:

- značkovanou v přírodě po proudu od ústí Malše (km 0.000) až k zaústění Vltavy do Labe (km 245.750),
- značenou proti proudu od ústí Vltavy do Labe (km 0.000) až k železničnímu mostu pod Českými Budějovicemi (km 240.965).

Ve výstupech modelu jsou vyznačeny oba systémy staničení. Další podklady pro sestavení modelu byly získány ze zprávy (Novák, 1966), z podkladů HDP (Hydroprojekt, 1972) a z dalších zdrojů. Všechny vstupní podklady byly získány ve výškovém systému Jadran a v zájmu sjednocení byly i všechny výpočty a prezentace výsledků ponechány v tomto systému. Ostatní statě této zprávy využívají systému Balt.

Pro výpočet neustáleného proudění v korytě Vltavy byly využity měřené hydrogramy průtoků z povodně 2002 v profilech Vltava (České Budějovice), Lužnice (Bechyně), Otava (Písek), Sázava (Nespeky), Berounka (Beroun, Dobřichovice) a dalších menších přítoků a mezipodvodí jednotlivých nádrží. Údaje o průtocích z historické povodně 1890 byly získány ze studie (Bratránek, 1957), zaměření hladiny a podélného profilu ze zmíněné studie vodní cesty (Kol., 1902 - 1911). Je třeba poznamenat, že uvedené podklady neumožnily sestavení přesného hydraulického modelu (což ani nebylo předmětem této studie) ale modelu s orientační hodnotou výsledků. Pro sestavení přesného modelu by bylo sice možno využít stejné metodiky, ale podrobného zaměření geometrie koryta a dostupnosti map minimálně měřítko 1:5000 s výškopisem.

3.2.3 Principy vývoje a využití modelu

Vývoj modelu a jeho využití spočívá v několika oblastech zpracování dat:

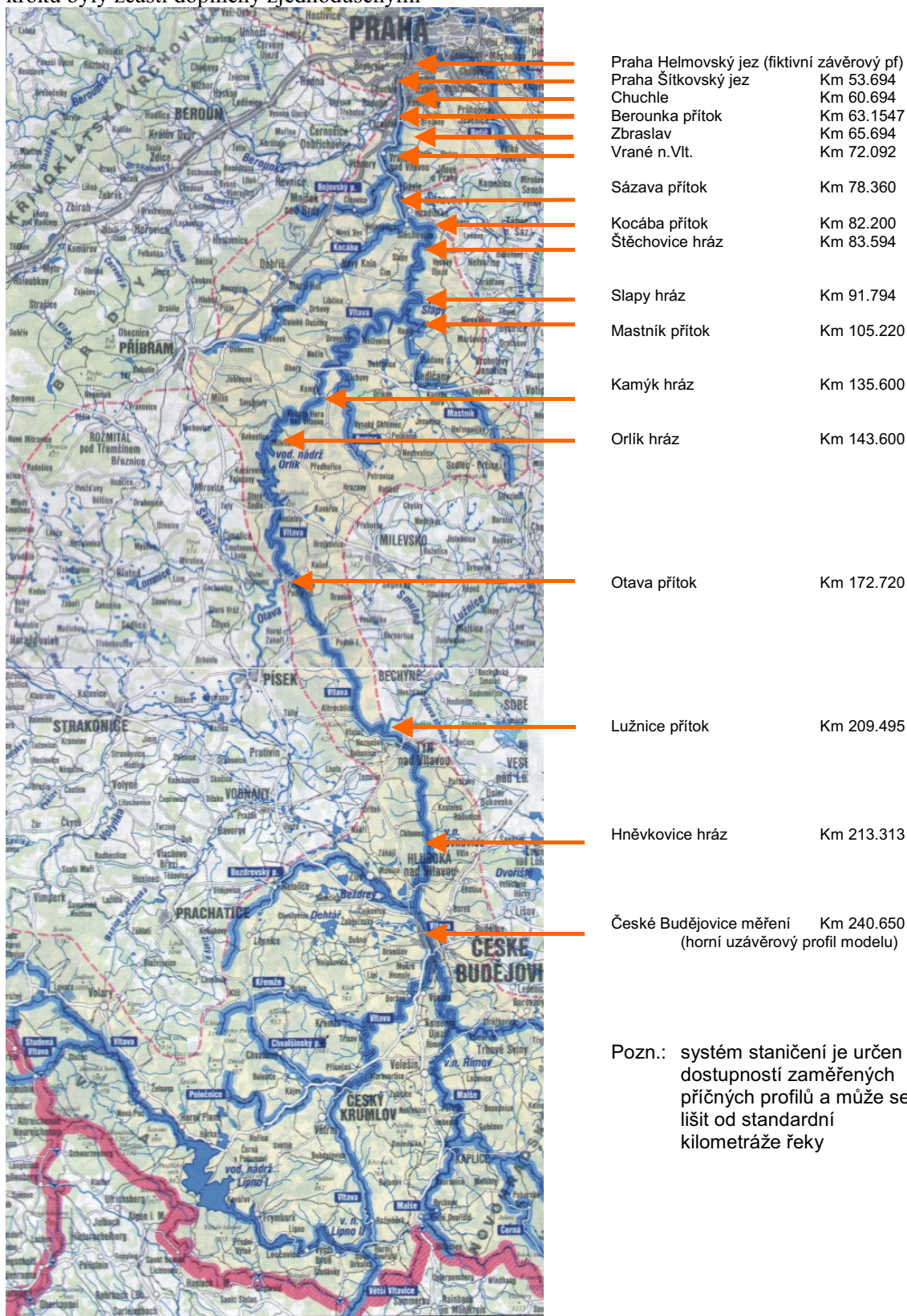
- odvození geometrických a hydraulických charakteristik (konfigurace trasy, výběr reprezentativních příčných profilů a jejich schematizace), předběžné určení drsnostních součinitelů a geometrie hydrotechnických objektů,
- příprava okrajových a počátečních podmínek včetně počátečních hladin v nádržích (pro výpočty v druhém scénáři aplikací modelu),
- kalibrace parametrů modelu na historická data, Varianty 1,
- využití modelu různých scénářů hladinového i průtokového režimu, skupiny druhé až čtvrté Varianty.

3.2.3.1 Geometrické a hydraulické parametry koryta a objektů

Vzhledem k tomu, že hydraulický model má sloužit k posouzení účinku nádrží na původní hladinový a průtokový režim toku za katastrofických povodní byly připraveny dvě základní varianty geometrie modelu:

- model ustáleného stavu řešený díle ve Variantě 1a neuvažoval účinek údolních nádrží a jen velmi zjednodušeně původní jezové stavby z počátku 19.století, dnes zpravidla zatopené či po rekonstrukci. Účelem této varianty modelu bylo kalibrovat parametry na základě zaměřeného podélného profilu povodně v září 1890,

- model neustáleného stavu, jehož parametry byly verifikovány a částečně upraveny pro historickou povodeň září 1890. Model je funkční jak pro stav před vybudováním Vltavské kaskády, tak i pro situaci po výstavbě všech hrází od VD Hněvkovice po Vrané n.Vlt. Parametry koryta z předchozího kroku byly zčásti doplněny zjednodušenými



Obr. 3-52 Přehled měrných profilů, hlavních přítoků model a hrázových profilů

modely přelivných objektů. Základové výpusti ani odtok hydroelektrárnami nebyly v hydraulickém modelu uvažovány. Odvození podkladů spočívalo v následujících oblastech zpracování dat:

1. Pořízení digitalizované formy všech historických materiálů (map, podélných a příčných profilů) skenováním jednotlivých příloh studie (Kol., 1902 až 1911).
2. Převedení získaných příčných profilů původního koryta do souborů systému ArcView a jejich následnou digitalizaci. Pracovně byly výstupy ArcView uloženy do formátu MS Excel a byl filtrován výskyt nepravděpodobných údajů.
3. Z podélného profilu studie (Kol., 1902 až 1911) byly odvozeny vzdálenosti mezi příčnými profily a stanoveny úrovně jejich břehových hran.
4. Určení úrovní korun bezpečnostních přelivů a jejich celkové délky vycházelo z údajů v odst. 1.6.
5. Data získaná v předchozích odstavcích byla zavedena do editoru geometrie programu HEC-RAS.

Přehled podkladů pro sestavení geometrických parametrů modelu (tzv. „psaný“ podélný profil) je uveden v Příloze 7.4 Přehled příčných profilů modelu v úseku České Budějovice – Praha Helmovský jez. Jednotlivé sloupce tabulky uvádí pořadová čísla příčného profilu (základní výpočetní body modelu), staničení dle historického projektu (Kol., 1902-1911), staničení současné, základní prostorový krok (vzdálenost od zvoleného profilu směrem po vodě), slovní charakteristiku profilu a záznam hladin historické povodně v září 1980. Schémata objektů bezpečnostních přelivů jsou na obrázcích Obr. 1—3 až Obr. 1—7.

3.2.3.2 Okrajové a počáteční podmínky

Okrajové podmínky hydraulického modelu mohou tvořit hydrogramy průtoků či časový průběh vodních stavů v závěrových profilech modelované říční tratě. Umístění těchto časových řad do horního či dolního profilu závisí na hydraulickém režimu proudění. Za předpokladu říčního proudění je nejvhodnější kombinací nastavit hydrogram průtoků do horního závěrového profilu (v případě stromových systémů jich je několik) a časový průběh vodních stavů do dolního profilu. Podmínka vodních stavů může být nahrazena měrnou křivkou v dolním závěrovém profilu. V takových případech je obvykle třeba prodloužit řešenou trať o fiktivní úsek tak, aby nepříznivý účinek matematicky nekorektního zadání byl eliminován. Tak tomu je i v případě předloženého řešení. Říční trať byla prodloužena o 50 km pod Helmovský jez a tento úsek pak vyloučen z prezentace výsledků.

Pro případ bystrinného režimu v celém rozsahu simulovaného úseku je třeba nastavit průběh obou stavových veličin (průtoků i vodních stavů) do horního závěrového profilu a podmínku v dolním profilu ponechat nedefinovanou. Tyto problémy řeší teorie metody charakteristik. Při modelování původního koryta Vltavy dochází při nižších průtocích v úsecích většího sklonu dna (především úseky Červenských a Svatojánských proudů, Km 191.509 – 174.180 a Km 92.694 – 89.694 modelu) ke střídání obou hydraulických režimů a tedy k přechodu z říčního do bystrinného proudění během simulace. Pro tyto případy bylo třeba využít výpočtový režim „mixed-flow“, při kterém numerická procedura iteračně řeší oba režimy s cílem zachování numerické stability výpočtu.

Za „okrajové podmínky“ hydraulického modelu jsou někdy nesprávně považovány i boční (laterální) přítoky do hlavního toku a přítoky z mezipovodí, případně rozdělené podél toku do více výpočetních bodů, Obr. 3—52. Jejich souhrnný přehled včetně vodoměrných stanic a hrází je v Tab. 3-15. Tabulka je doplněna o měřené průtoky z 30.července 2002 o půlnoci (počátek simulačního výpočtu), o maximální dosažený průtok během povodně a o okamžik kulminace. Odpovídající hydrogramy povodňových vln ze srpna 2002 jsou uvedeny v odst. 2.2.

Stanovení počátečních podmínek hydraulického modelu je potřebné pro bezproblémový rozběh výpočtu. Určuje je nastavení úrovně vodních hladin a průtoků na počátku výpočtu. Většina komerčních hydraulických modelů je vybavena generátorem počátečních podmínek, který využívá rovnic ustáleného nerovnoměrného proudění, ze kterých odvodí průběh hladin v jednotlivých výpočetních bodech se přepne do výpočtového schématu nestacionárního proudění v němž po zvolenou dobu provádí výpočet za konstantních okrajových podmínek. Doba tohoto „naladění“ hladinového a průtokového režimu by neměla být kratší než doba postupu vlny řešeným úsekem. Operativně pracující modely vyžadují tzv.

restart („teplý“, či hot-start), při němž jsou hodnoty stavových veličin vypočtené na konci předchozího výpočtu zapsány na medium počítače a připraveny pro další běh programu.

Varianty 2b, 3b, a 4b modelu, zohledňující funkci nádrží Vltavské kaskády, kromě toho vyžadují nastavení počátečních hladin ve zdržích.

3.2.4 Kalibrace parametrů modelu

Kalibrací hydraulického modelu rozumíme systematické opravy jeho parametrů tak, aby model na určité úrovni přesnosti reprodukoval pozorovaná data. Obvyklé problémy s nimiž se setkáváme při kalibraci hydraulického modelu jsou následující:

- Existence **pozorovaných hladin** či **průtoků** v časovém nebo prostorovém rozdělení (hydrogramy okrajových podmínek, či zaměření podélných profilů hladin při známém průtoku). V případě jejich nedostupnosti nelze model kalibrovat. U vyvíjeného modelu byly k dispozici zaměřené profily povodňových průtoků povodně září 1890 a dalších katastrofických vln; pouze k této povodni jsou známy průtoky (Bratránek, 1952), ostatní nebylo možno v rámci této studie dohledat. Kalibrace proto proběhla na základě jediné zaměřené hladiny, která je obálkou kulminačních hladin z roku 1890.
- Znalost **geometrie koryta** toku v kynetě a v inundacích. Přesnost geodetického zaměření reprezentativních příčných profilů je pro přesnost modelu zásadní a v ideálním případě by tvar koryta neměl být při ladění modelu příliš měněn. Metody 1D modelování předpokládají konstantní úroveň hladiny v celé šířce příčného profilu. Tato podmínka nemusí být vždy splněna, především u toků s rozsáhlými inundacemi, jako např. v budějovické rovině (cca Km 240.650 – 224.900). V takových případech jsme přistoupili k oddělení soustředěného průtoku kynetou od akumulací zóny inundací, Obr. 3—53. Přesnost geodetických podkladů je značně spekulativní a ani hustota zaměřených profilů neodpovídá. Program však umožňuje příčné profily automaticky interpolovat, Obr. 3—54. Ve schématu obrázku Obr. 3—53 je patrné i zavedení Preismanovy štěrbin (Pilot Channel), která řeší problémy při malých průtocích. Rovněž je zde naznačena i úroveň hladiny při povodni 1890.
- Hodnota **součinitele drsnosti** je jednou z hlavních proměnných umožňující kalibraci modelu. Schéma příčného profilu na Obr. 3—53 ukazuje různé hodnoty zadání Manningova drsnostního součinitele v kynetě ($n=0.08$) a v inundacích ($n=0.05$). Zvýšení drsnosti má za následek lokální zvýšení hladiny, zvyšuje zploštění povodňové vlny směrem po toku, zrychluje rychlost postupu povodně (nikoliv rychlost proudění) a zvětšuje hysterezi měrných křivek v jednotlivých profilech.
- Účinek **údolních nádrží** Vltavské kaskády samozřejmě převažuje při transformaci a translaci povodňové vlny. V porovnání s modelovací technikou MAN systému **AquaLog**, která je založena na hmotnostní bilanci přítoku a odtoku nádrže a předpokládá hydrostatickou hladinu v plném rozsahu zdrže, hydrodynamické vyjádření funkce nádrže umožňuje zavést i dynamický efekt. Hladina již není vodorovná, ale vytváří křivku vzduť ve většině případů (v tomto modelu u všech nádrží kaskády) odpovídající proudění v říčním režimu.
- Nehrazené přelivy jsou pro jednoduchost v tomto případě uvažovány jako jediné ovládací objekty vodních děl. Manipulace základových výpustí a elektráren nejsou řešeny.

Sestavený hydraulický model byl využit pro dvě základní varianty odtoku. První varianta řeší na kalibraci parametrů modelu pro simulaci historické povodně v září 1890 na základě modelu ustáleného proudění a prověření jeho funkce na rekonstruovaných vlnách září 1890 v profilu Hněvkovice a Holešovice. Byly známy kulminační hodnoty průtoků ve vybraných profilech a průběh povodňových vln ve zmíněných profilech. Varianty druhé až čtvrté skupiny vycházely z předpokladu neustáleného stavu, Tab. 3-5

Varianty řešení	Účel simulace
Varianty 1	Kalibrace modelu na ustálený stav, verifikace na neustálený stav, září 1890 v úseku České Budějovice-Praha Helmovský jez
1a	Ustálený stav: kalibrace modelu
	Výpočet 8 podélných profilů České Budějovice-Praha Helmovský jez, z toho: profil 7: vlna 1890 (podle zaměřených značek) profil 8: vlna 2002 (bez možnosti ověření výšek)
1b	Neustálený stav: verifikace modelu
	průchod vln 1980: soustředěný přítok v profilu Zvíkov, kontrolní měření Praha Holešovice
Varianty 2	Simulace neustáleného stavu, srpen 2002 v úseku Hněvkovice-Praha Helmovský jez
2a	Průchod vlny 2002, 5 přítoků do nádrže Orlík umístěno do měrných profilů neovlivněný režim, nádrže neuvažovány
2b	Průchod vlny 2002 ovlivněný režim, uvažovány všechny nádrže
Varianty 3	Simulace neustáleného stavu, srpen 2002 v úseku České Budějovice-Praha Helmovský jez
3a	Průchod vlny 2002, jediný soustředěný přítok do nádrže Orlík v profilu Zvíkov (dle ČHMÚ, Broža) neovlivněný režim, nádrže neuvažovány
3b	Průchod vlny 2002, jediný soustředěný přítok do nádrže Orlík v profilu Zvíkov ovlivněný režim, uvažovány všechny nádrže
Varianty 4	Simulace neustáleného stavu, srpen 2002 v úseku Hněvkovice-Praha Helmovský jez
4a	Průchod vlny 2002, jediný soustředěný přítok do nádrže Orlík v profilu Zvíkov (dle ČHMÚ, Daňhelka) neovlivněný režim, nádrže neuvažovány
4b	Průchod vlny 2002, jediný soustředěný přítok do nádrže Orlík v profilu Zvíkov (dle ČHMÚ, Daňhelka) ovlivněný režim, uvažovány všechny nádrže

Tab. 3-5 Přehled variant aplikace modelu HEC-RAS

3.2.5 Varianty odtoku říční sítí

Sestavený hydraulický model byl využit pro dvě základní varianty odtoku. První varianta řeší na kalibraci parametrů modelu pro simulaci historické povodně v září 1890 na základě modelu ustáleného proudění. S ohledem na nedostupnost hydrogramů okrajových podmínek a přítoků nebylo možno model neustáleného proudění využít. Byly známy pouze kulminační hodnoty průtoků ve vybraných profilech. Varianty druhé skupiny vycházely z předpokladu neustáleného stavu, Tab. 3-5.

Varianty 1: Kalibrace modelu na ustálený stav, verifikace na neustálený stav

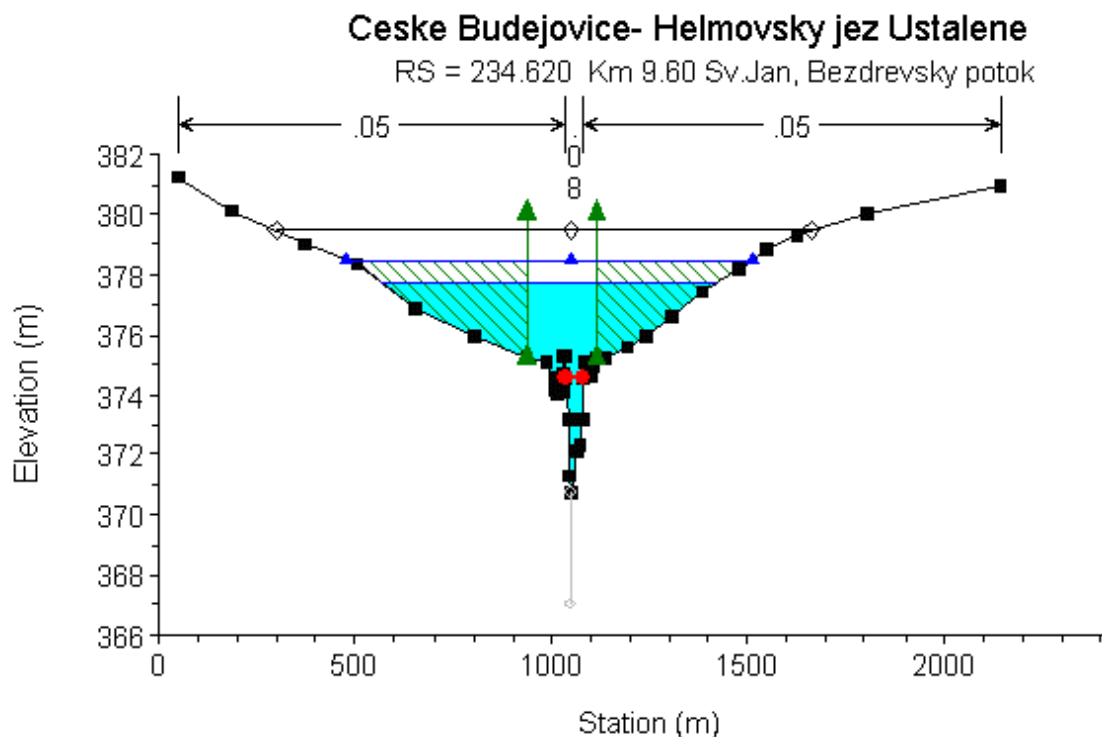
Varianty 1 jsou míněny jako prostředek pro kalibraci a verifikaci modelu, který bude dále využit pro vyhodnocení povodně 2002. Varianta 1a modelu je uplatněna pro kalibraci parametrů s cílem dosáhnout shody výpočtu se zaměřeným podélným profilem kulminací povodně 1890 při ustáleném stavu. Varianta 1b řeší následnou verifikaci modelu, který byl v tomto druhém případě testován ve zkráceném úseku Hněvkovice-Praha-Helmovský jez. Soustředěný přítok byl zaveden do pf Zvíkov Km 172.720, numerická stabilita modelu si vyžádala zachování konstantního přítoku do Hněvkovic $Q=100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = \text{konst.}$ Hydrogram přítoku do nádrže Orlík v Km 172.720 byl o tuto hodnotu snížen.

Výsledky verifikace modelu neustáleného stavu ve Variantě 1b jsou na obrázcích Obr. 3—65 a na Obr. 3—70.

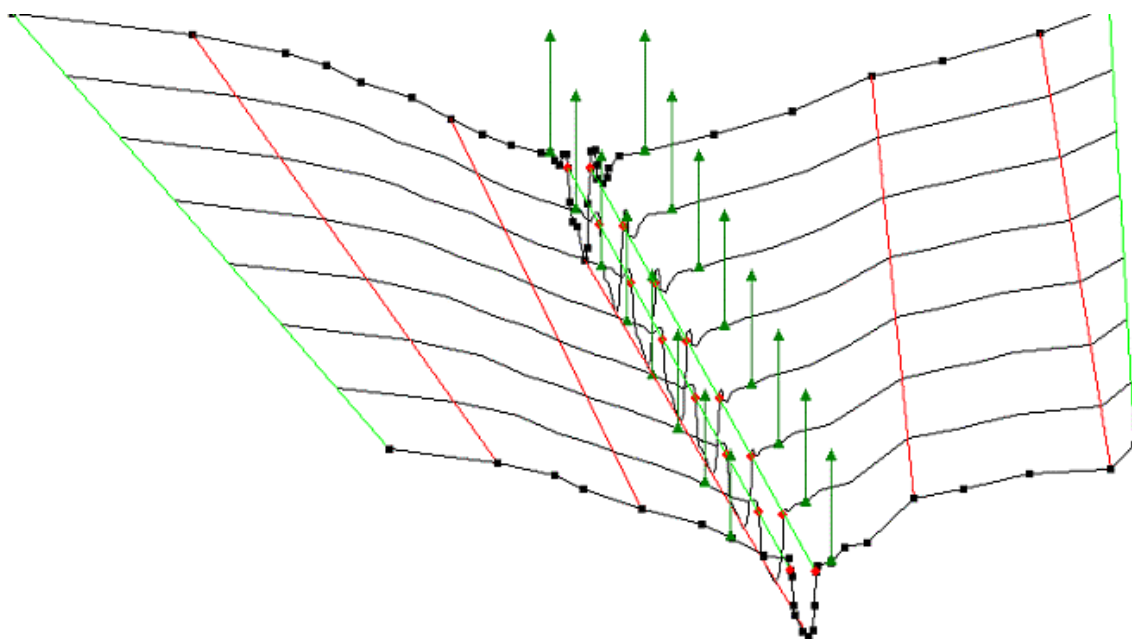
Geometrie a hydraulické parametry koryta

V této fázi bylo postupováno podle pěti bodů uvedených v odst.3.2.3.1. Vzhledem k tomu, že při řešení ustáleného stavu nehrozí selhání výpočtu díky numerické nestabilitě, nebylo ani třeba provést podrobnou interpolaci zaměřených příčných profilů, Obr. 3—54 a vzdálenosti výpočtových bodů byly ponechány v

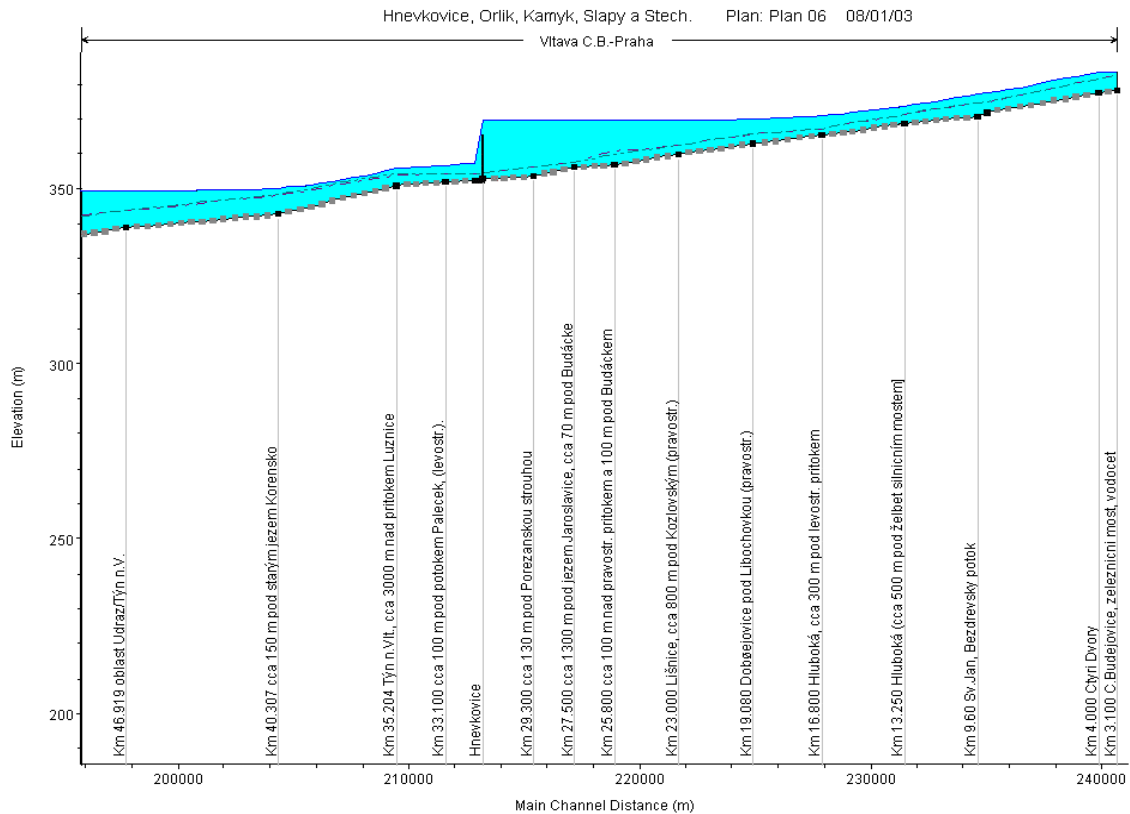
původní formě, Příloha 7.4. Ukázka podélného profilu Vltavy v úseku Štěchovice – Helmovský jez je na Obr. 3—56. S ohledem na četné protispády ve dně toku bylo nutno při výpočtu minimálních odtoků zavést Preismanovu štěrbinu (modře vyplněná plocha pod úrovní dna). Šířka štěrbiny je 0.30 m, a její hloubka je proměnlivá. Jelikož hlavním účelem modelu je simulace povodňového režimu, přesnost výpočtu není touto úpravou příčného profilu ohrožena. Lomové body dna jsou ve schématu vyznačeny plnými čtverečky, břehové hrany čárkovaně (LOB, ROB – Left/Right Overbank), zaměření podélného profilu hladiny 1890 kosočtverci.



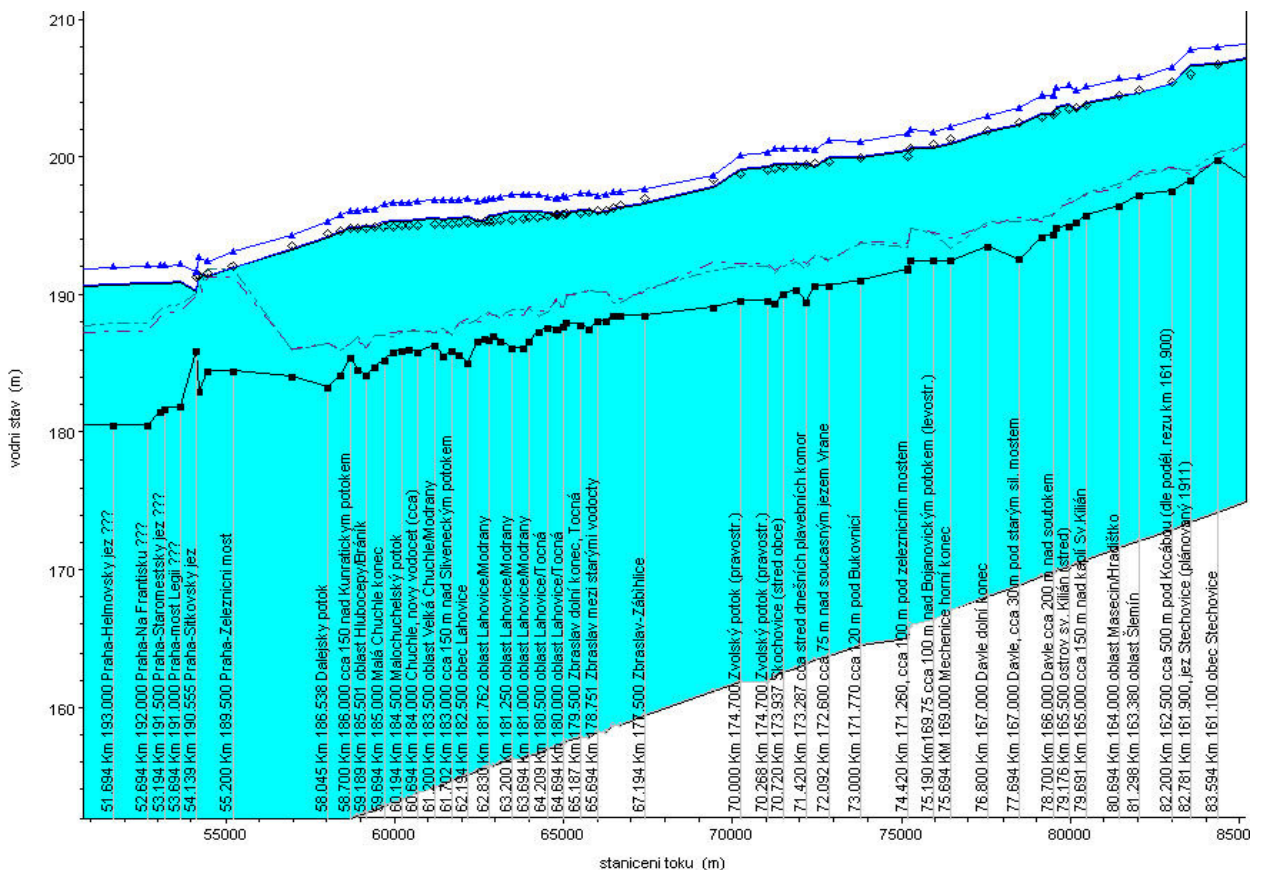
Obr. 3—53 Zavedení akumulčních zón a Preismanovy štěrbiny do geometrie koryta



Obr. 3—54 Automatická interpolace terénu mezi dvěma příčnými řezy koryta



Obr. 3—55 Příklad vzduší nádrží Orlik a Hněvkovice při hydrodynamickém řešení.



Obr. 3- 56 Ukázka podélného profilu Vltavy v úseku Štěchovice – Helmovský jez

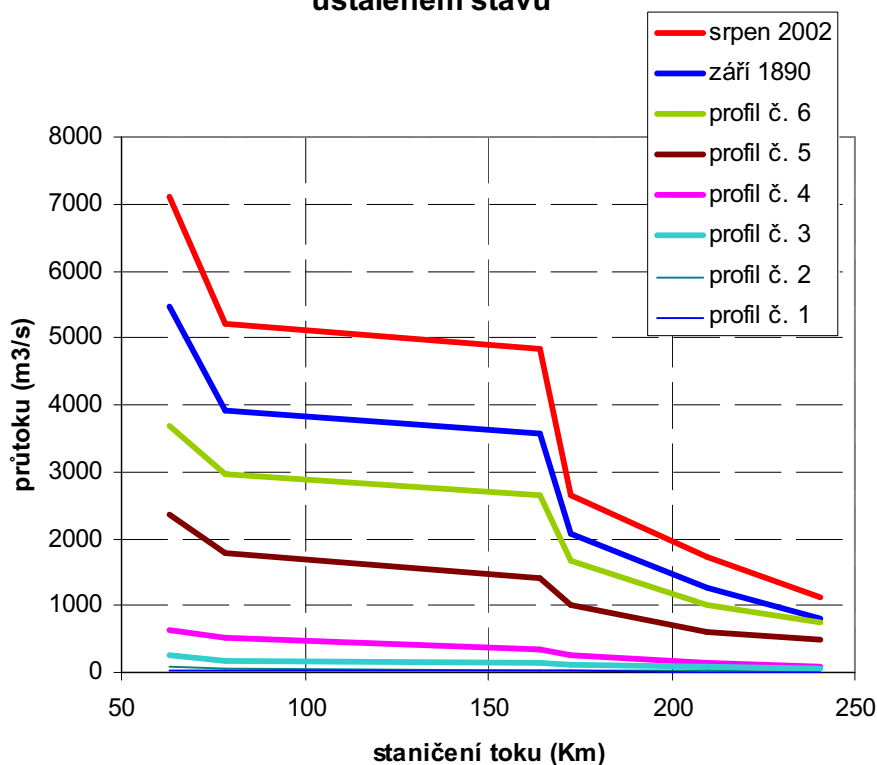
Kalibrace

Kalibrace modelu ve variantě 1 byla provedena pro ustálený stav proudění v celém říčním úseku s konstantními okrajovými podmínkami a laterálními přítoky. Výpočet byl proveden pro 8 podélných profilů hladin, které byly vyvolány průtoky, pokrývající běžné i katastrofální odtoky. Podélné profily 7 a 8 vystihují katastrofální povodně z let 1890 a 2002. Hladinový režim povodně 1890 byl zaměřen, povodeň 2002 nikoliv. Rozdělení kumulativních průtoků podél toku bylo provedeno analogicky podle obou těchto povodní, Obr. 3—57. Jeho výsledky uvedeny v Tab. 3-6.

Km	Popis příčného profilu	Měření	Odhad	Kumulativní průtoky ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)							
		Q_{max} 2002 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Q_{max} 1890 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	1	2	3	4	5	6	7	8
										(1890)	(2002)
240.650	Č.Budějovice měření	1108	810	5	10	50	100	500	750	810	1108
209.495	Bechyně (Lužnice přítok)	632	450	13	27	88	150	600	1000	1260	1740
172.720	Písek (Otava přítok)	900	800	19	34	117	266	1000	1673	2060	2640
163.897	mezipovodí Orlík	2193	1500	24	40	140	356	1406	2644	3560	4833
78.360	Nespeky (Sázava přítok)	376	350	30	53	175	519	1772	2970	3910	5209
63.154	Dobříchovice (Berounka přítok)	1890	1570	42	74	250	625	2347	3683	5480	7099

Tab. 3-6 Tab. Hodnoty kumulativní rozdělení průtoků v podélném profilu při simulaci ustálených stavů

Rozdělení kumulativních průtoků v podélném profilu při ustáleném stavu



Obr. 3- 57 Odvození kumulativního rozdělení průtoků v trati České Budějovice – Praha. Po sestavení základní geometrie modelu (133 příčných profilů a podélného profilu v řešeném úseku České Budějovice-Praha Helmovský jez) bylo při kalibraci postupováno podle obecných zásad:

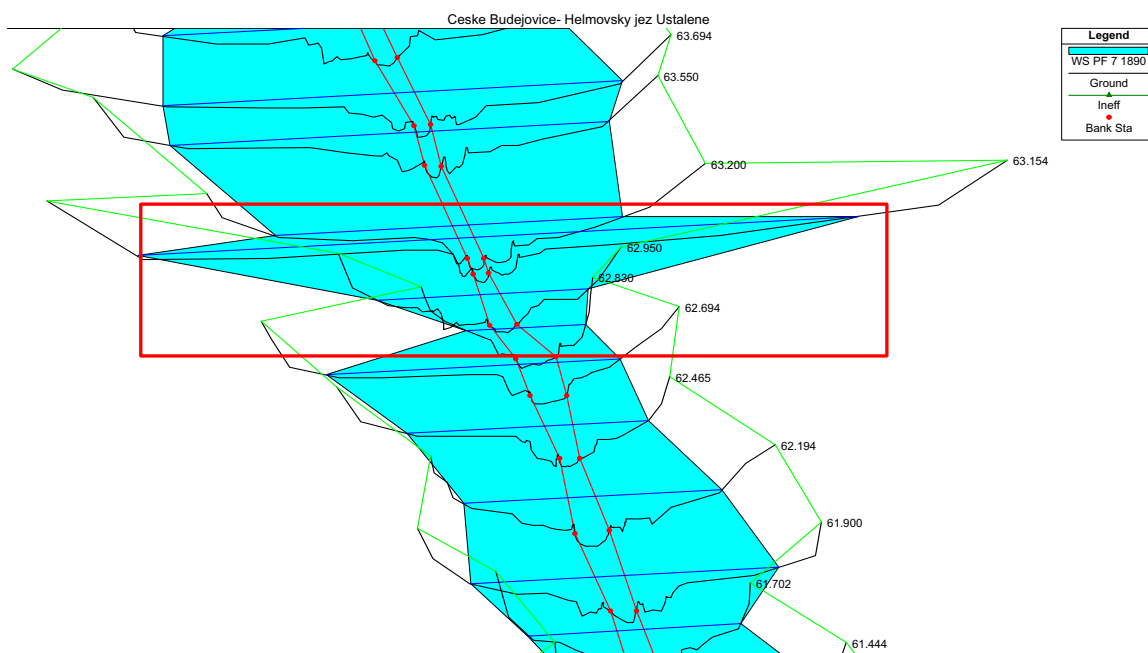
Metodika kalibrace modelu pro ustálený stav proudění v celém říčním úseku spočívala v následujících krocích:

1. byla určena staničení příčných profilů významných přítoků Tab. 3-6 a k těmto staničením stanoveny přítoky. Přítoky pro výpočet podélných profilů 7 a. 8 byly určeny z historických údajů 1890, resp. z podkladů maximálních průtoků 2002. V těchto volbách nebyly uvažovány postupové doby na soutocích a okamžiky výskytu kulminací. To je příčinou, proč maximální průtok 2002 dosahuje nerealistické hodnoty $7099 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pod soutokem s Beroučkou. Ostatní průtoky byly vybrány tak, aby dostatečně pokryly prostor průtoků v toku od minimálních po katastrofální povodně. Jejich podélné rozdělení bylo odvozeno graficky z trendů obou povodní 1890 a 2002,
2. pro takto stanovené rozdělení průtoků byly nastaveny okrajové podmínky ustáleného stavu. V obou závěrových profilech byl zvolen předpoklad platnosti vztahu pro rovnoměrné proudění. Pro tento účel bylo třeba iterativně stanovit sklony čáry mechanické energie ($Se=0.001$ v horním, $Se=0.000336$ v dolním profilu). Tyto hodnoty byly shodně zvoleny pro všech 8 počítaných podélných profilů hladin, další kalibrace s cílem optimálním přiblížení k zaměření hladiny 1890 probíhala iteračně. Byly při tom měněny geometrické parametry koryta (volbou akumulacních zón v horních partiích toku s ohledem na značné rozlivy) a drsnostní součinitelé dle Manninga. Senzitivita modelu byla analyzována s ohledem na oba faktory. Na obrázku Obr. 3—58 je ukázáno nerealistické zúžení koryta, ke kterému došlo díky chybě v zaměření příčného profilu v oblasti Lahovic (Km 62.830). Na Obr. 3—59 je pak ukázán dopad změny součinitele drsnosti na výšku hladiny v úseku Modřany – Davle (Km 58.045 až Km 77.694). V horní části obrázku je prvotní odhad pro hodnoty $n=0.03$ ve všech příčných řezech, v dolní části pak výstup modelu nakalibrovaného na hladinu v září 1890.
3. s ohledem na nedostupnost hydrogramů povodně 1890 v zahajovací fázi projektu jsme se nejprve omezili na pouhé modelování ustáleného stavu a teprve později takto nakalibrovaný model verifikovali na neustálený stav povodně září 1890 (varianty 1a a 1b).

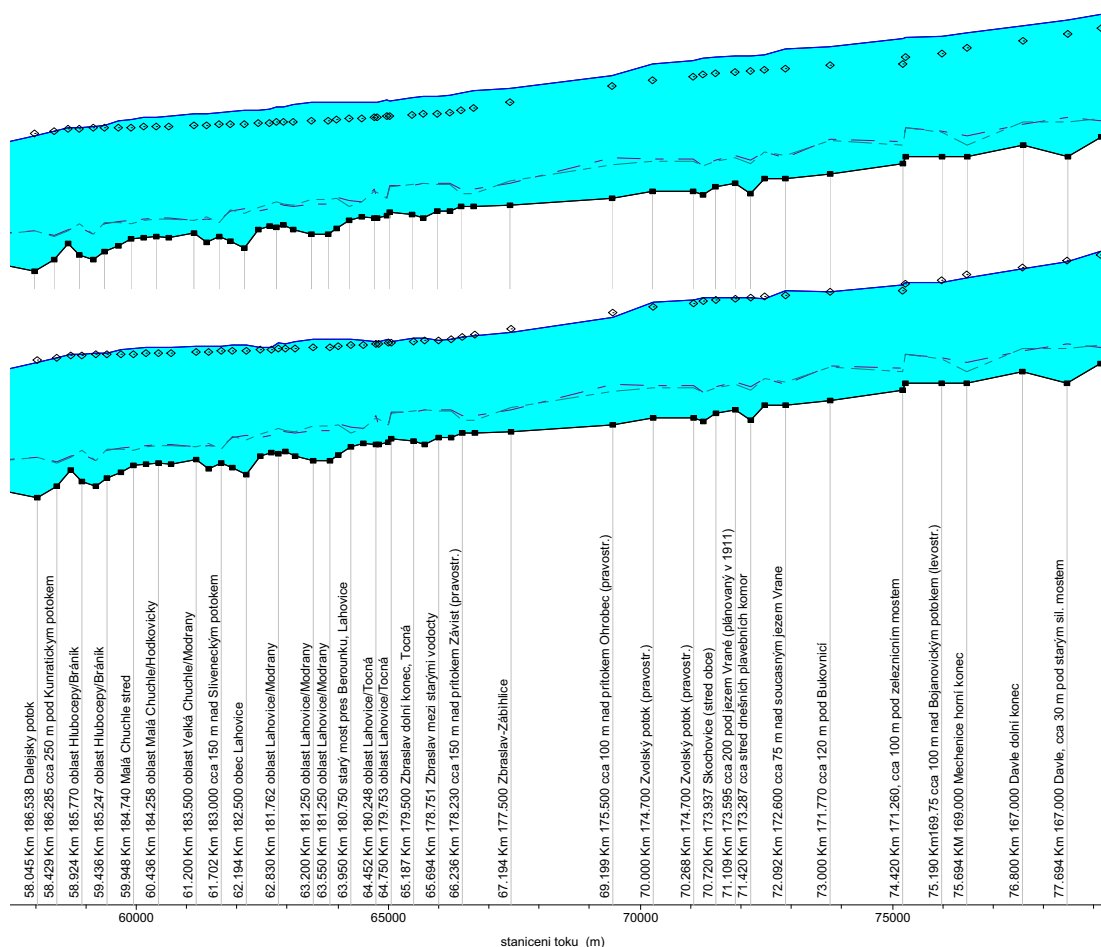
Z obrázku Obr. 3—59 (dolní část) vyplývá poměrně dobrá shoda výpočtu se zaměřenými značkami. V profilu současného vodočtu Praha-Chuchle, Km 58.700, který je současně klíčovým závěrovým bodem modelu, bylo při ustáleném stavu dosaženo maximální simulované hladiny $H_{1890}=195.85$. Měřená hodnota je $H_{1890}=194.51$. Model tedy dává o 0.34 m vyšší výsledky, v případě neustáleného stavu je rozdíl 0.51 m. Tabulka Tab. 3-7 ukazuje podélný profil vypočtených a měřených hladin v bezprostředním okolí vodočtu (úsek Km 58.429 až Km 59.436). Průběh reziduálů v Obr. 3—60 vykazuje poměrně vysoké odchylky od vypočtených hodnot především v lokalitách starých jezů. Tyto objekty nebyly v hydraulickém modelu uvažovány, jejich dopad na maximální odtoky byl i před výstavbou kaskády zanedbatelný. K numerickým problémům rovněž docházelo v oblastech strmých koryt Červenských a Svatojánských proudů. Výsledky na dolní trati úseku cca od Km 85.000 pod dnešní Štěchovickou hrází odpovídají kvalitě dat geometrie koryta i neurčitostem v časových řadách.

Staničení toku	Průtok ustálený	Max. hladiny 1890					Příčný profil
		Měřená	Ustálený stav		Neustálený stav		
			Vypočtená	Chyba	Vypočtená	Chyba	
(km)	($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	(m n.m.)	(m n.m.)	(m)	(m n.m.)	(m)	
59.694	5480	194.763	195.130	-0.37	195.22	-0.46	Malá Chuchle konec
59.436	5480	194.733	194.840	-0.11	194.89	-0.16	oblast Hlubočepy/Bráník
59.189	5480	194.701	194.830	-0.13	194.98	-0.28	oblast Hlubočepy/Bráník
58.924	5480	194.674	194.840	-0.17	195.00	-0.33	oblast Hlubočepy/Bráník
58.700	5480	194.510	195.850	-0.34	195.02	-0.51	Chuchle vodočet,
58.429	5480	194.279	194.500	-0.22	194.92	-0.64	cca 250 m pod Kunratickým potokem

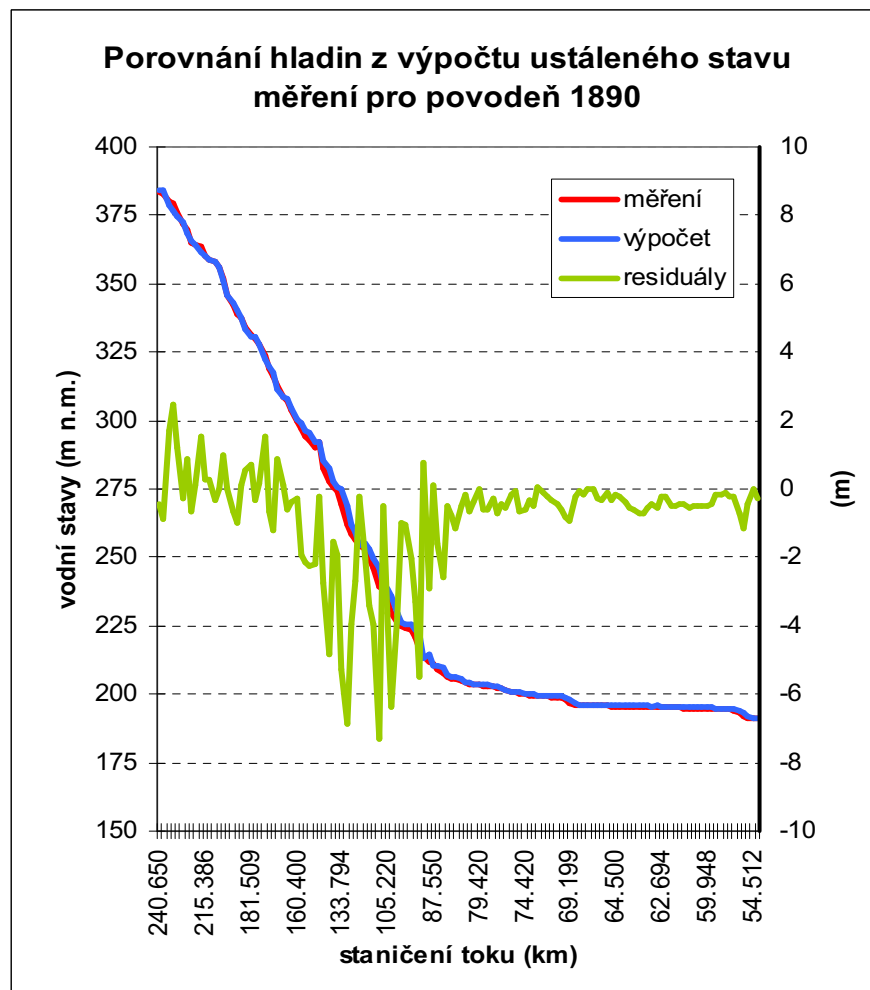
Tab. 3-7 Průběhy simulovaných a měřených hladin v okolí vodočtu Praha-Chuchle při povodni v září 1890. Varianty 1a a 1b kalibrace modelu.



Obr. 3-58 Detekce chybně zaměřeného příčného profilu v Km 62.830 (Lahovice)



Obr. 3-59 Ukázka citlivosti řešení na hodnotu drsnostního součinitele: v horní části obrázku je první odhad $n=0.03$ pro všechny příčné řezy úseku Modřany – Davle, v dolní části výstup modelu nakalibrovaného na hladinu v září 1980



Obr. 3-60 Porovnání zaměřené hladiny povodně v září 1890 s výpočtem ustáleného stavu, Varianta 1.

Varianty 2, 3 a 4 výpočtu: Model neustáleného stavu pro simulace vlny srpen 2002

Pro prověření spolehlivosti modelu je třeba volit období, v němž se vyskytují různé režimy proudění v korytě, minima, povodňové průtoky, strmě stoupající a klesající větve hydrogramů. Období srpna 2002 těmto požadavkům dobře vyhovuje. Jelikož při spuštění i při ukončení výpočtu (první a poslední srpnový den) byl z v řece téměř stejný průtokový režim, je toto období vhodné i pro posouzení spolehlivosti modelu z hlediska hmotové bilance.

Výpočet neustáleného režimu je náchylnější ke vzniku numerické nestability než při režimu stacionárním. Vzdálenosti původních zaměřených příčných profilů, které byly k dispozici, jsou z hlediska reprezentativnosti modelu i jeho numerického řešení zcela nevyhovující. Při řešení byla proto sledována i hodnota Froudova čísla, které charakterizuje typ proudění (řiční bystřinné) při různých průtocích. Proto byla i provedena automatická interpolace příčných profilů na maximální odlehlost 500 m.

Z důvodů zachování Courantova kritéria byl časový krok výpočtu volen 60 sec. Z hlediska kritérií numerické analýzy jsou implicitní výpočtová schémata nepodmíněně stabilní. Změny hydraulického režimu a tím i definice okrajových podmínek mohou porušit základní předpoklady platnosti numerického schématu. K těmto problémům dochází především v režimu nízkých průtoků, kde Froudovo kritérium pro existenci říčního (podkritického) režimu ztrácí platnost a Froudovo číslo nabývá vyšších hodnot, $Fr > 1$. V takových případech model zvolí automaticky kombinovaný výpočet (mixed flow) jako náhradní řešení.

Uvedme stručně metodiku voleb jednotlivých scénářů aplikace modelu ve druhé až čtvrté skupině variant. U všech skupin variant (druhé až čtvrté) je horním uzávěrovým profilem říčního modelu profil Hněvkovice. Zásadní rozdíl mezi těmito variantami spočívá v lokalizaci přítoků do nádrže Orlick.

2 jsou především míněny jako nástroj konfigurace struktury modelu a zobrazující skutečné umístění hlavních přítoků, (Lužnice-v Bechyni, Otava v Písku a přítok z mezipovodí) a vystihují skutečnou topologickou strukturu říční sítě. S ohledem na potřebu sjednocení metodik odvození přítoku do nádrže Orlík s jinými projekty (Broža, 2002), (ČHMÚ, 2002), byly varianty 2 výpočtu ponechány pouze jako pracovní a byla dále analyzovány varianty 3 a 4, které soustřeďují boční přítok do jediného bodu v Km 172.72 modelu nádrže. Výjimku tvoří horní okrajová podmínka modelu v profilu Hněvkovice, do něhož je zaveden přítok v rozmezí cca $10 - 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z hlediska povodňového režimu zanedbatelný avšak potřebný pro zajištění funkčnosti hydraulického modelu v původní topografii.

- **Varianta 2a** neuvažuje účinek nádrží. Využívá geometrických a hydraulických parametrů koryta nakalibrovaných a verifikovaných ve variantě Var.1a pro celý úsek Vltavy České Budějovice- Praha-Helmovský jez. Hydrogramy všech přítoků jsou přibližně umístěny do skutečných příčných profilů. Přítoky z mezipovodí nádrží jsou rovnoměrně rozděleny podél toku. Tato varianta slouží jako podklad pro analýzu účinku nádrží ve variantě Var. 2b.
- **Varianta 2b** řeší účinek všech nádrží kaskády od VD Hněvkovice po VD Vrané n.Vlt.pro parametry i měřené (příp. odvozené) průtokové řady z varianty 2a. Počáteční hladiny všech nádrží jsou zvoleny na úrovni hran pevných přelivů. V této ani v dalších variantách nejsou uvažovány manipulace pohyblivých objektů vodních děl. Model představuje současnou konfiguraci nádrží kaskády. Výsledky výpočtu obou Variant 2 pro klíčové profily modelu jsou uvedeny v grafech na Obr. 3—63, Obr. 3—65, Obr. 3—68, Obr. 3—70, Obr. 3—71 a na Obr. 3—74.
- **Varianta 3a** neuvažuje účinek nádrží. Omezuje se na výpočet úseku Hněvkovice - Praha-Helmovský jez a rovněž využívá parametrů odvozených ve Variantě 1. Horní okrajovou podmínkou je přítok do Orlíka dle ČHMÚ (dle Broži), který, na rozdíl od Variant 1 a 2 sjednocuje všechny přítoky Orlické zdrže do jediného bodu v pf Zvíkov, Km 172.72.
- **Varianta 3b** má identické okrajové podmínky jako Var. 3a, řeší účinek model nádrže Orlík na odtokový režim vypočtený ve Variantě 3b. Výsledky výpočtu obou Variant 3 pro klíčové profily modelu jsou uvedeny v grafech na obrázcích Obr. 3—67, Obr. 3—68, Obr. 3—73 a na Obr. 3—76.
- **Varianta 4a** se od Var. 3a pouze liší jinou alternativou přítoku do Orlíka, dodatečně stanovenou ČHMÚ (Daňhelka). Jinak je zadání identické.
- **Varianta 4b** využívá téže alternativy přítoku do Orlíka jako Var. 4a, jinak je její zadání identické s Var. 3b. Výsledky obou Variant 4 zobrazují Obr. 3—74, a Obr. 3-77.

Všechny varianty numerických simulací funkce nádrží směřovaly jednak k analýze možného účinku přídavného objemu na počátcích vzduť (tzv. „wedge storage“, Obr. 3—55), jednak k posouzení k účinku nádrže na rychlost postupu vlny. Ve výpočtech nádrží byl výpočet ovládacích objektů značně zjednodušen Počáteční hladiny ve všech nádržích byly uvažovány na úrovni pevných hran bezpečnostních přelivů při zcela vyhrazených otvorech, délka přelivných hran byla uvažována jako součet délek hran jednotlivých bloků. Výtoky výpustmi a elektrárnami nebyly uvažovány, odtok z nádrží byl řešen jako neovladatelný. Z těchto důvodů nelze porovnávat výsledky variant manipulací modelovací technikou **AquaLog-MAN** (řízený odtok) a hydraulického modelu HEC-RAS (neřízený odtok). Podklady pro výpočet schematizovaných přelivů hydraulickým modelem jsou uvedeny v tabulce Tab. 3-8..

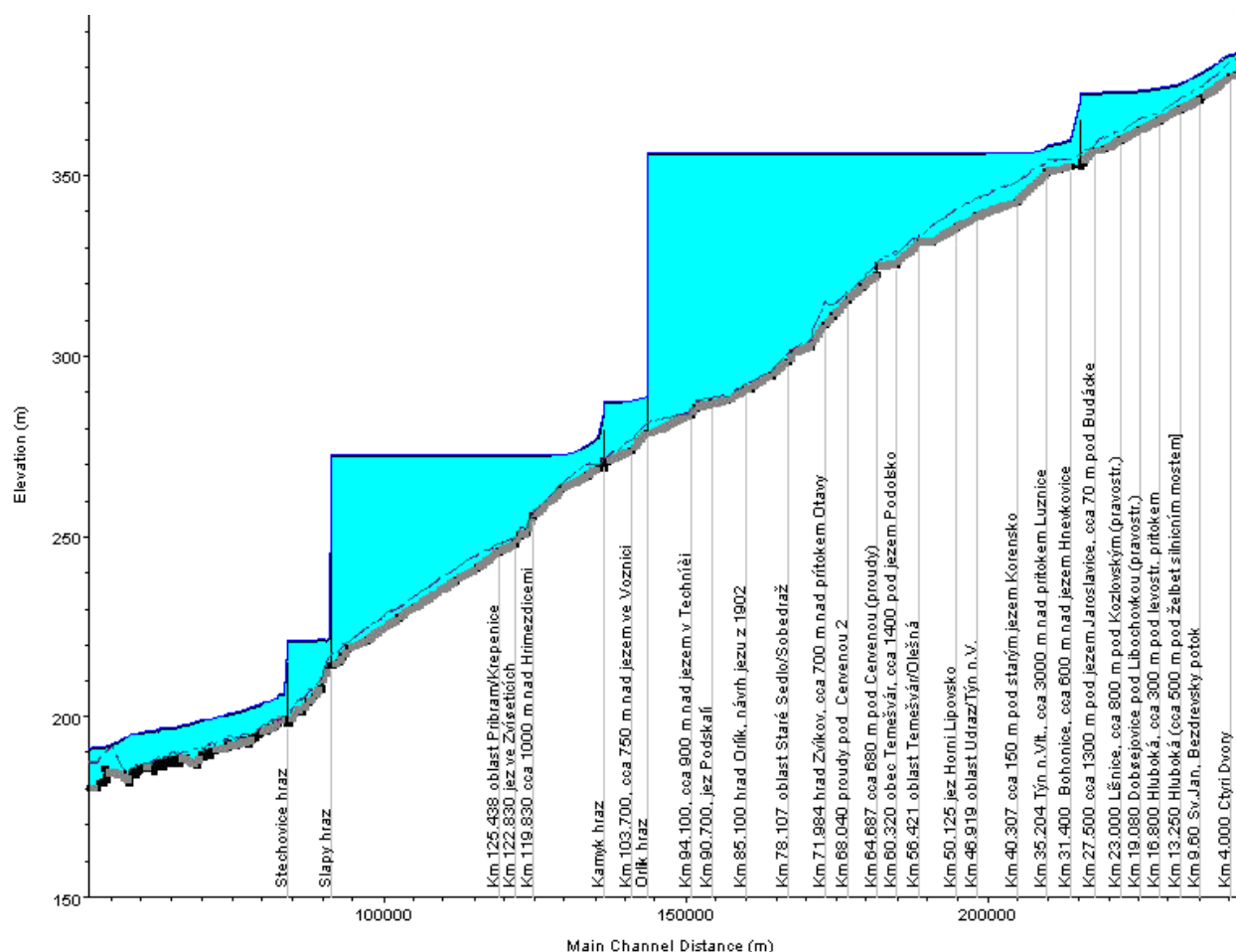
Pf pod hrází (km)	Pf hráze (km)	Pf nad hrází (km)	Celková délka přelivů (m)	Přelivná hrana (m n.m.) (Jadran)	Hpočáteční (1.srpen 02) (m n.m.) (Balt)	Hpočáteční (1.srpen 02) (m n.m.) (Jadran)	Vzdálenost k pf nad hrází (m)	Podélná délka konstrukce (m)
212.884	212.713	213.313	30	365.40	369.83	370.23	600	50
144.100	144.350	144.600	45	346.00	348.50	348.90	250	50
135.600	135.700	136.066	72	274.50	282.48	282.88	366	50
91.422	91.644	91.794	60	263.00	270.32	270.72	150	50
84.044	84.194	84.494	100	214.65	216.03	216.43	300	50

Tab. 3-8 Podklady pro výpočet přelivů vodních děl modelu HEC-RAS

Analýza postupových dob

Důležitým podkladem pro manuální předpověď jsou postupové doby mezi jednotlivými vodoměrnými profily. Jejich znalost je např. nezbytná pro vývoj metody odpovídajících si průtoků. Rychlost postupu povodňové vlny ovlivňují dva činitelé: rychlost proudění v korytě a postupivost elementární vlny v obou směrech proudění (tzv. kladná a záporná charakteristika). Tato druhá složka hraje významnou roli především na soutocích v oblastech ovlivnění proudění zpětným vzduťím. Pohyb povodňové vlny ovšem určují i další podmínky, z nichž nejdůležitější jsou hloubka vody, stav příčného koryta, případně jeho drsnost.

V tabulce Tab. 3-15 jsou v přehledu uvedena staničení měrných a hrázových profilů modelu, bočních přítoků a přítoků z mezipovodí nádrží. Tabulka rovněž uvádí maximální průtoky v jednotlivých profilech v srpnu 2002, dobu jejich kulminace a postupové doby z profilu České Budějovice k jednotlivým profilům. Z tabulky je patrné, že model dává poněkud rychlejší postup vlny v porovnání s měřením (varianta 2a, bez nádrží). Nádrže, v tomto případě při zahájení výpočtu zcela naplněné, (varianty 2b) v porovnání s neovlivněným režimem postup vlny zrychlují.



Obr. 3-61 Současná konfigurace modelu ve variantě 2b, podélný profil

Souhrn výsledků výpočtů neustáleného stavu

Hydrodynamické posouzení vlivu nádrží Vltavské kaskády na průtokový režim pod soutokem s Beroučkou bylo hlavním cílem řešení neustáleného stavu. Numerické experimenty na modelu nakalibrovaném a verifikovaném pro povodeň září 1890 (varianty 1) řešily 3 scénáře výpočtu: varianty 2, 3 a 4. Výsledky jsou prezentovány pouze jen pro klíčové vltavské příčné profily ve sledovaném úseku České Budějovice-Praha Helmovský jez a podrobné výsledky jsou k dispozici v elektronické formě, která je součástí zprávy. Byly sledovány následující profily, případně úseky říční tratě:

- Úsek toku Č.Budějovice Km 240.65 -Hněvkovice Km 213.313 modelu, (není předmětem řešení variant 3 a 4).
- Nádrž Orlík, profil hráze Km 143,60 a profil pod přítokem z mezipovodí, 163.897 modelu.
- Nádrž Kamýk, hrázový profil Km 135.000 modelu.
- Nádrže Slapy a Štěchovice, hrázové profily Km 91.794 a Km 83.594 modelu.

- Numerický test zákona zachování hmoty na soutoku Sázavy s Vltavou, Km 78.360 modelu.
- Zdrž Vrané n.Vlt., profil Km 72.092 modelu.
- Měrný profil Zbraslav, Km 65.694 modelu.
- Vodní bilance na soutoku Berounky s Vltavou, Km 63.154 modelu.
- Měrný profil Chuchle, Km 60.694 modelu, doplněný o profil Šítkovský jez, Km 54.139.

Úsek toku Č.Budějovice Km 240.65 -Hněvkovice Km 213.313 modelu

Měrný profil České Budějovice je horním závěrovým profilem modelu a hydrogram z vodoměrné stanice je horní okrajovou podmínkou modelu. S ohledem na bilanci a nedostupnost podrobnějších údajů o přítocích nad profilem Hněvkovice bylo nutno tento přítok vyjádřit jako rozdíly pořadnic hydrogramů v Km 213.313 a Km 240.65, Obr. 3—64. Tento laterální přítok byl zaústěn do výpočtového bodu v Km 224.900 modelu. Hodnoty kulminačních průtoků při jednotlivých variantách jsou v Tab. 3-9.

Km	Profil	Kulminace (m ³ .s ⁻¹)		
		měření	Var. 2a	Var. 2b
240.650	Č. Budějovice	1108	-	-
213.313	Hněvkovice	1175	1277	953

Tab. 3-9 Přehled kulminačních průtoků v úseku Č. Budějovice – Hněvkovice

Z výsledků v je patrné, že model poskytuje ve všech variantách delší dobu postupu kulminačních průtoků. Rozdíl v dobách kulminací všech variant je však nevýznamný. Transformační účinek nádrže Orlík je ve variantě 2b cca 25% (1001 m³.s⁻¹ v porovnání s hodnotou 1270 m³.s⁻¹).

Nádrž Orlík.- profil hráze Km 143,60, profil přítoku z mezipovodí, Km 163.897 a profil fiktivního soustředěného přítoku do nádrže (Zvíkov, Km 172.72)

Pro nádrž Orlík byla provedena analýza ve třech klíčových profilech. Hrázový profil je umístěn v Km 143.600 modelu. Jelikož hydrodynamický model umožňuje, na rozdíl od modelu MAN, podrobné rozdělení laterálních přítoků podél toku, byly ve variantách 2 uvažovány přítoky do nádrže podle skutečného zaústění přítoků, viz Varianty 2. Přítok z mezipovodí byl vypočten z bilance přítoku do nádrže dle ČHMÚ (Broža) a známých měření, Obr. 3—66. Tento přítok byl umístěn do profilu Km 163.897 a rovnoměrně rozdělen podél toku až do hrázového profilu jako specifický boční přítok. Kromě menších vodotečí jsou hlavními přítoky Lužnice, Otava (Km 209.495 a 172.72). Ve variantách 3 a 4, na rozdíl od předchozích, bylo využito složeného hydrogramu přítoku do nádrže dle ČHMÚ (Broža - Var.3 a Daňhelka - Var. 4, Obr. 3—67 a Obr. 3—68) umístěného fiktivně do profilu Zvíkov, Km 172.72 modelu. Kulminační průtoky v nádrži Orlík pro Varianty 2 a 3 jsou v Tab. 3-10.

Km	Profil	Kulminace ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)				
		Měřeno/ odvozeno	Var. 2a	Var. 2c	Var. 3a	Var. 3b
213.313	Hněvkovice	1175	1277	993	3920	3920
-	Celkový přítok do nádrže dle ČHMÚ	3920	3920	3920	3920	3920
154.000	Kontrolní Pf v dolní čtvrtině vzdutí pod přítokem z mezipovodí nádrže Orlík		3282	3204	3802	3501
143.600	Hráz Orlík		3597	3548	3793	3494
140.995	Odtok z nádrže	3100	3595	3546	3793	3488

Tab. 3-10 Přehled kulminačních průtoků v podélném profilu nádrže Orlík

Výpočet Variant 3 eliminuje možné chyby modelu v úseku Č. Budějovice-Hněvkovice a sjednocuje výchozí podmínky řešení hydraulického modelu s modelem AquaLog MAN. Varianta 3a řeší nádržemi neovlivněné proudění, Var. 3b zavádí do výpočtu nádrží Orlík. Jak je z řádku Km 143.600 tabulky patrné, tato nepřesnost neovlivní významně výsledek avšak umožní objektivnější porovnání obou metod z hlediska sjednocení vstupních hydrogramů i analýz ČHMÚ. Proto byly varianty 3 (ač „hydraulicky méně exaktní“) vybrány pro konečnou verifikaci hydraulického modelu. Na obrázku Obr. 3—68 je ukázán účinek nádrže Orlík na zploštění a translaci vlny v porovnání s neovlivněným prouděním v původním korytě. Je zde zřejmé, že ochranný účinek nádrže se projevuje výrazněji u menších vln. Při první vlně 8. srpna byl kulminační průtok transformován nádrží o $525 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, korytem pak $71 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Postupová doba se z původních 12 hodin účinkem nádrže prodloužila na 21 hodin. Při druhé vlně je zvýšení transformačního účinku nádrže pouhých $238 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, fázový posun je zde zanedbatelný.

Nádrž Kamýk, hrázový profil Km 135.000 modelu

S ohledem na sporadicky měřená data odtoku nádrže Kamýk v povodni 2002 nebylo možno provést podrobnější analýzu výsledků modelu. Obrázek Obr. 3—65 uvádí výsledky simulace neovlivněného proudění při povodni v září 1890.

Nádrže Slapy a Štěchovice, hrázové profily Km 91.794 a Km 83.594 modelu

Výsledky simulace průtoku povodňové vlny Slapskou zdrží jsou na Obr. 3—69 i s ohledem na přítok z mezipovodí. Pravděpodobně v důsledku morfologie původního koryta v hluboce zaříznutém údolí (Svatojánské proudy) bez významnějšího transformačního účinku je modelový transformační účinek snížení vlny oproti neovlivněnému proudění ve starém korytě poměrně významný, bez ohledu na skutečnost, že hladina v nádrži byla před nástupem druhé vlny na vysoké úrovni a 14.8.02 v 0:00 hod. dosáhla úrovně 270.32, tedy 0.28 m pod H_{max} vyrovnávací. Jelikož dle současně platného manipulačního řádu nádrží Slapy nemá ochranný prostor, výsledky hydraulického modelu je třeba v tomto případě považovat jen za informativní s přesností odpovídající kvalitě zadané geometrie koryta.

Nádrž Štěchovice má při neřízené manipulaci má minimální přínos pro povodňovou ochranu.

Výstupy modelu nejsou ve zprávě uvedeny, jsou však dostupné v elektronické formě.

Numerický test vodní bilance na soutoku Sázavy s Vltavou, Km 78.360 modelu

Pro prověření funkce numerického schématu a verifikaci vstupních dat (hydrogramů) modelu bylo provedeno prověření bilance vypočtených průtoků ve výpočetních bodech bezprostředně přilehlých k výpočtovému bodu soutoku, Km 78.360, viz Tab. 3-11.

Výpočtový bod (říční profil)	Objem ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)	Kontrola na soutoku ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)	Přesnost (-)
Km 78.700	26417.78		
Km 78.360	1887.02		
Km 78.360	26417.41		
Km 77.694	28283.25	28304.43	1.00074872
Km 76.800	28282.07		

Výpočtový bod (říční profil)	Objem (m ³ .10 ⁶)	Kontrola na soutoku (m ³ .10 ⁶)	Přesnost (-)
Km 75.694	28280.48		
Km 75.190 mezipovodí Vrané	298.32		
Km 75.190	28279.75		
Km 74.480	28334.74	28578.08	1.00858785
Km 74.420	28339.37		
Km 73.000	28448.89		
Km 72.092 Vrané	28519.21		

Tab. 3- 11 Numerický test vodní bilance v okolí soutoku Sázavy s Vltavou

Jak je z tabulky patrné, přesnost na soutocích je na vyhovující úrovni, numerické schéma zde zachovává přesnost řádu minimálně 10⁻².

Zdrž Vrané n.Vlt., profil Km 72.092 a měrný profil Zbraslav, Km 65.694 modelu

Výsledky výpočtů nebyly zařazeny do prezentace výsledků jsou rovněž dostupné v elektronické formě.

Numerický test vodní bilance na soutoku Berounky s Vltavou, Km 63.154 modelu

Bilance na soutoku těchto dvou řek je jedním z klíčových problémů analýzy účinku Vltavské kaskády na transformaci povodňových vln. Pro prověření modelu bylo posouzení zákona zachování hmoty nezbytné. Je třeba upozornit na významný účinek 2D proudění v oblasti rozlivů při soutoku a z toho vyplývající porušení předpokladů platnosti 1D rovnic použitého modelu. Při analýze vodní bilance v této lokalitě byly hodnoceny dva principy zachování hmoty:

4. Hodnocení celkové bilance vstupních hydrogramů modelu.
5. Vodní bilance na soutocích větších toků s Vltavou.

Bilanci vstupních hydrogramů pro období měsíce srpna uvádí Tab. 3-12. Jak je patrné, bylo dosaženo poměrně vysoké přesnosti 6.3 %. Při tom je třeba mít na zřeteli, že některé přítoky byly odvozeny srážko-odtokovým modelem.

Km	Přítok	Objem (m ³ .10 ⁶)
240.650	Č.Budějovice měření	514.663
209.495	Bechyně (Lužnice přítok)	448.822
172.720	Písek (Otava přítok)	417.670
170.320	Dolní Ostrovec	40.381
167.380	Varvažov	25.755
163.897	mezipovodí Orlík	120.811
129.580	Brzina (přítok)	10.508
105.814	mezipovodí Slapy	28.767
105.220	Mastník (přítok)	57.916
82.200	Kocába (přítok)	18.301
78.360	Nespeky (Sázava přítok)	188.605
75.190	mezipovodí Vrané	29.823
63.154	Dobřichovice (Berounka přítok)	641.501
	celkem	2543.521
60.694	Chuchle měření (s účinkem nádrží)	2703.385
	Poměr Chuchle/Celkový přítok	1.063
	Chyba (%)	6.3

Tab. 3 – 12 Analýza bilance přítoku a měření v dolním závěrovém profilu modelu (Chuchle)

Hodnocení spolehlivosti modelu z hlediska bilance ukazuje Tab. 3-13 pro soutok Berounky a Vltavy a Obr. 3—71 pro výpočty varianty Var. 2a..

Km	Příčný profil	Objem (m ³ .10 ⁶)
63.154	Vltava nad Berouňkou výpočet	1846.591
62.950	Vltava pod Berouňkou výpočet	2482.788
63.154	Dobřichovice měření	641.501
	Bilance	2488.092
	Poměr Vltava pod Berouňkou/Bilance	1.002
60.694	Chuchle měření (s účinkem nádrží)	2703.385
	Poměr Chuchle/Bilance	0.925

Tab. 3 – 13 Analýza bilance na soutoku Berouňky s Vltavou

Horní část tabulky ukazuje přesnost numerického výpočtu modelu. Obdobně jako v případě soutoku Sázavy zde jsou analyzována odeklá množství ve výpočtových bodech bezprostředně sousedních při soutoku. Hodnota poměru 1.002 naznačuje vynikající přesnost bilance. Méně již vyhovuje porovnání měřeného odeklého množství ve vodoměrném profilu Chuchle Km 58.700 s výpočtem neovlivněného režimu. Hodnota 0.773 (chyba 23 % vzhledem k výpočtu) zůstává v přípustných mezích při dané přesnosti podkladů. Nelze jednoznačně určit, zda chyba byla způsobena nepřesností modelu (přesto, že jsme tento problém jsme apriori v horní části tabulky vyloučili) nebo chybou měření, např. nespolehlivostí měrné křivky v oblasti vysokých vodních stavů.

Oblast Zbraslav, Km 65.694 modelu

Vzhledem k významu protipovodňové ochrany této oblasti a bezprostřední vazby na případné navazující případové studie modelování soutoku Berouňky a Vltavy jsou v grafech na Obr. 3—73 a Obr. 3—74 uvedeny výsledky simulací variant Var. 3a a Var. 4a, tedy neovlivněného proudění. Hydrogramy průtoků a vodních stavů jsou zde vztaženy k vodoměrnému profilu Chuchle. Numerické výsledky jsou k dispozici v elektronické formě.

Měrný profil Chuchle, Km 58.700 modelu

Analýza průtokového a hladinového režimu ve vodoměrném profilu Chuchle, Km 58.700 modelu, je v současné době zásadní pro hodnocení povodňového ohrožení Prahy. Porovnání jednotlivých variant simulací Var. 2a, Var. 2b, Var. 3a a Var. 4a pro průtoky i vodní stavy jsou uvedeny v grafech Obr. 3—75 až Obr. 3-77. Přehled měření kulminací a výsledků pro profil Chuchle vodočet, Km 58.700 je v Tab. 3-14.

Varianta	Scénář	Kulminace průtoku Q (m ³ .s ⁻¹)	Kulminace hladin H (m n.m.)	Doba kulminace	rozdíl Q (m ³ .s ⁻¹)	rozdíl H (m)
Měření srpen 2002	Účinek všech nádrží	5160	194.83	14. srpen 2002, 12:00		
Měření září 1890	Neovlivněný režim	3955	194.51	4. září 1890, 19:00		
Var. 1b	Neovlivněný režim září 1890	4675	195.06	4. září 1890, 03:00	-720	-0.55
Var. 2a	Neovlivněný režim bez nádrží (přítok do Orlika dle skutečnosti)	5834	196.15	14. srpen 2002, 10:00	-674	-1.32
Var. 2b	Účinek všech nádrží	5740	196.05	14. srpen 2002, 11:00	-580	-1.22
Var.3a	Neovlivněný režim bez nádrží (přítok do Orlika Broža)	5498	195.40	14. srpen 2002, 01:00	-338	-0.57
Var.4a	Neovlivněný režim bez nádrží (přítok do Orlika Daňhelka)	5069	195.02	14. srpen 2002, 08:00	91	-0.19

Tab. 3-14 Výsledky výpočtu variant ve vodoměrném profilu Chuchle, Km 58.700 .

Závěr

V tomto odstavci byly využity metodicky přesnější prostředky hydrodynamického modelování neustáleného proudění v korytech a v nádržích, než umožňují kinematické metody řešení transformace povodňových vln. Relativně složitější modely si naproti tomu vyžádaly značnou schematizaci metod řízení vodních děl a při hodnocení výsledků hydrodynamického modelu je třeba vzít tuto skutečnost v úvahu. Model poskytuje odpověď na zásadní otázky za předpokladu naplnění nádrží na úrovní korun pevných přelivů a při vyloučení manipulací všech pohyblivých uzávěrů, tedy při neřízeném odtoku nádržemi, Tab. 3-14, varianta Var. 2b (vyznačeno zeleně).

Tato tabulka podává analýzu kulminací průtoků a vodních stavů včetně dob jejich kulminace. První dva řádky (vyznačeno červeně a modře) ukazují hodnoty měření z povodní let 2002 (výstavba kaskády ukončena) a 1890 (přirozený odtokový režim), ke kterým jsou pak vztaženy simulované hodnoty jednotlivých variant. S výjimkou varianty 2b, která řeší již zmíněný případ neřízeného odtoku nádržemi, všechny ostatní řeší vodohospodářskou soustavou neovlivněný režim. Při analýze funkce kaskády je třeba zdůraznit, že je založena na výsledcích numerické simulace, tedy na modelovaných hodnotách. Poznamenejme rovněž, že spolehlivost modelu byla hodnocena na základě bilančních kritérií, z nich pouze některá byla uvedena v předchozím odstavci a vykazují dostatečnou přesnost (test vodní bilance je součástí výstupů modelu, prováděné systematicky ve všech příčných profilech toku, chyba nepřesáhla 7% v objemu).

Dalším kritériem přesnosti modelu je porovnání kulminačních hodnot průtoků; v tomto případě je patrné, že model (varianta 2b, zeleně vyznačena) nadhodnocuje kulminační průtok o $580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy cca o 10%. S touto skutečností je třeba při hodnocení vlivu vltavské kaskády počítat.

Z tabulky je patrné, že nejnižší transformační účinek pravděpodobně díky chybě této verze modelu vykázal výpočet ve variantě Var. 2a (zvýšení kulminace o $674 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Positivní účinek naopak vykazuje varianta Var. 4b. Ukázalo se, že model oproti skutečnosti průběh vlny urychluje a zvětšuje kulminační průtok. Jak již však bylo zdůrazněno, nelze z těchto údajů dělat jednoznačné závěry.

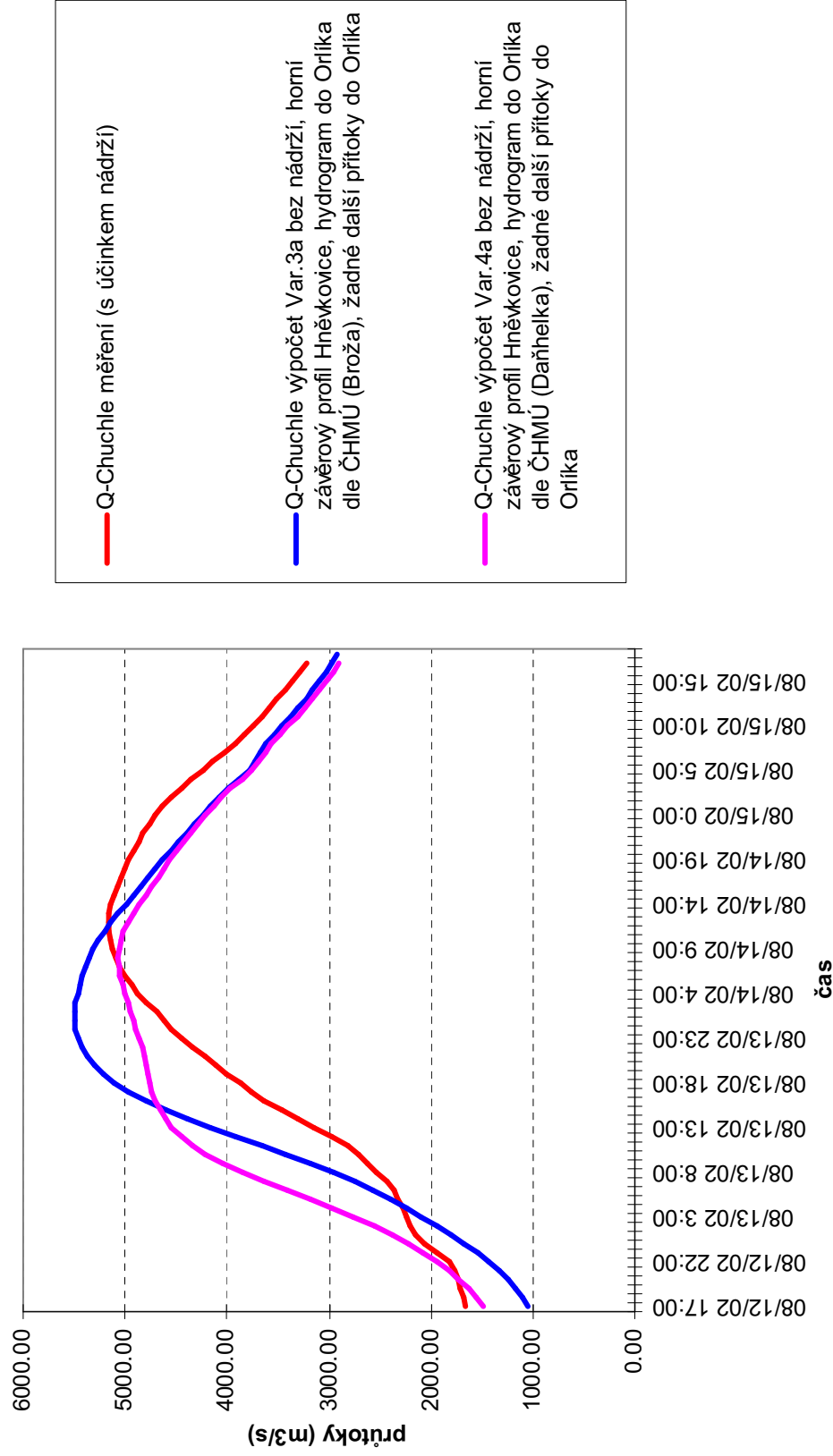
Detailní průběh měřených průtoků a hladin v období kulminace v porovnání s výpočtem bez uvažování nádrží v období 12. srpna – 15. srpna 2002 ukazují grafy na Obr. 3—62.a Obr. 3—63. Výpočet Var. 3a udává kulminaci bez vlivu nádrží o cca $338 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ menší a o 11 hodin dřívější než byla reálně pozorovaná v srpnu 2002 – (pozn. Připomínáme, že kalibrace prokázala, že z obrázku Obr. 3—68 vyplývá důležitá skutečnost, že modelovaný režim manipulací umožnil snížení pouze první (nižší) vlny 8. srpna 2002, účinek na katastrofální vlnu 14. srpna je zanedbatelný).

Staničení modelu (km)	Popis profilu	Qmax srpen 2002 (m3.-1)	datum hod.	Postupivost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace měřená datum hod.	Postupivost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 2a datum hod.	Postupivost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 2b datum hod.	Postupivost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 3b datum hod.	Postupivost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 4b datum hod.
240.65	Č.Budějovice	1108	13/8/02 16:00	0	13/8/02 16:00	0	13/8/02 16:00	0	13/8/02 16:00	0	13/8/02 16:00	0	13/8/02 16:00
224.9	mezipovodí Hněvkovice	634.5											
213.313	Hněvkovice	1175	13/8/02 19:00	3/0	13/8/02 19:00	10/0	13/8/02 02:00	10/0	13/8/02 02:00	0/0	13/8/02 02:00	10/0	13/8/02 02:00
209.495	Bechyně (Lužnice)	632	16/8/02 10:00										
172.72	Písek (Otava)	900	13/8/02 13:00										
170.32	Dolní Ostrovec	214	13/8/02 10:00										
167.38	Varvažov	175	13/8/02 12:00										
163.897	mezipovodí Orlík	2192	13/8/02 17:00										
143.6	Orlík (přítok do nádrže ČHMÚ)	3920	13/8/02 11:00		13/8/02 11:00								
143.6	Orlík (odtok z nádrže)	3100	13/8/02 11:00	-	13/8/02 11:00	16	13/8/02 18:00	16	13/8/02 18:00	13	13/8/02 15:00	15	13/8/02 17:00
135.6	Kamýk	3100											
129.58	Brzina	44.6	12/8/02 15:00										
105.814	mezipovodí Slapy	113	12/8/02 8:00										
105.22	Mastník	70	13/8/02 14:00										
91.794	Slapy	2000											
83.594	Štěchovice	2000	13/8/02 16:00										
82.2	Kocába (přítok)	78	13/8/02 17:00										
78.36	Nespeky (Sázava)	376	15/8/02										

Staničení modelu (km)	Popis profilu	Qmax srpen 2002 (m3.- datum 1) hod.	Postupnost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace měřená datum hod.	Postupnost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 2a datum hod.	Postupnost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 2b datum hod.	Postupnost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 3b datum hod.	Postupnost z Č.B./Hněv (hod)	Kulminace vypočtená Var. 4b datum hod.
75.19	mezipovodí Vrané	125 13/8/02 13:00 10:00										
72.092	Vrané n. V.	3000 14/8/02 8:00										
65.694	Zbraslav starý vodočet	3335 14/8/02 6:00		14/8/02 18:00	20	14/8/02 14:00	15	14/8/02 09:00	15	13/8/02 20:00	17	14/8/02 00:00
63.154	Dobřichovice (Berounka)	1890 14/8/02 12:00										
62.694	Zbraslav/Modřany	3335 14/8/02 12:00		14/8/02 12:00	20	14/8/02 14:00	15	14/8/02 09:00	15	13/8/02 20:00	18	14/8/02 02:00
60.694	Chuchle	5160 14/8/02 12:00										

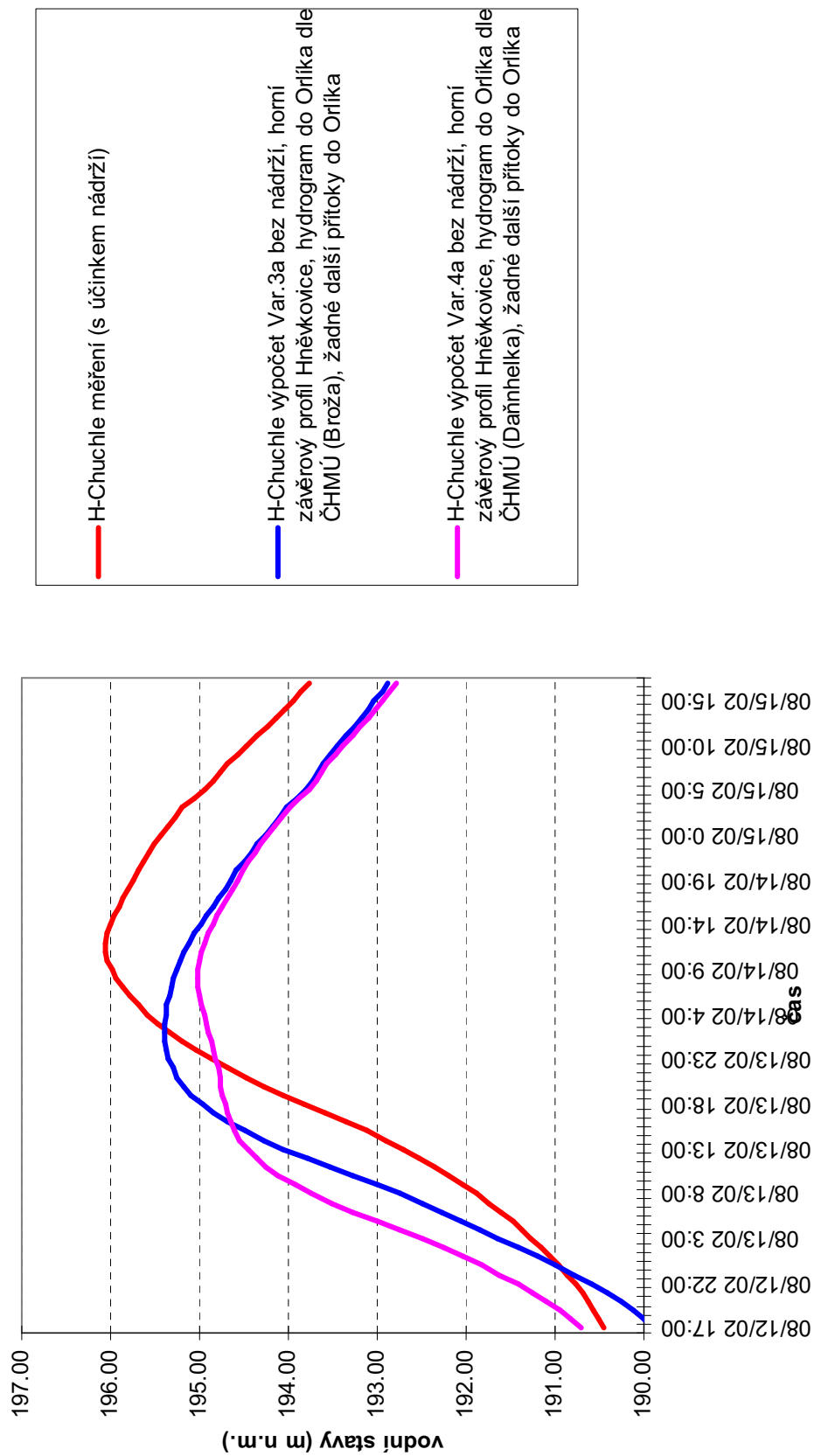
Tab. 3.15 - Přehled měrných a hrázových profilů modelu, bočních přítoků a přítoků z mezipovodí nádrží.

Chuchle Km 58.700, povodeň srpen 2002
měření a vypočtené neovlivněné průtoky v období kulminace
Varianty 3 a 4

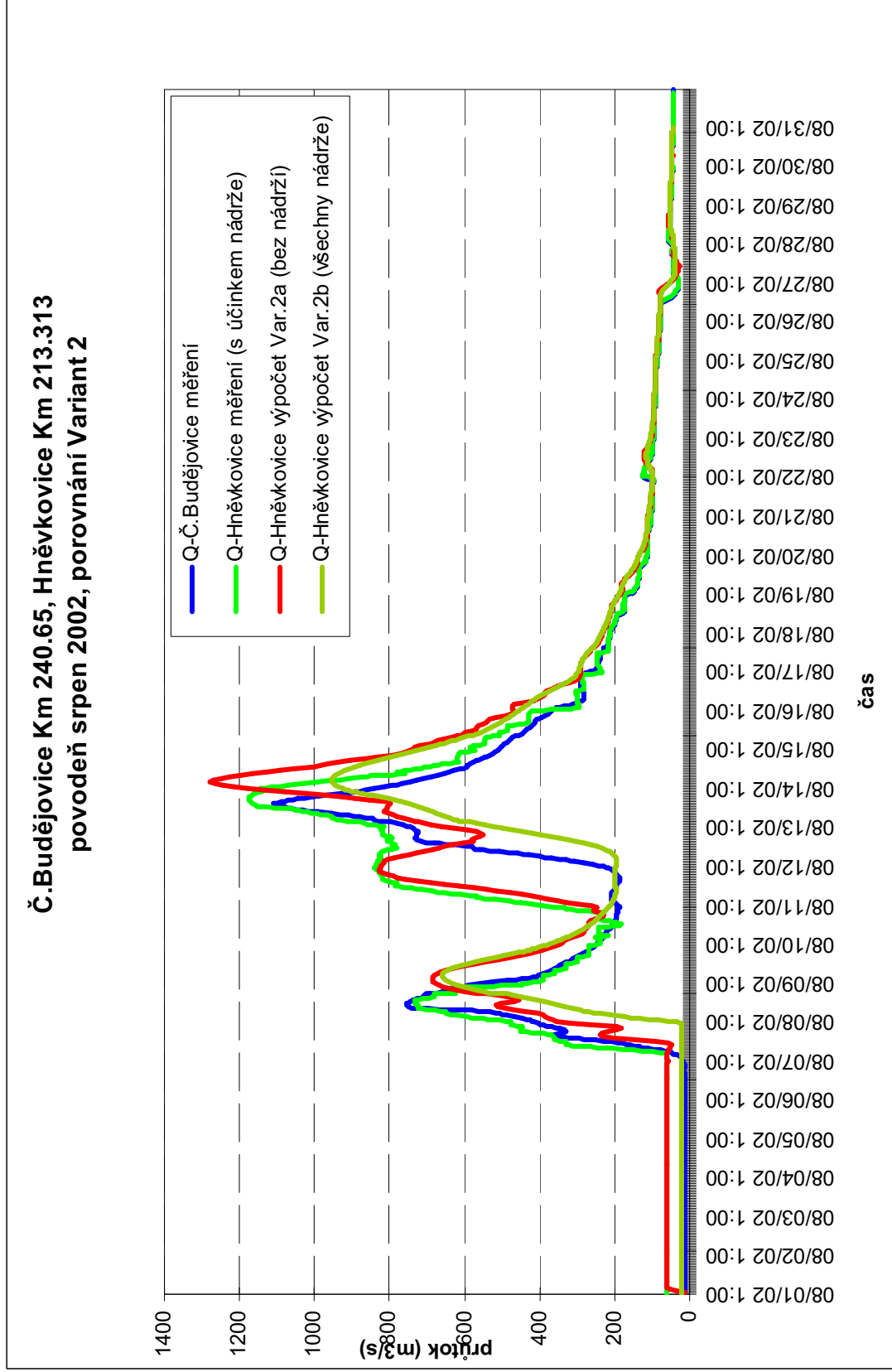


Obr. 3-62 - Chuchle Km 58.700, povodeň srpen 2002, měření a vypočtené neovlivněné průtoky v období kulminace Varianty 3 a 4

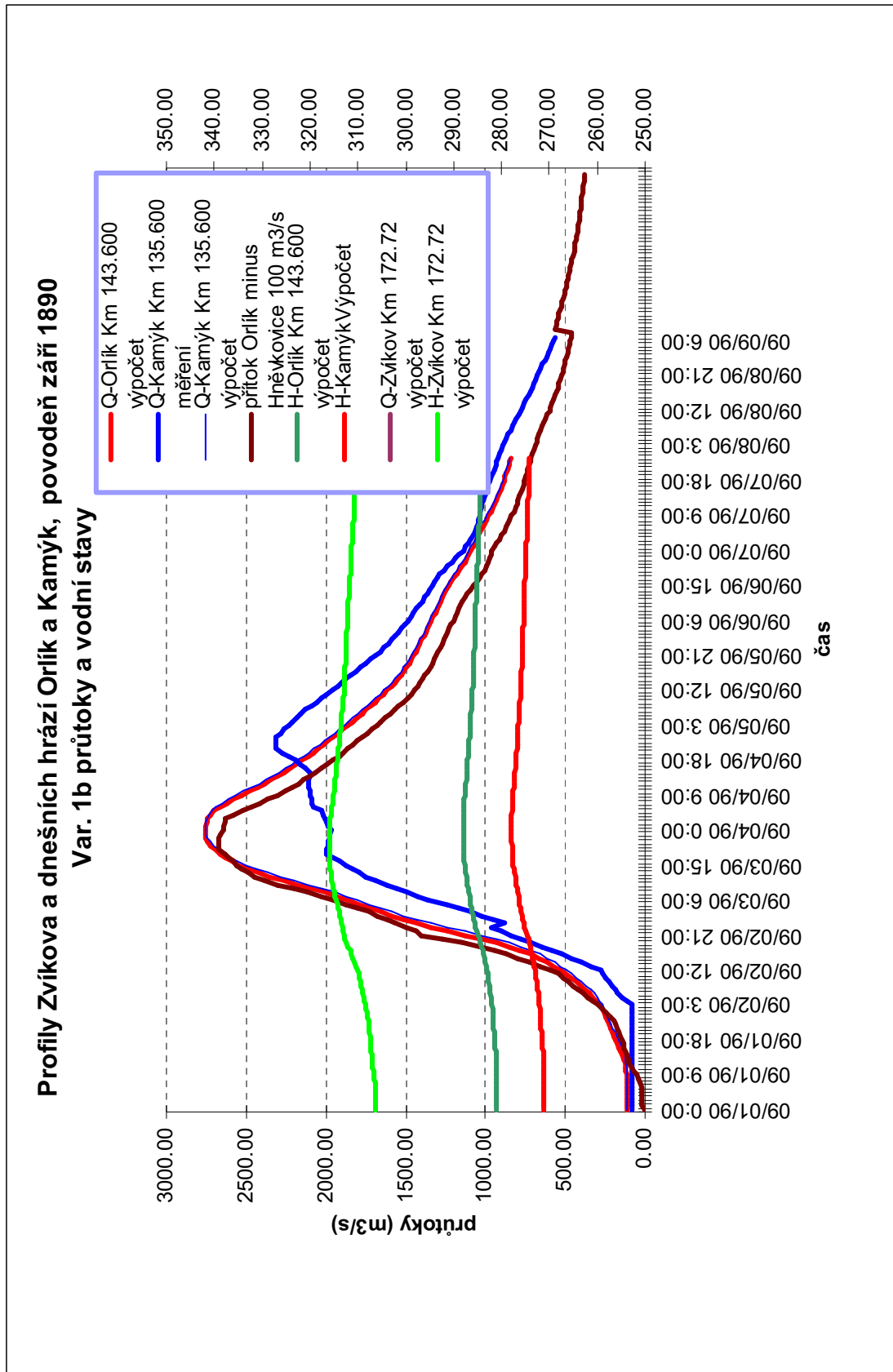
Chuchle Km 58.700, povodeň srpen 2002 měření a vypočtené neovlivněné vodní stavy v období kulminace Varianty 3 a 4



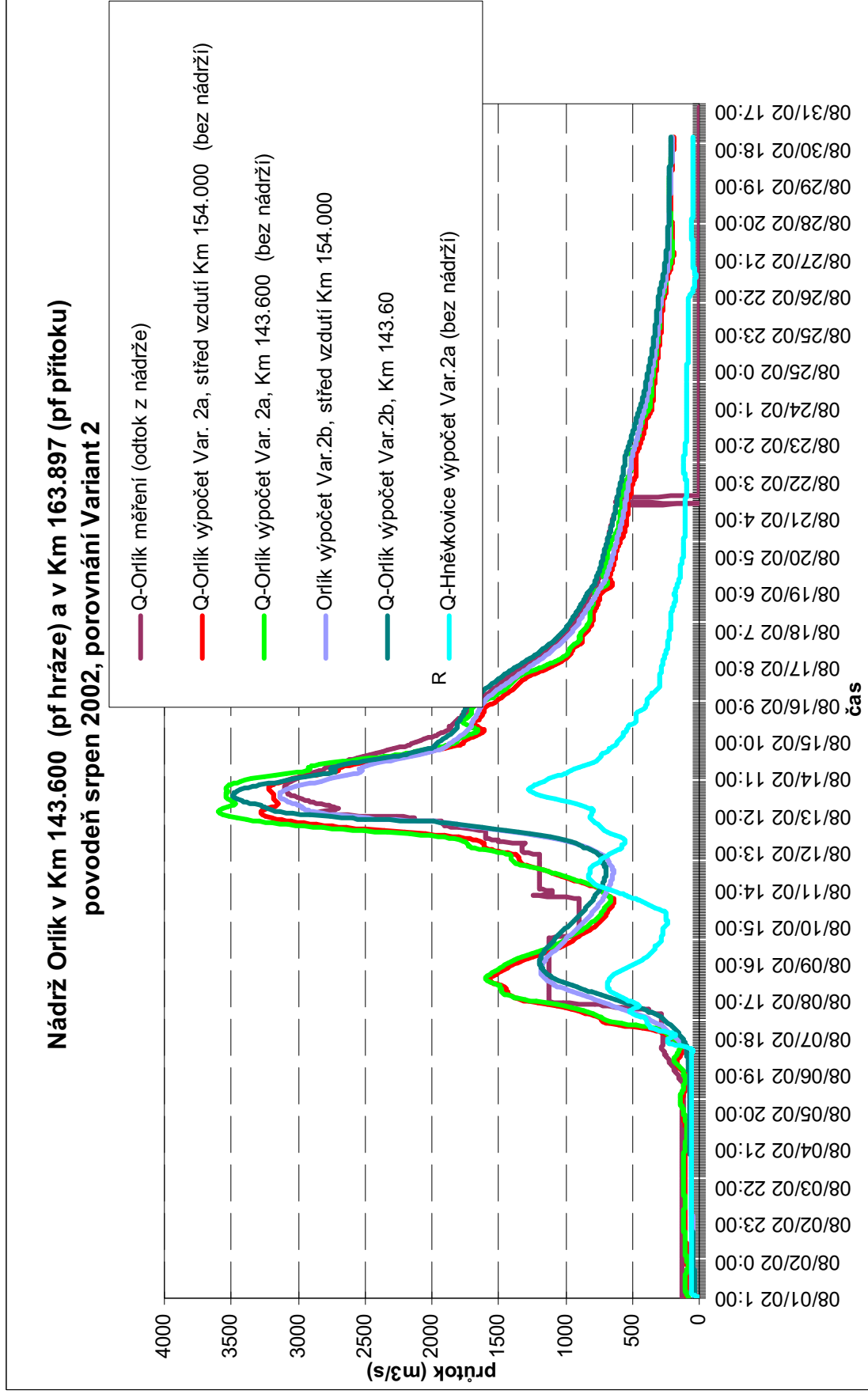
Obr. 3-63 - Chuchle Km 58.700, povodeň srpen 2002, měření a vypočtené neovlivněné vodní stavy v období kulminace Varianty 3 a 4



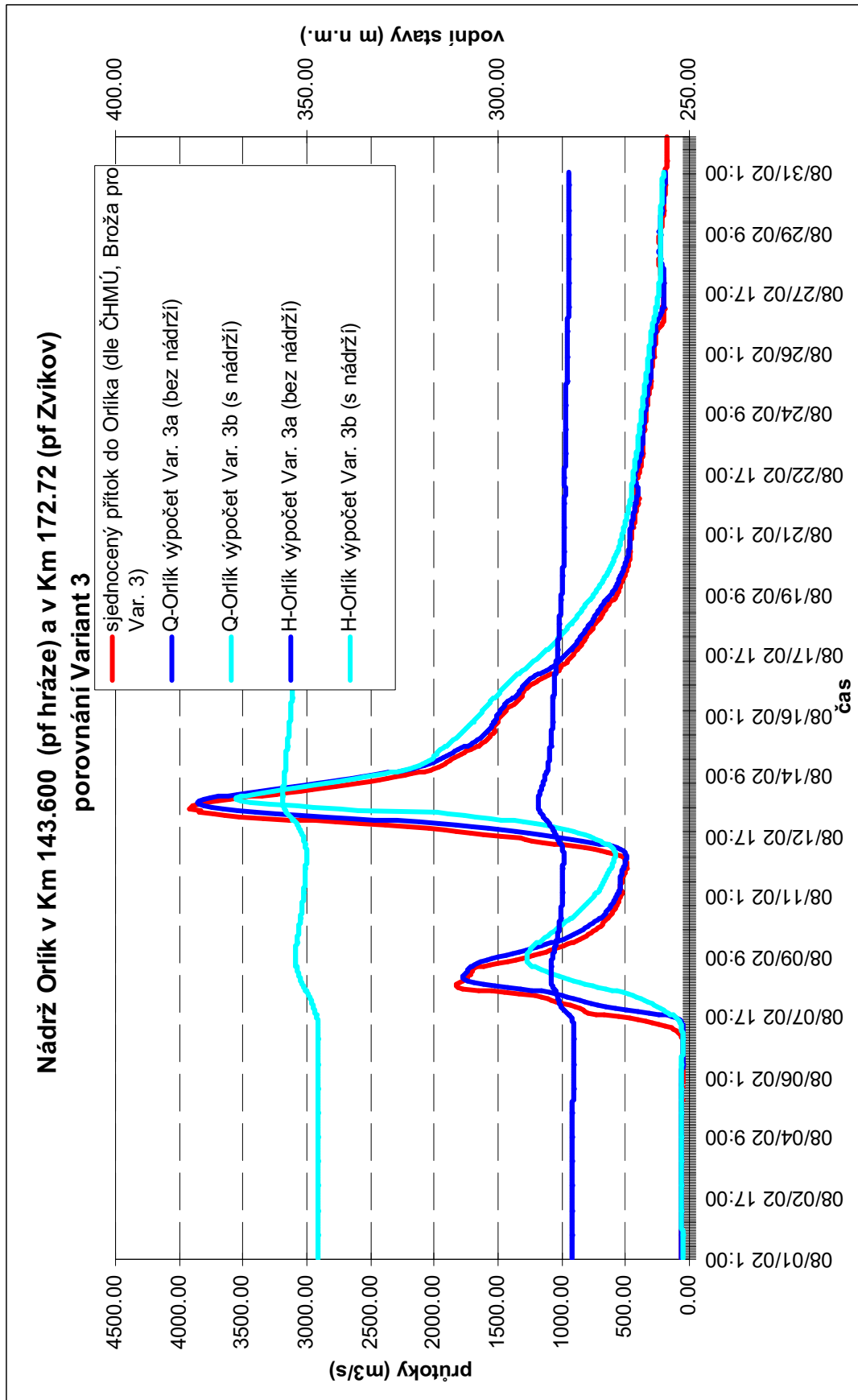
Obr. 3 – 64 - Profily České Budějovice, Km 240.605 a dnešní hráz Hněvkovice, Km 213.313, povodeň srpen 2002, Var.2, průtoky



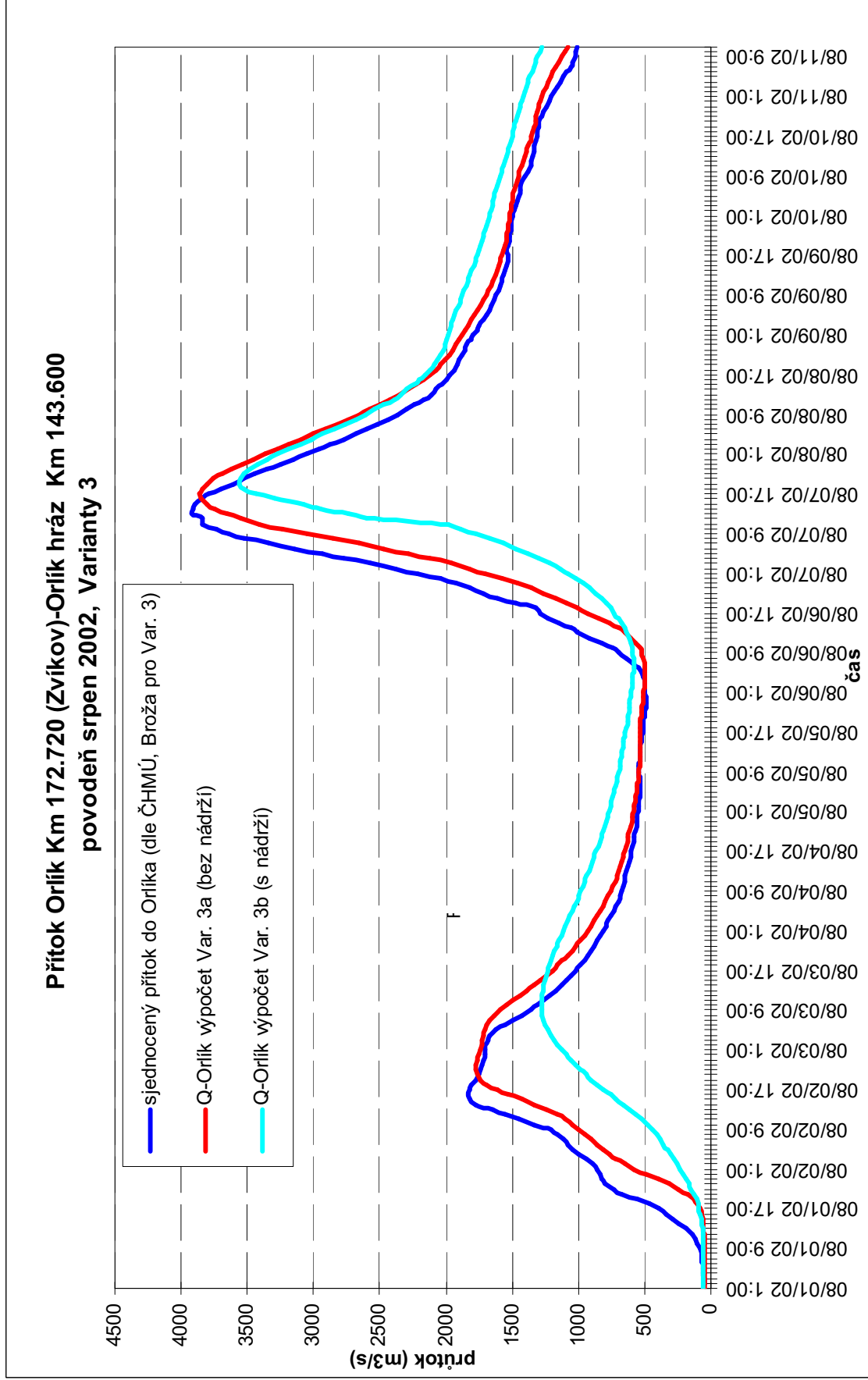
Obr. 3-65 - Profily Zvíkova a dnešních hrází Orlík a Kamýk, povodeň září 1890, Var. 1b průtoky a vodní stavy



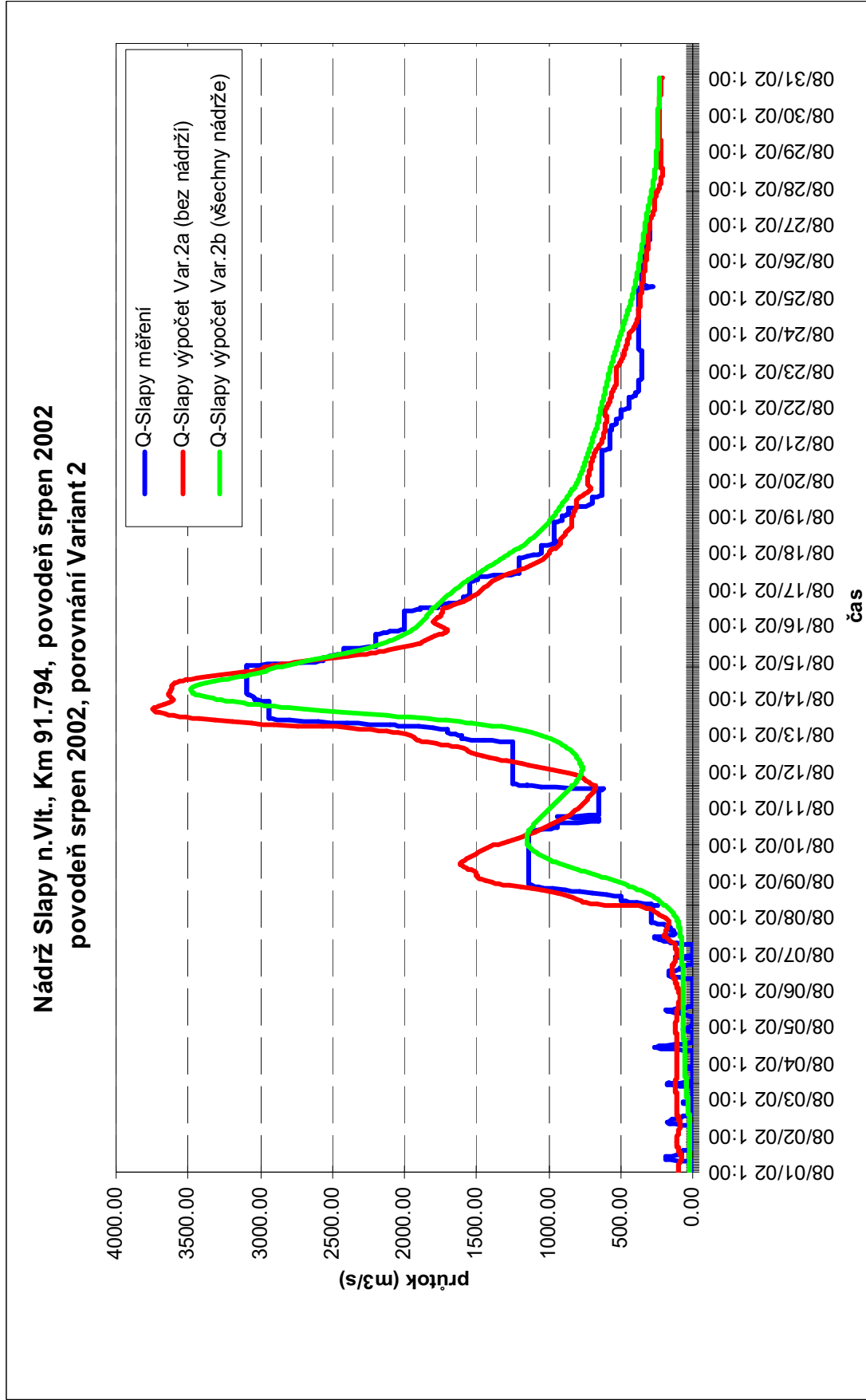
Obr. 3 –66 - Nádrž Orlík v Km 143.600 (pf hráze) a v Km 163.897 (pf přítoku), povodeň srpen 2002, porovnání Variant 2



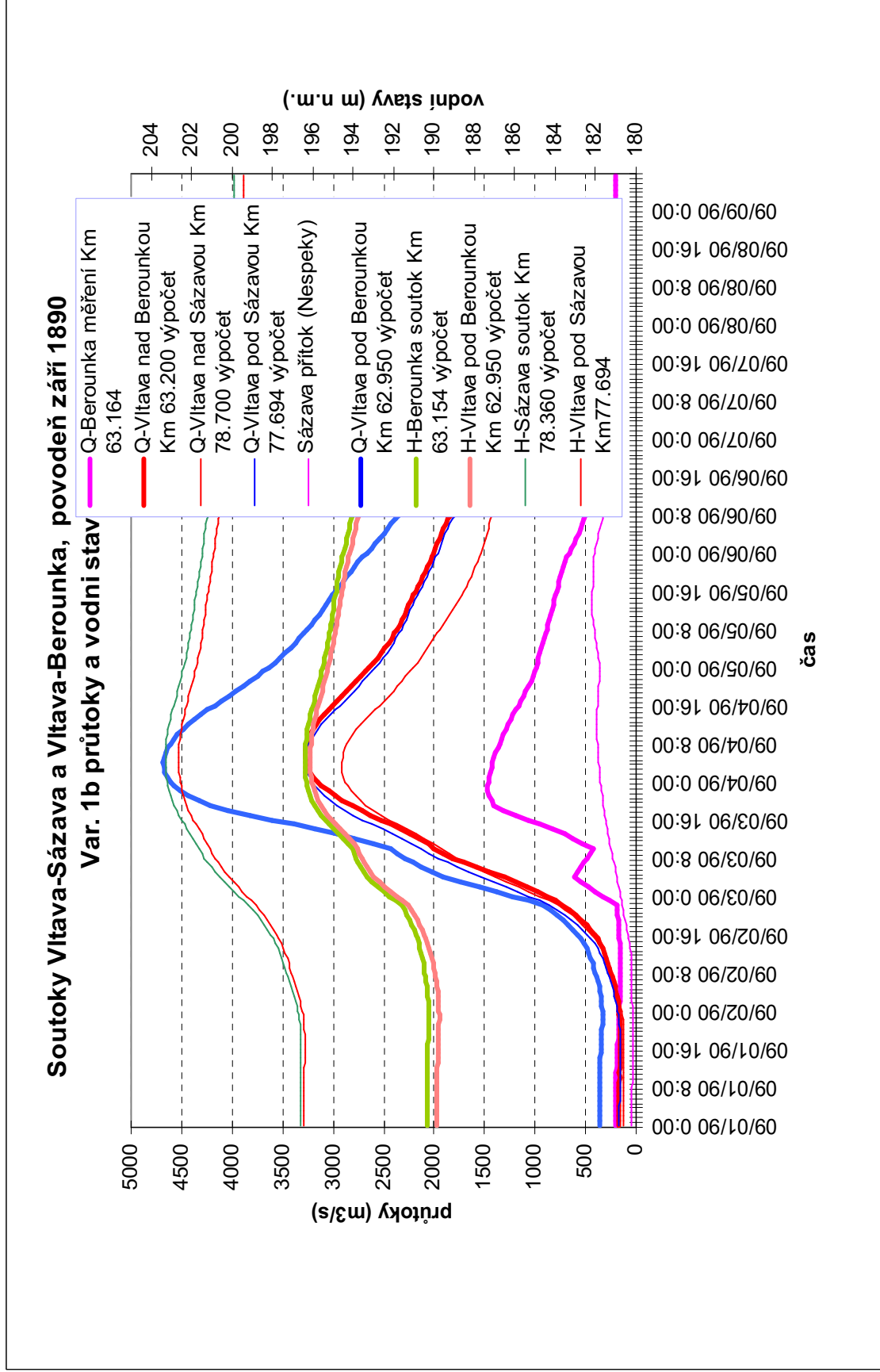
Obr.3-67 - Nádrž Orlík v Km 143.600 (pf hráze) a v Km 172.72 (pf Zvíkov), porovnání Variant 3



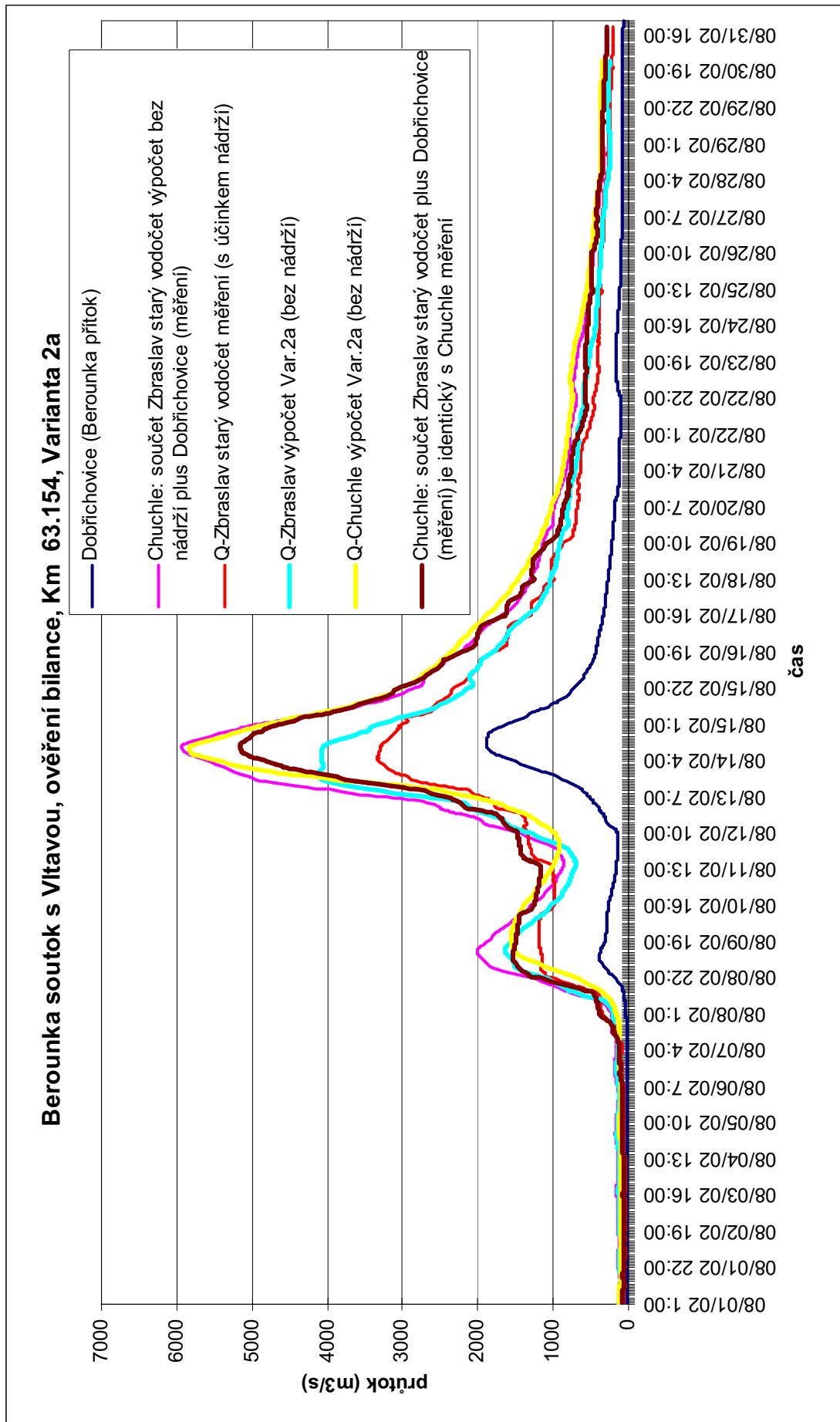
Obr. 3-68 - Analýza transformační funkce nádrže a původního koryta v úseku Hněvkovice – Orlík hráz



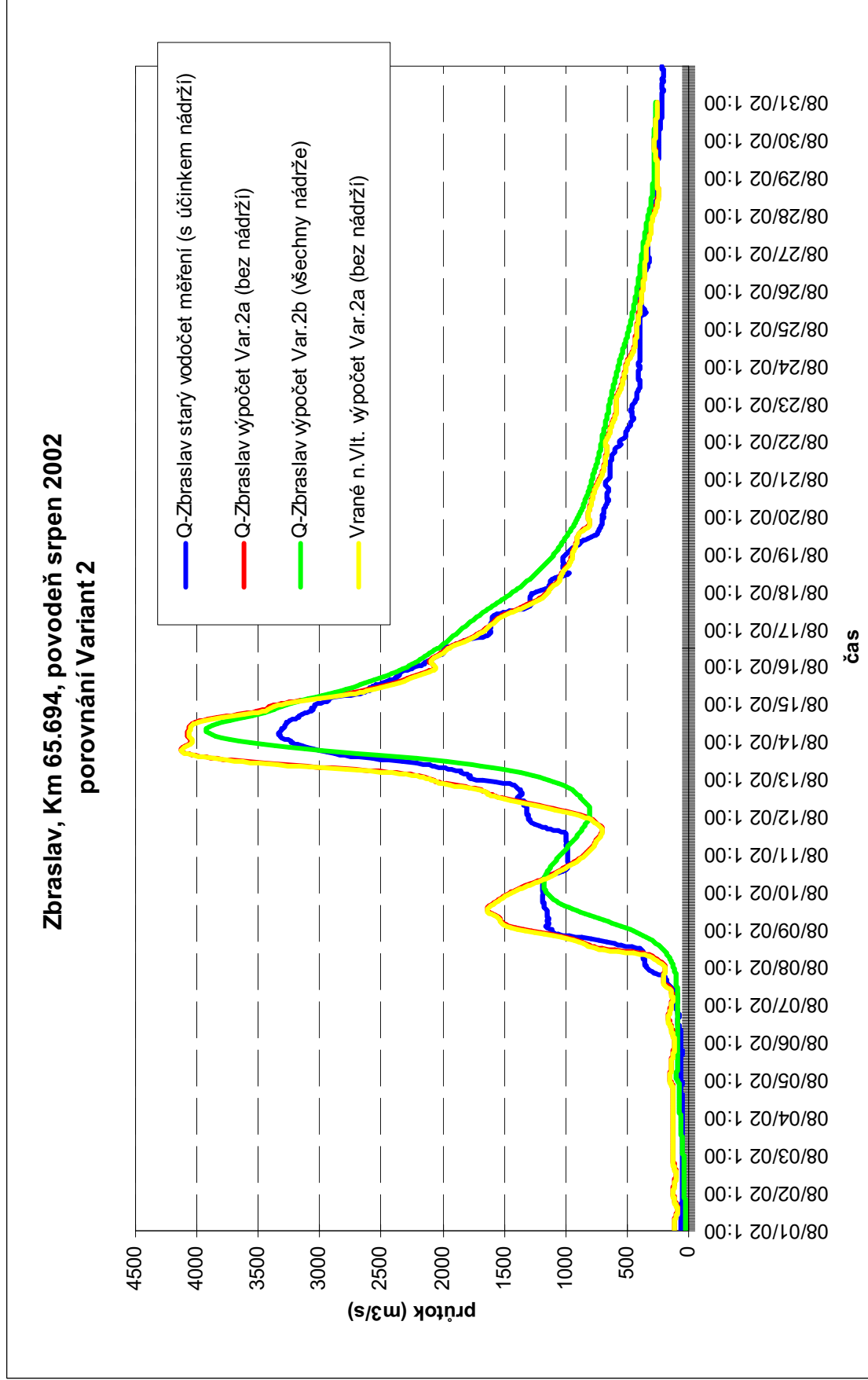
Obr. 3-69 - Nádrž Slapy n.Vlt., Km 91.794, povodeň srpen 2002, porovnání Variant 2



Obr. 3-70 - Soutoky Vltava-Sázava a Vltava-Berounka, povodeň září 1890, Var. 1b průtoky a vodní stavy

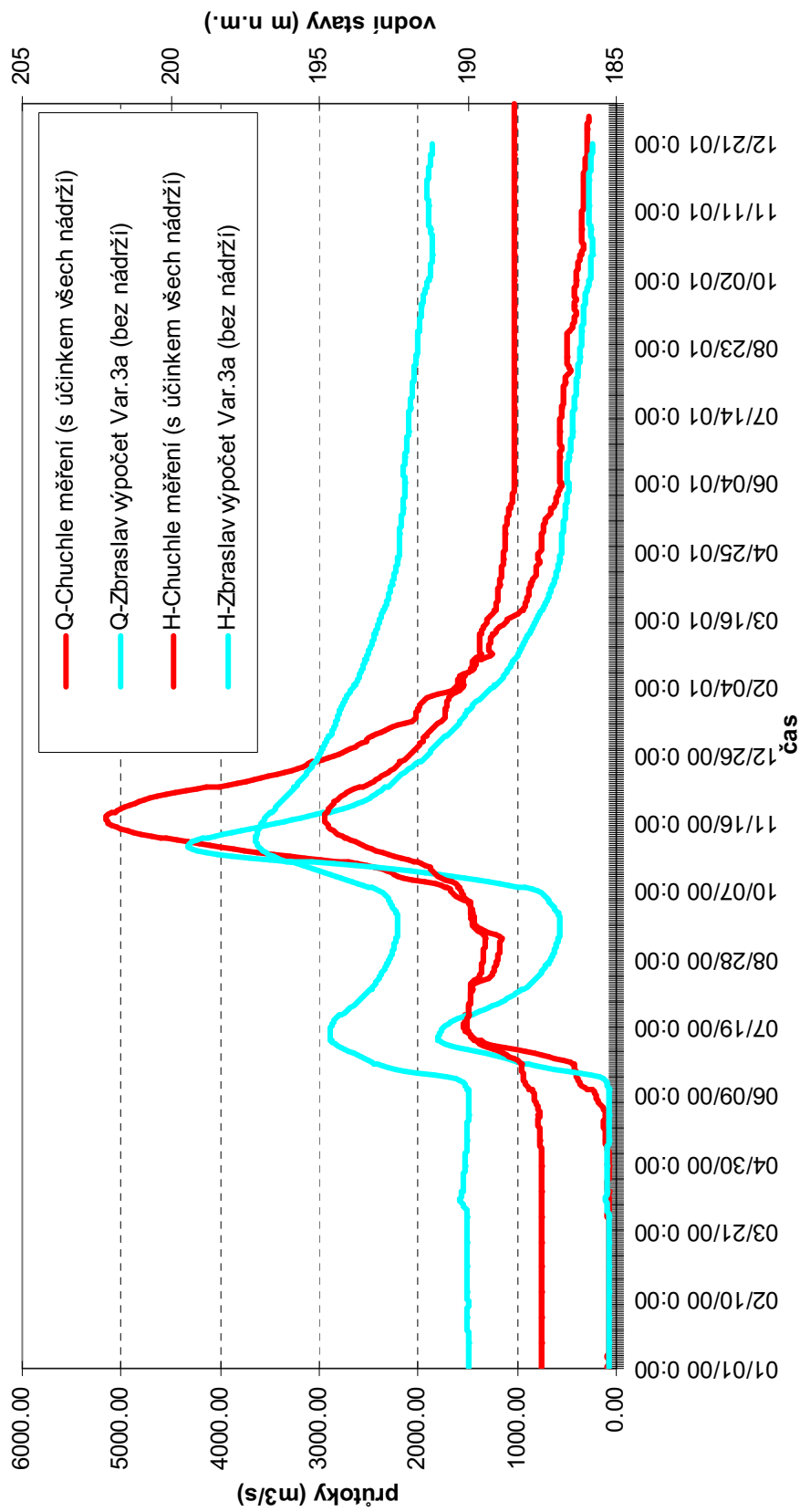


Obr.3-71 - Berounka, soutok s Vltavou, ověření vodní bilance, Km 63.154 Varianta 2a



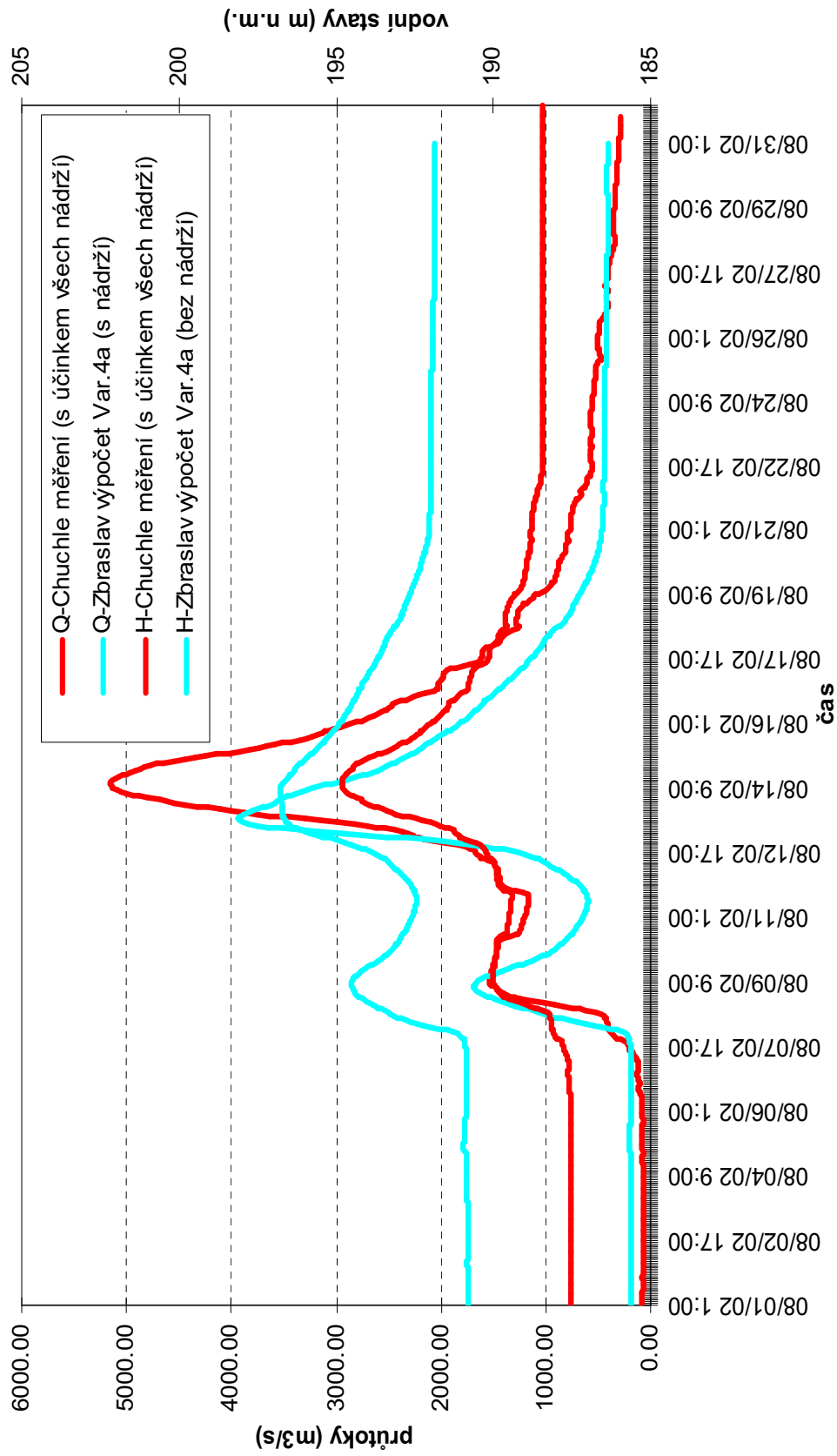
Obr.3-72 - Zbraslav, Km 65.694, povodeň srpen 2002, porovnání Variant 2

Zbraslav Km 65.694, povodeň srpen 2002 průtoky a vodní stavy, výpočet Varianty 3a

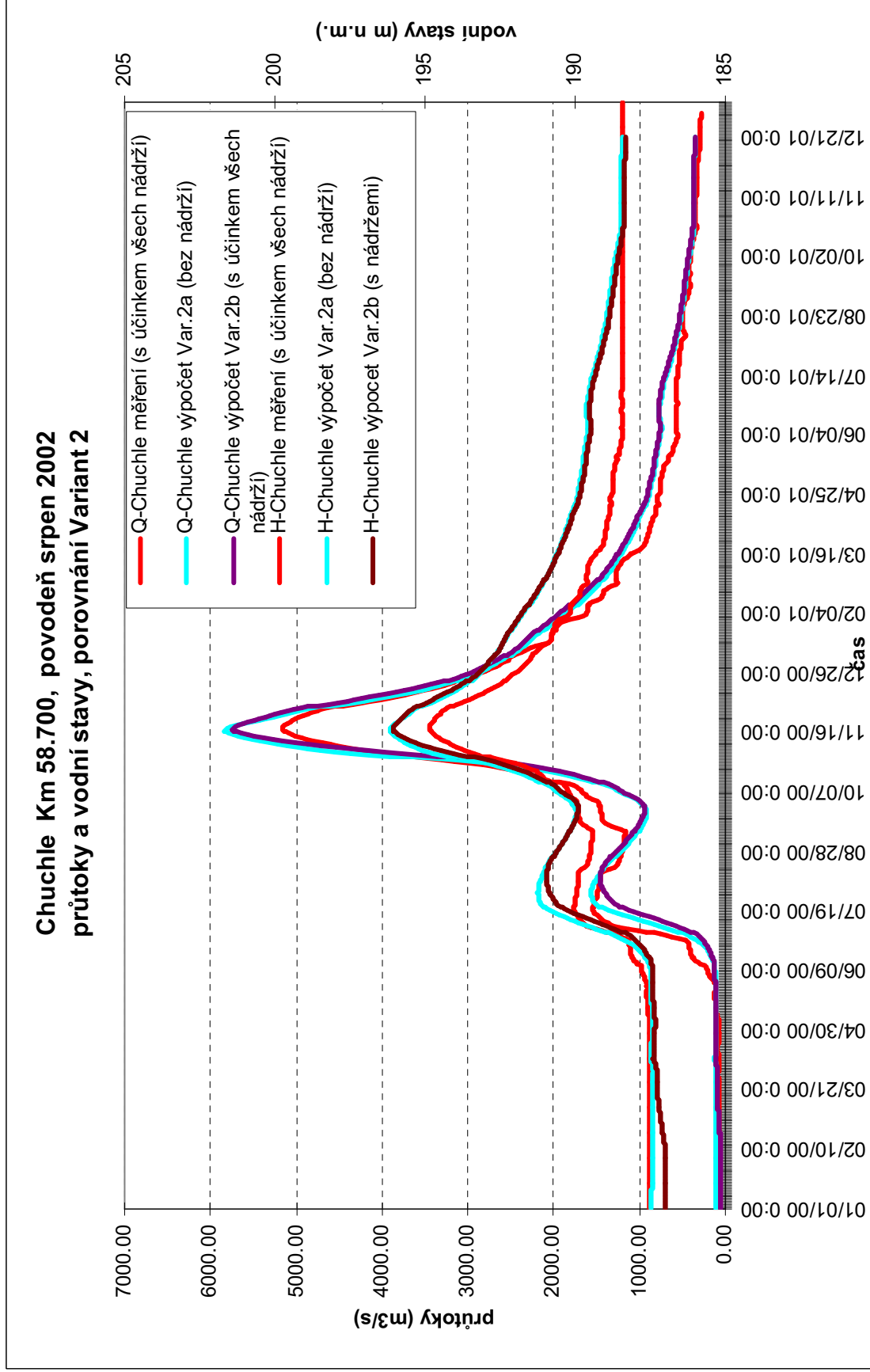


Obr.3-73- Zbraslav, Km 65.694, povodeň srpen 2002, průtoky a vodní stavy, výpočet Varianty 3a

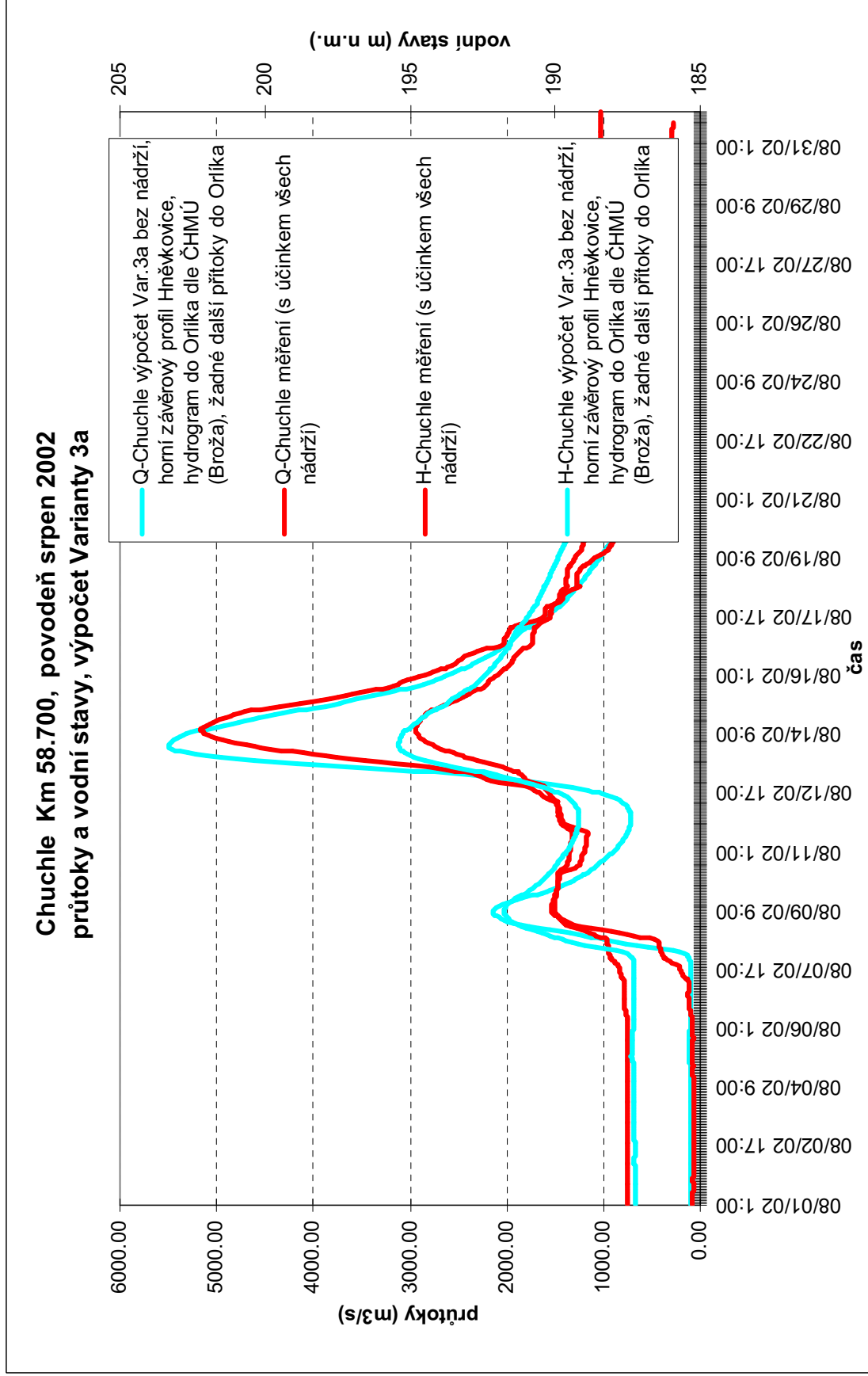
**Zbraslav Km 65.694, povodeň srpen 2002
průtoky a vodní stavy, výpočet Varianty 4a**



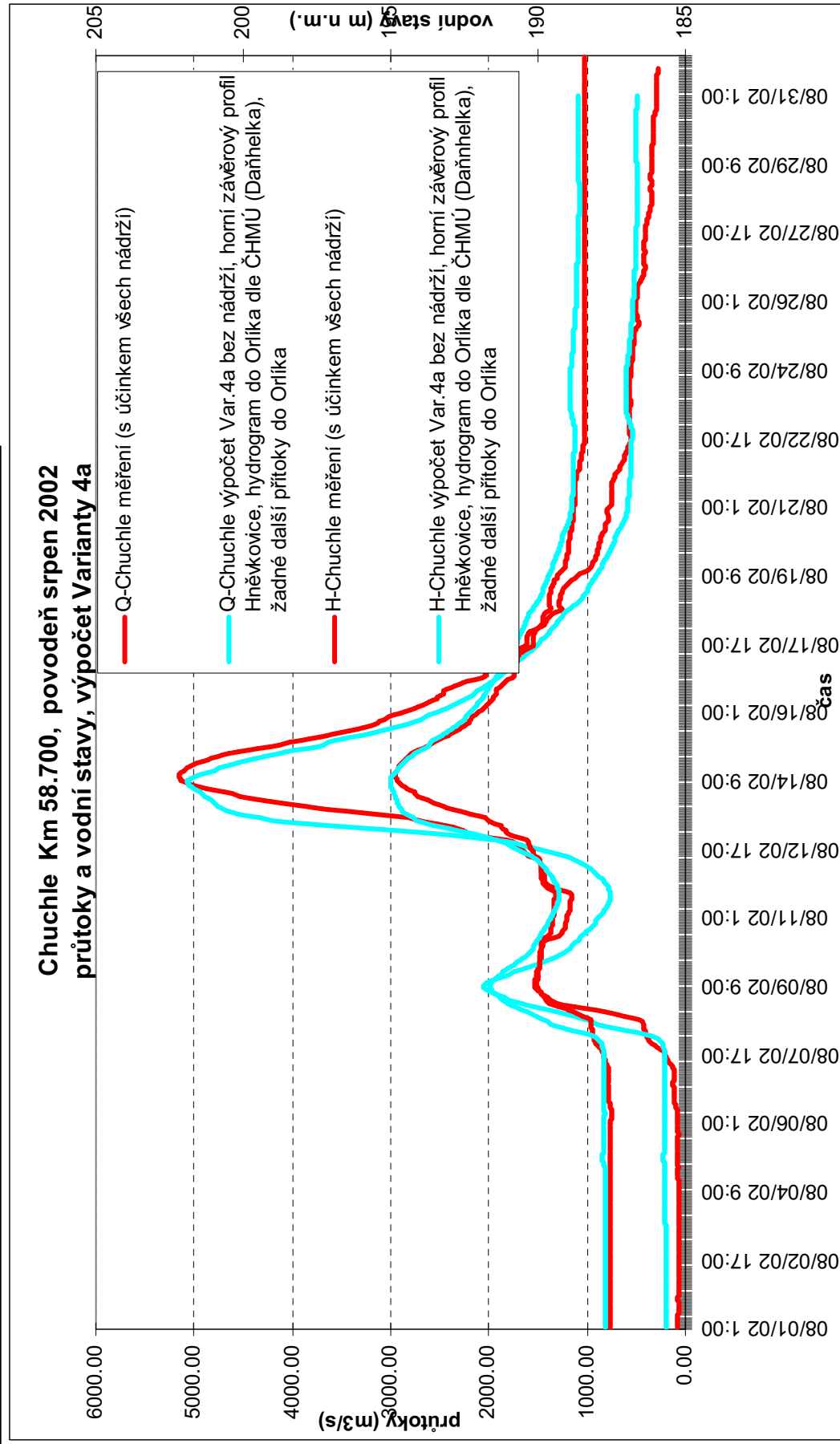
Obr.3 –74 - Zbraslav, Km 65.694, povodeň srpen 2002, průtoky a vodní stavy, výpočet Varianty 4a



Obr. 3-75 - Chuchle, Km 58.700, povodeň srpen 2002, průtoky a vodní stavy, porovnání Variant 2



Obr.3-76 - Chuchle, Km 58.700, povodeň srpen 2002, průtoky a vodní stavy, výpočet Varianty 3a



Obr. 3-77- Chuchle, Km 58.700, povodeň srpen 2002, průtoky a vodní stavy, výpočet Varianty 4a

