

Bečva, vodní dílo Skalička

Technicko - ekonomická studie

C. Matematické simulace

Objednatel : Povodí Moravy, s.p.

Objednatel:



Povodí Moravy, státní podnik

Dřevařská 11
602 02 Brno

Zhotovitel TES:



Valbek, spol. s r.o.

Vaňurova 505/17
460 02 Liberec 3

HIP:

Ing. Šárka Novotná

C. MATEMATICKÉ SIMULACE

OBSAH :

1	ÚVODNÍ ÚDAJE	3
2	TRANSFORMACE POVODŇOVÝCH VLN	4
2.1	Scénář manipulací a modelové situace	4
2.2	Výsledky transformací var. 1	7
2.3	Výsledky transformací var. 2	17
2.4	Zhodnocení výsledků	20
3	ŘEŠENÍ ZÁSOBNÍ FUNKCE	21
3.1	Princip výpočtu	21
3.2	Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 100,00 %	24
3.3	Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 99,99 %	26
3.4	Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 99,9 %	28
3.5	Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 99,0 %	30
3.6	Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 97,0 %	32
3.7	Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 95,0 %	34
3.8	Zhodnocení získaných výsledků	36
4	ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ	39

1 ÚVODNÍ ÚDAJE

Matematické simulace se skládají ze dvou hlavních částí :

- řešení ochranné funkce nádrže, tj. zadržování resp. transformace povodňových vln
- řešení zásobní funkce nádrže, tj. udržování zásoby vody a nadlepšování průtoků v suchých obdobích.

V uplynulém období cca 15 let byla shromážděna řada údajů o povodních na Bečvě ve formě časového průběhu povodňových průtoků, tzv. hydrogramů. Přehled všech dostupných hydrogramů je uveden níže :

Povodňová vlna	Kulminace	Objem
-	m^3/s	$mil. m^3$
TPV 1	219	45,5
TPV 2	317	64,4
TPV 5	452	86,6
TPV 10	555	105,6
TPV 20	659	126,6
TPV 50	799	155,3
TPV 100	908	180,7
TPV 1 000	1290	267,4
TPV 100 letní, ppW 0,3	890	129,2
TPV 100 letní, ppW 0,5	890	106,9
TPV 100 zimní, ppW 0,3	520	143,6
TPV 100 zimní, ppW 0,5	520	117,7
TPV 1 000 letní, ppW 0,3	1 290	190,4
TPV 1 000 letní, ppW 0,5	1 290	154,9
TPV 1 000 zimní, ppW 0,3	730	200,4
TPV 1 000 zimní, ppW 0,5	730	164,1
TPV 10 000 letní, ppW 0,3	1 720	251,1
TPV 10 000 letní, ppW 0,5	1 720	204,5
TPV 10 000 zimní, ppW 0,3	960	264,8
TPV 10 000 zimní, ppW 0,5	960	215,1
SPV 1997	950	244

Pozn. : TPV - teoretická povodňová vlna, SPV - skutečná povodňová vlna

2 TRANSFORMACE POVODŇOVÝCH VLN

Požadavky na ochrannou funkci nádrže jsou nastaveny tak, že povodňové vlny do velikosti PV20 se nádrží propouštějí, protože pro koryto Bečvy pod nádrží až do Přerova představují neškodný průtok, respektive průtok, proti kterému jsou případně ohrožené lokality chráněny za pomoci místních protipovodňových úprav a opatření. Proto se výpočty transformací provádějí na povodňových vlnách PV50 a větších. Soupis všech dostupných hydrogramů je obsažen v předchozí kapitole.

2.1 Scénář manipulací a modelové situace

Použité scénáře jsou obdobné u obou sledovaných variant. Ve scénářích se pracuje se dvěma proměnnými parametry transformace, kterými jsou :

- neškodný odtok
- výchozí hladina transformace.

Neškodný odtok byl v předchozích dokumentacích většinou uváděn jako $Q_{20} = 659 \text{ m}^3/\text{s}$. Teprve ve studii odtokových poměrů v r. 2011 byly uvažovány variantně dvě velikosti neškodného průtoku, a to $650 \text{ m}^3/\text{s}$ resp. $700 \text{ m}^3/\text{s}$ s tím, že v obou případech je reálné navrhnout níže po toku příslušná ochranná opatření, která zajistí neškodné převedení příslušného průtoku. U vyššího odtoku $700 \text{ m}^3/\text{s}$ je to ovšem na řadě míst za cenu menší bezpečnostní rezervy. Pokud však řešíme variantu nádrže s podstatně zmenšeným retenčním objemem, je určité na místě využít této možné rezervy, která znamená úsporu potřebného objemu při tlumení velkých povodní v rozmezí 5 - 7 mil. m^3 .

Výchozí hladina transformace se za normálních okolností stanoví v souladu s [53] na maximální hladině zásobního prostoru, zde konkrétně na kótě 261,0 m n.m. Důvodem k tomu je jistě rozumný argument, že se kvůli bezpečnosti nemá uvažovat s předpouštěním ze zásobního prostoru. Tento argument má svou váhu ve velké většině řešených případů, a to hlavně pro svoji tzv. „blbuvzdornost“, kdy se vinou nejrůznějších lidských selhání potřebné předpouštění nakonec nemusí podařit. Toto vysoké zabezpečení má ovšem také svoji cenu, a to ve formě zvýšených nákladů na větší kapacitu výpustných objektů a větší kubaturu přehradních hrází. V daném případě je tento vliv extrémní, protože zemní hráz má délku 6 - 7 km a každý centimetr jejího zvýšení má cenu 3 - 4 mil. Kč. Navíc velká hydraulická kapacita funkčního objektu a relativně malý objem nádrže umožňují provést její rozumné předpuštění v řádu jednotlivých hodin. Např. snížení hladiny z úrovně Mz na úroveň Mz - 1 m je možné provést při vypouštění (naprosto neškodného) průtoku Q_1 až $Q_2 = 200 - 300 \text{ m}^3/\text{s}$ za 5 hodin. V neposlední řadě se v současné době značně zvyšuje spolehlivost hydrologických předpovědí a správce povodí disponuje robustním simulačním srážkoodtokovým modelem, který mu umožňuje v reálném čase posoudit různé možnosti vývoje aktuální situace.

Na druhé straně pro zásobní funkci nádrže to nepředstavuje absolutně žádné riziko ztráty zásoby vody na suché období. Lze předpokládat, že rozhodnutí o předpuštění bude provedeno v období dlouhotrvajících nebo intenzivních srážek s reálnou hrozbou příchodu větší než stoleté povodně. I pokud by tato předpověď fatálně selhala, nelze si představit, že by v takové situaci nepřišla vůbec žádná povodeň, ale s vysokou pravděpodobností by přišla jen povodeň s menší dobou opakování, např. 50 let. Taková povodňová vlna potom velmi rychle doplní předvypuštěný objem o velikosti $4,4 \text{ mil. m}^3$, jak je možné zjistit na hydrogramu PV 50. Objem povodně nad průtokem $650 \text{ m}^3/\text{s}$ je přibližně $6,6 \text{ mil. m}^3$.

Zde je také vhodné poznamenat, že použití podmínek dle [53] není právně závazné. Norma může být skvělou pomůckou pro projektanty, kteří nejsou s navrhováním přehrad do hloubky obeznámeni a pomáhá jim v tom, aby neudělali nějakou fatální chybu. Její ustanovení musí pokrýt všechny možné eventuality tak, aby v desítkách technických podmínek pokud možno nezbyla nějaká neochráněná skulina. Ale právě tím není její bezpodmínečné dodržování zcela vhodné pro naprosto atypický případ nádrže, jakým je dané vodní dílo. Obecné formulování normových podmínek samozřejmě neumožňuje zohlednění jeho specifických vlastností, především obrovské kapacity výpustných zařízení srovnatelné s kulminačními průtoky povodňových vln a naopak maličkého zásobního objemu, který není problém v případě potřeby bleskově popustit a stejně rychle zase doplnit na maximální zásobu.

Všechny uvedené okolnosti vedly projektanta k tomu, v při výpočtu transformací se uvažuje i s možností výchozí hladiny na snížené úrovni $Mz - 1 \text{ m} = 260,0 \text{ m n.m.}$ Lze to chápat i jako svého druhu bonus, který je důsledkem vyčlenění zásobního objemu v nádrži. V případě suché nádrže by samozřejmě nic podobného nepřipadalo v úvahu. Z hlediska právní závaznosti je ovšem nutné dodržet podmínky převedení KPV podle normy [54], protože to je předepsáno vyhláškou ve Sbírce zákonů.

Předepsané manipulace jsou uvažovány ve scénářích následovně :

Varianta 1

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• mezní hladiny v nádrži | $Mz = 261,0 \text{ m n.m.}$
$Mr = 264,0 \text{ m n.m.}$ |
| <ul style="list-style-type: none">• počáteční hladina výpočtu• odtok sleduje přítok až do velikosti neškodného průtoku• dále se udržuje konstantní odtok• při dosažení hladiny $Mr - 0,5 \text{ m}$ na vzestupné větvi• při dosažení hladiny $Mr - 0,5 \text{ m}$ na sestupné větvi | Mz nebo $Mz - 1 \text{ m}$ podle případu
$660 - 700 \text{ m}^3/\text{s}$ podle případu
$Q_{neš} = 660 - 700 \text{ m}^3/\text{s}$
zvýšení odtoku na $0,75 Q_{kap}$
zvýšení odtoku na cca
$(0,75 Q_{kap} + Q_{neš}) / 2$
snížení odtoku na $Q_{neš}$
odtok sleduje přítok |
| <ul style="list-style-type: none">• při poklesu hladiny na $Mr - 0,5 \text{ m}$ a níže• při poklesu hladiny na Mz• konec transformace | |

Varianta 2

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• mezní hladiny v nádrži | $Mz = 261,0 \text{ m n.m.}$
$Mr = 265,5 \text{ m n.m.}$ |
| <ul style="list-style-type: none">• počáteční hladina výpočtu• odtok sleduje přítok až do velikosti neškodného průtoku• dále se udržuje konstantní odtok• při dosažení hladiny $Mr - 0,5 \text{ m}$ na vzestupné větvi• při dosažení hladiny $Mr - 0,5 \text{ m}$ na sestupné větvi | Mz
$660 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{neš} = 660 \text{ m}^3/\text{s}$
zvýšení odtoku na $0,75 Q_{kap}$
zvýšení odtoku na cca
$(0,75 Q_{kap} + Q_{neš}) / 2$
snížení odtoku na $Q_{neš}$
odtok sleduje přítok |
| <ul style="list-style-type: none">• při poklesu hladiny na $Mr - 0,5 \text{ m}$ a níže• při poklesu hladiny na Mz• konec transformace | |

Na základě výše definovaných předpokladů byly potom sestaveny scénáře transformací zvlášť pro každou ze dvou posuzovaných variant. Každý scénář obsahuje předepsané manipulace, počáteční a okrajové podmínky, které se během transformace uplatňují. Přehled použitých scénářů je obsažen v následujících seznamech :

Varianta 1 - menší nádrž s objemem 35,2 mil.m³

Označ.	Povodeň	Popis zadání
1 - 1	PV 50	Výchozí hladina Mz = 261,0 m n.m., neškodný odtok 660 m ³ /s
1 - 2	PV 100	Výchozí hladina Mz = 261,0 m n.m., neškodný odtok 660 m ³ /s
1 - 3	PV 100 _{L;0,3}	Výchozí hladina Mz = 261,0 m n.m., neškodný odtok 660 m ³ /s
1 - 4	PV 1 000	Výchozí hladina Mz = 261,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
1 - 5	PV 1 000	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
1 - 6	PV 1 000 _{L;0,3}	Výchozí hladina Mz = 261,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
1 - 7	PV 1997	Výchozí hladina Mz = 261,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
1 - 8	PV 1997	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
1 - 9	PV 10 000 _{L;0,5}	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
1 - 10	PV 10 000 _{Z;0,3}	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s

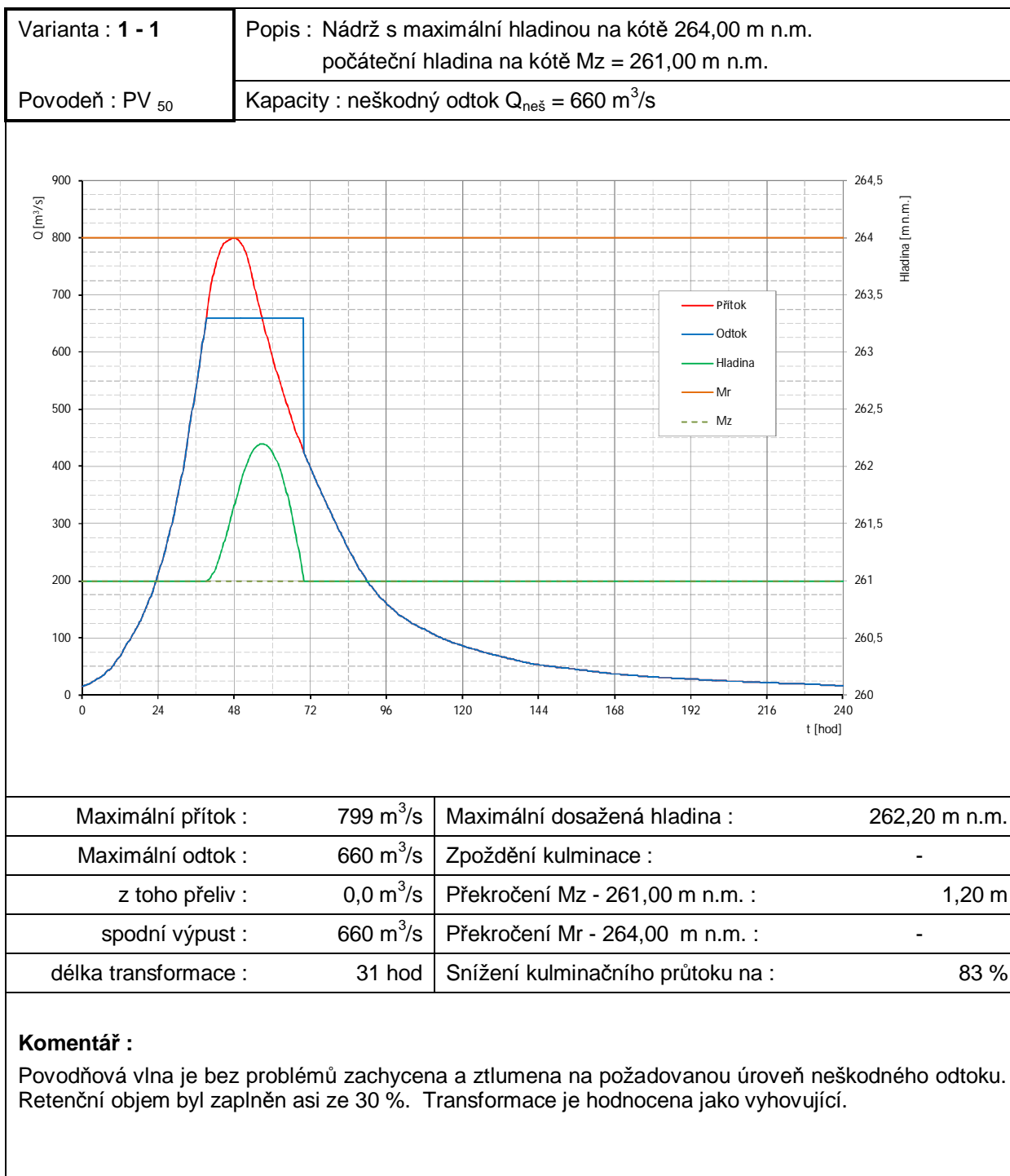
Varianta 2 - větší nádrž s objemem 45,5 mil.m³

Označ.	Povodeň	Popis
2 - 1	PV 1997	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 660 m ³ /s
2 - 2	PV 1 000	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s
2 - 3	PV 10 000 _{L;0,5}	Výchozí hladina Mz = 260,0 m n.m., neškodný odtok 700 m ³ /s

Ve var. 2 nejsou počítány transformace menších povodní než Q₁₀₀₀, protože z výsledků získaných ve var. 1 je zřejmé, že jejich průběh bude stejný nebo lepší, a tudíž se dosáhne vyhovujícího účinku nádrže.

Podrobné výsledky všech provedených simulací jsou prezentovány i s krátkým hodnotícím komentářem na následujících stranách.

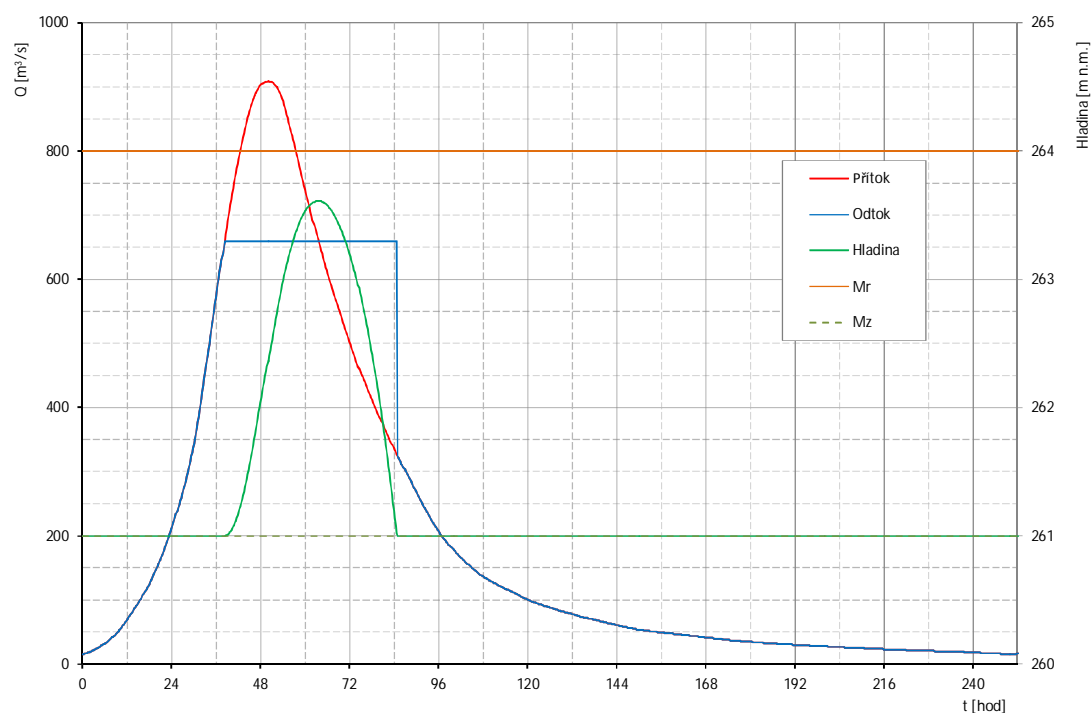
2.2 Výsledky transformací var. 1



Varianta : 1 - 2

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.
počáteční hladina na kótě Mz = 261,00 m n.m.

Povodeň : PV₁₀₀

Kapacity : neškodný odtok $Q_{neš} = 660 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	908 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	263,61 m n.m.
Maximální odtok :	660 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	-
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení Mz - 261,00 m n.m. :	2,61 m
spodní výpust :	660 m ³ /s	Překročení Mr - 264,00 m n.m. :	-
délka transformace :	47 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	73 %

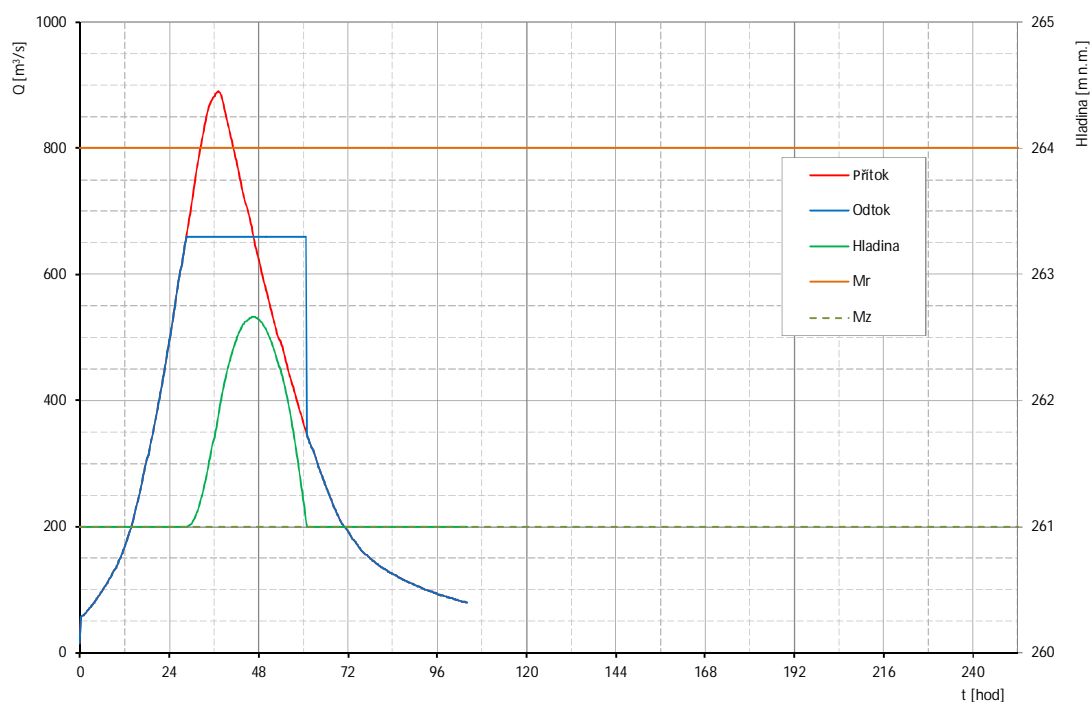
Komentář :

Povodňová vlna je bez problémů zachycena a ztlumena na požadovanou úroveň neškodného odtoku, a to s přiměřenou rezervou. Retenční objem byl zaplněn asi na 85 %. K dosažení maximální retenční hladiny zbývá ještě 39 cm. Transformace je hodnocena jako vyhovující.

Varianta : 1 - 3

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.
počáteční hladina na kótě $Mz = 261,00$ m n.m.

Povodeň : PV_{100L; 0,3}

Kapacity : neškodný odtok $Q_{neš} = 660$ m³/s


Maximální přítok :	890 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	262,66 m n.m.
Maximální odtok :	660 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	-
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení $Mz - 261,00$ m n.m. :	1,66 m
spodní výpust :	660 m ³ /s	Překročení $Mr - 264,00$ m n.m. :	-
délka transformace :	32 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	74 %

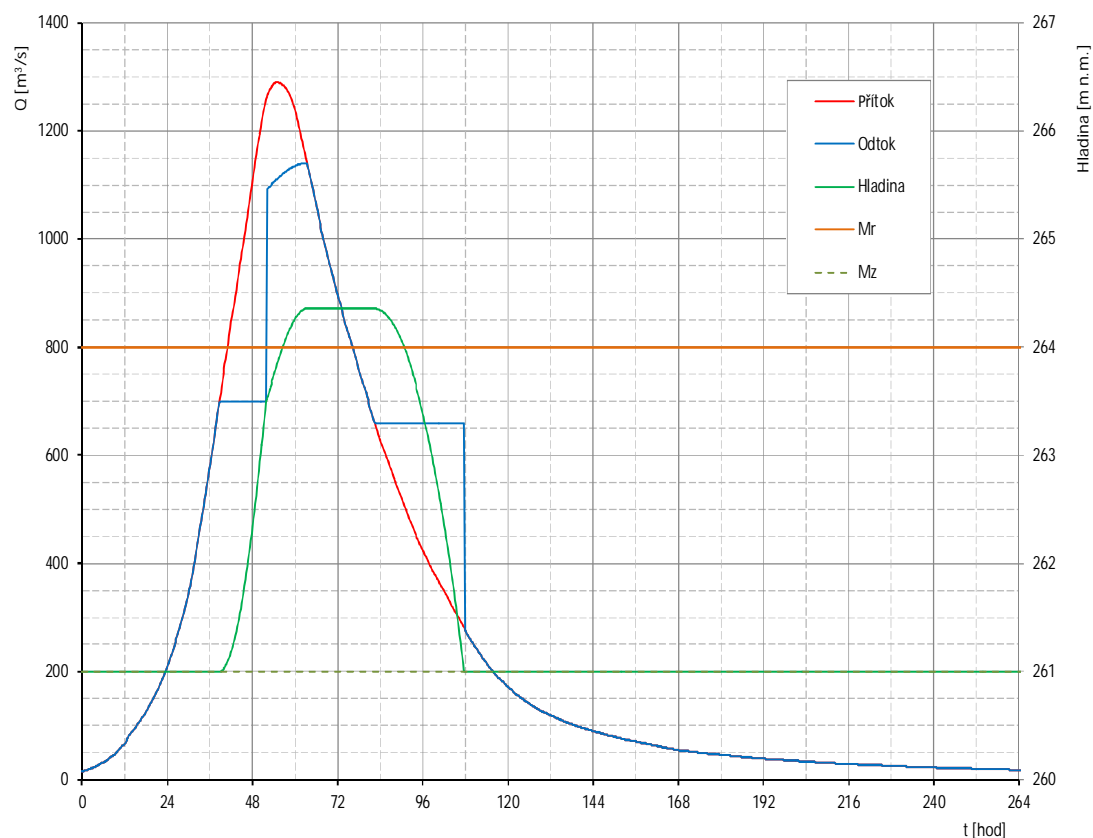
Komentář :

Povodňová vlna je bez problémů zachycena a ztlumena na požadovanou úroveň neškodného odtoku, a to se značnou rezervou. Retenční objem byl zaplněn asi na 50 %. K dosažení maximální retenční hladiny zbývá ještě 134 cm. Rozdíl proti předchozímu případu je způsoben tím, že tato povodeň má značně menší objem (o 29 %), přestože má nižší podmíněnou pravděpodobnost překročení objemu. Transformace je hodnocena jako naprosto vyhovující. Byla zpracována pro ilustraci toho, jak se liší průchod sezónní povodně od povodňové vlny bez rozlišení sezóny.

Varianta : 1 - 4

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.,
počáteční hladina na kótě Mz = 261,00 m n.m.

Povodeň : PV₁₀₀₀

Kapacity : neškodný odtok $Q_{neš} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	1 290 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	264,36 m n.m.
Maximální odtok :	1 141 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	8,3 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení Mz - 261,00 m n.m. :	3,36 m
spodní výpust :	1 141 m ³ /s	Překročení Mr - 264,00 m n.m. :	0,36 m
délka transformace :	70 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	88 %

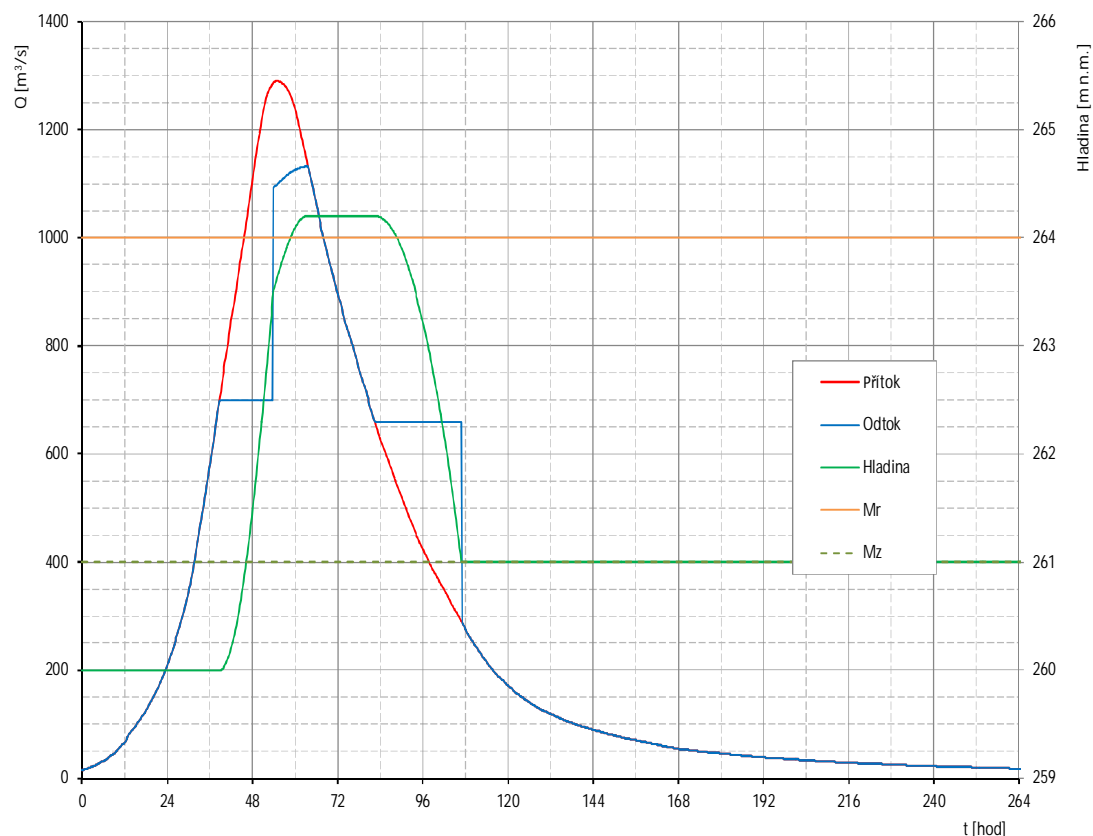
Komentář :

Povodňová vlna je sice zachycena, ale úroveň neškodného odtoku je vysoce překročena. Hladina překročila povolenou úroveň Mr, a to o 36 cm, nejsou splněny normové požadavky. Retenční objem byl zaplněn asi na 113 %. Transformace je hodnocena jako nevyhovující.

Varianta : 1 - 5

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.,
počáteční hladina na kótě Mz - 1 m = 260,0 m n.m.

Povodeň : PV₁₀₀₀

Kapacity : neškodný odtok $Q_{neš} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	1 290 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	264,20 m n.m.
Maximální odtok :	1 132 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	8,6 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení Mz - 261,00 m n.m. :	3,20 m
spodní výpust :	1 132 m ³ /s	Překročení Mr - 264,00 m n.m. :	0,20 m
délka transformace :	47 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	88 %

Komentář :

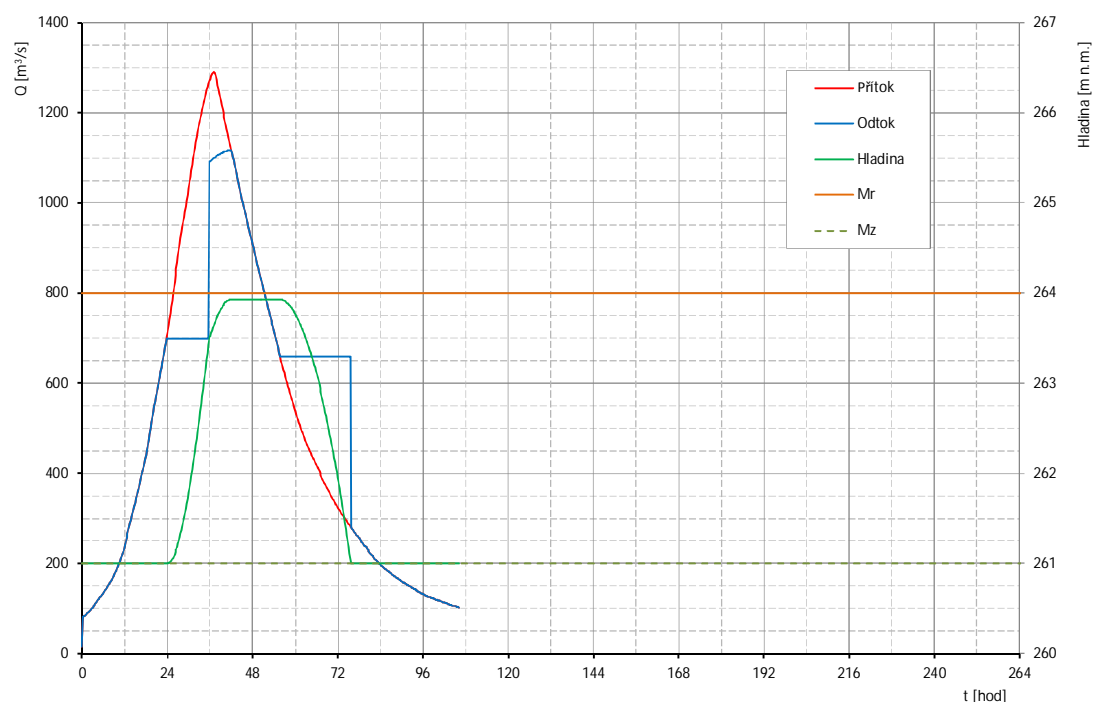
Povodňová vlna je sice zachycena, ale úroveň neškodného odtoku je vysoce překročena. Hladina překročila povolenou úroveň Mr o 20 cm. Nejsou splněny normové požadavky, ale překročení o 20 cm je asi možné připustit s ohledem na to, co je uvedeno na začátku této kapitoly o právní závaznosti podkladu [52]. Také stojí za pozornost, že PV₁₀₀₀ není reprezentována jen jedním hydrogramem, jak implicitně předpokládá norma, ale zde jich máme hned 5, přičemž všechny ostatní jsou tlumeny uspokojivě - viz následující případ.

Retenční objem zde byl zaplněn asi na 107 %. Transformace je hodnocena jako podmíněčně vyhovující.

Varianta : 1 - 6

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.,
počáteční hladina na kótě Mz = 261,0 m n.m.

Povodeň : PV_{1000L; 0,3}

Kapacity : neškodný odtok $Q_{\text{neš}} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	1 290 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	263,93 m n.m.
Maximální odtok :	1 116 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	5 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení Mz - 261,00 m n.m. :	2,93 m
spodní výpust :	1 116 m ³ /s	Překročení Mr - 264,00 m n.m. :	-
délka transformace :	52 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	87 %

Komentář :

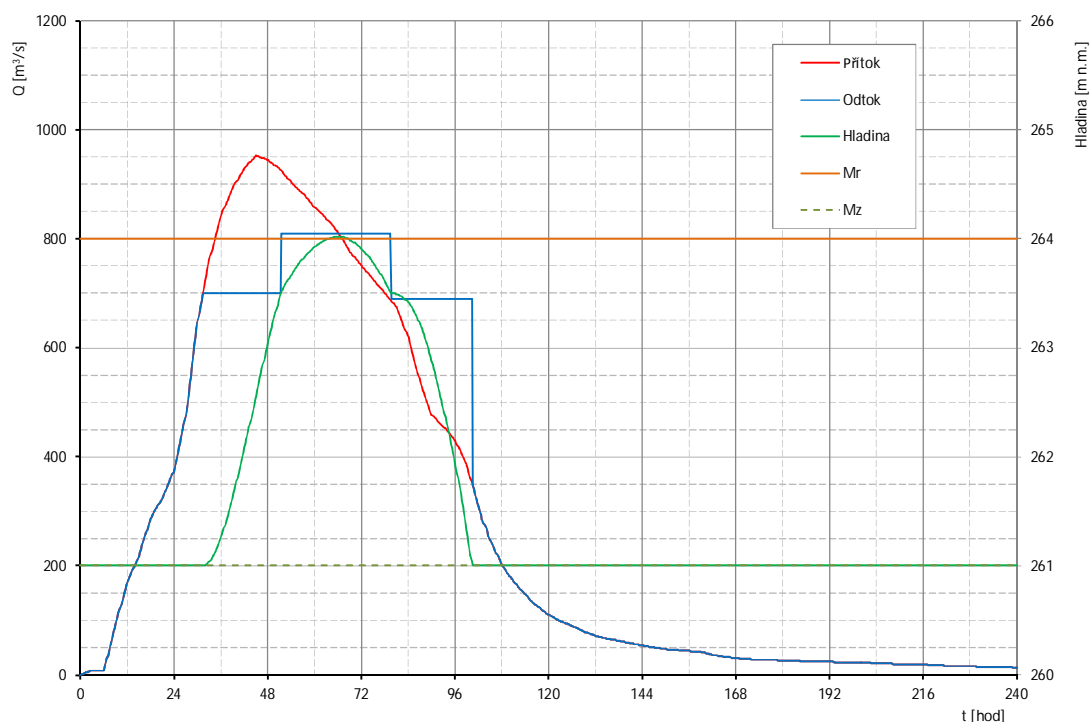
Jedná se o kontrolní výpočet k předchozí variantě. Jeho smyslem je ilustrace rozdílu mezi průchodem sezónní povodně ve srovnání s povodňovou vlnou bez rozlišení sezóny. Odtok sice vysoko převyšuje neškodný průtok, ale o to v daném případě nejde. Zde se prokazuje schopnost vodního díla odolat návrhové povodni bez poškození svých hlavních objektů.

Transformace je hodnocena jako vyhovující. Výpočet na ostatních hydrogramech PV₁₀₀₀ již nebyl prováděn, protože mají buď menší objem, nebo podstatně menší hodnotu kulminace, která se téměř rovná neškodnému odtoku. Je tedy jasné, že výsledky by byly ještě příznivější.

Varianta : 1 - 7

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.
počáteční hladina na kótě $M_z = 261,0$ m n.m.

Povodeň : PV₁₉₉₇

Kapacity : neškodný odtok $Q_{\text{neš}} = 700$ m³/s


Maximální přítok :	950 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	264,02 m n.m.
Maximální odtok :	810 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	6,3 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení $M_z - 261,00$ m n.m. :	3,02 m
spodní výpust :	810 m ³ /s	Překročení $M_r - 264,00$ m n.m. :	0,02 m
délka transformace :	69 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	85 %

Komentář :

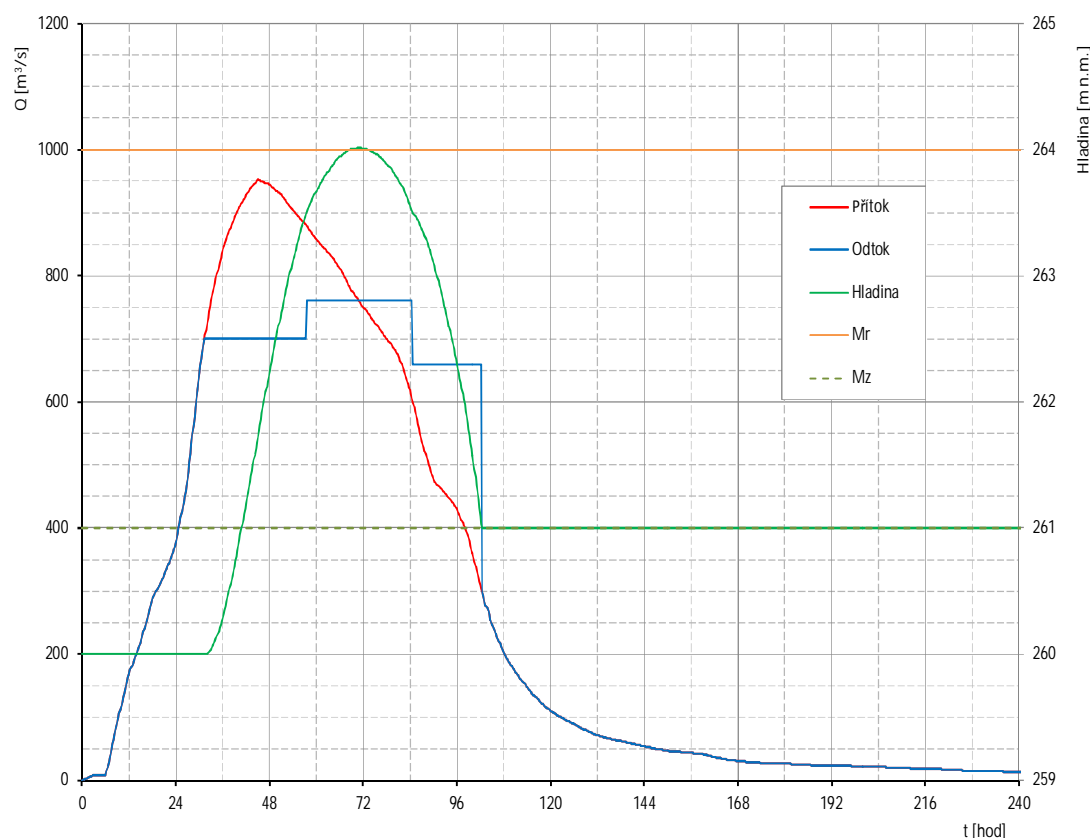
Povodňová vlna je sice zachycena, ale úroveň neškodného odtoku je překročena o 110 m³/s kvůli ochraně nádrže před překročením maximální hladiny. Hladina překročila povolenou úroveň M_r o 2 cm (zanedbatelné v rámci přesnosti výpočtu a podkladů).

Retenční objem byl zaplněn na 100 %. Transformace je hodnocena jako nevyhovující.

Varianta : 1 - 8

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.
počáteční hladina na kótě $M_z - 1 \text{ m} = 260,0 \text{ m n.m.}$

Povodeň : PV₁₉₉₇

Kapacity : neškodný odtok $Q_{\text{neš}} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	950 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	264,01 m n.m.
Maximální odtok :	760 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	12,3 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení $M_z - 261,00 \text{ m n.m.}$:	3,01 m
spodní výpust :	760 m ³ /s	Překročení $M_r - 264,00 \text{ m n.m.}$:	0,01 m
délka transformace :	71 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	80 %

Komentář :

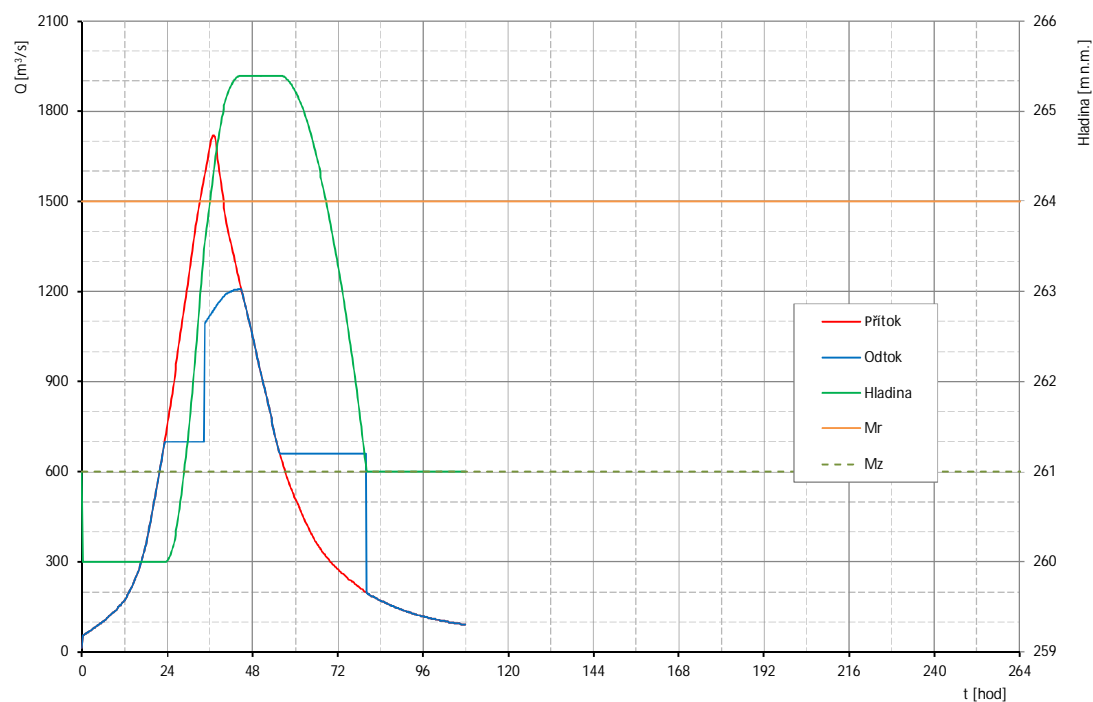
Povodňová vlna je sice zachycena, ale úroveň neškodného odtoku je překročena o 60 m³/s kvůli ochraně nádrže před překročením maximální hladiny. Hladina překročila povolenou úroveň M_r o 1 cm (zanedbatelné v rámci přesnosti výpočtu a podkladů).

Retenční objem byl zaplněn na 100 %. Lokální ochranná opatření v městě Hranice jsou v současné době projektována na převedení netransformované povodně $Q_{50} = 799 \text{ m}^3/\text{s}$ (se sníženou bezpečnostní rezervou), takže odtok na úrovni 760 m³/s by zde neměl mít žádné vážné následky. Transformace je proto hodnocena jako podmíněně vyhovující.

Varianta : 1 - 9

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 264,00 m n.m.
počáteční hladina na kótě $M_z - 1 \text{ m} = 260,0 \text{ m n.m.}$

Povodeň : PV 10 000L; 0,5

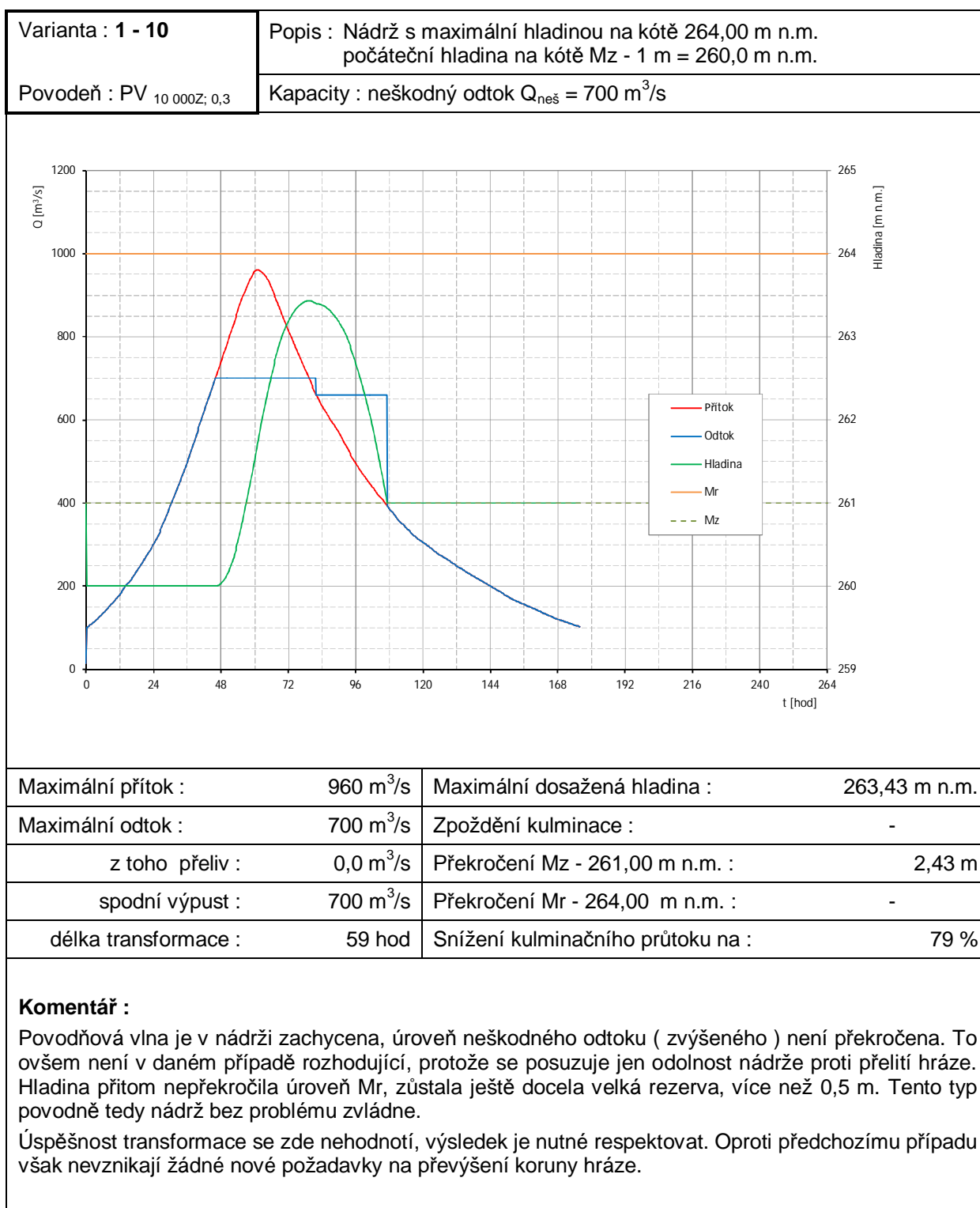
Kapacity : neškodný odtok $Q_{\text{neš}} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	1 720 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	265,40 m n.m.
Maximální odtok :	1 208 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	8 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení $M_z - 261,00 \text{ m n.m.}$:	4,40 m
spodní výpust :	1 208 m ³ /s	Překročení $M_r - 264,00 \text{ m n.m.}$:	1,40 m
délka transformace :	57 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	70 %

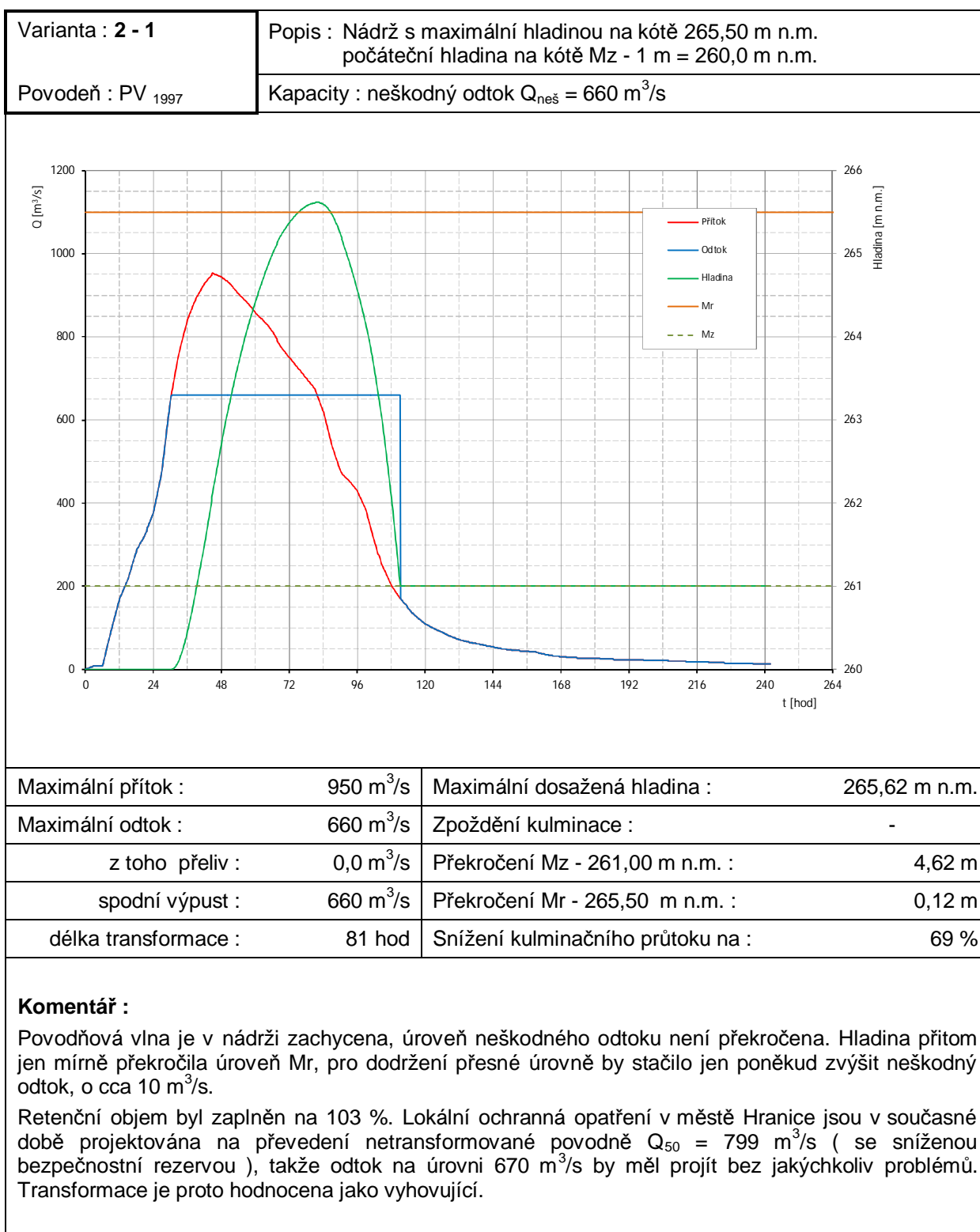
Komentář :

Povodňová vlna je v nádrži zachycena, úroveň neškodného odtoku je překročena o více než 500 m³/s. To není v daném případě na závadu, protože se posuzuje jen odolnost nádrže proti přelití hráze. Hladina ovšem překročila dosti značně úroveň M_r - o 140 cm. To je nutné brát v úvahu při stanovení převýšení koruny hráze. Úspěšnost transformace se zde nehodnotí, výsledek je nutné respektovat.

Transformace povodně s větším objemem ($ppW = 0,3$) nebyla prováděna, protože je evidentní, že při stejné hodnotě kulminace by byl výsledek ještě horší. Na druhé straně na použití takového hydrogramu neexistuje žádný relevantní požadavek.



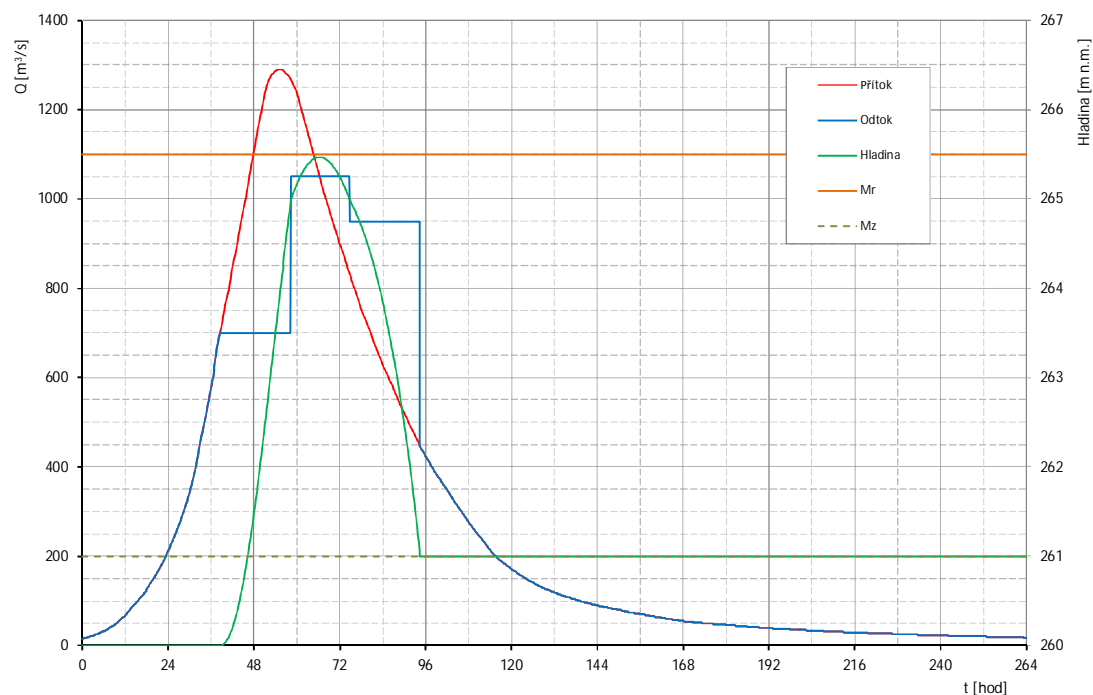
2.3 Výsledky transformací var. 2



Varianta : 2 - 2

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 265,50 m n.m.
počáteční hladina na kótě Mz - 1 m = 260,0 m n.m.

Povodeň : PV₁₀₀₀

Kapacity : neškodný odtok $Q_{\text{neš}} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	1 290 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	265,47 m n.m.
Maximální odtok :	1 050 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	3,5 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení Mz - 261,00 m n.m. :	4,47 m
spodní výpust :	1 050 m ³ /s	Překročení Mr - 265,50 m n.m. :	-
délka transformace :	59 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	81 %

Komentář :

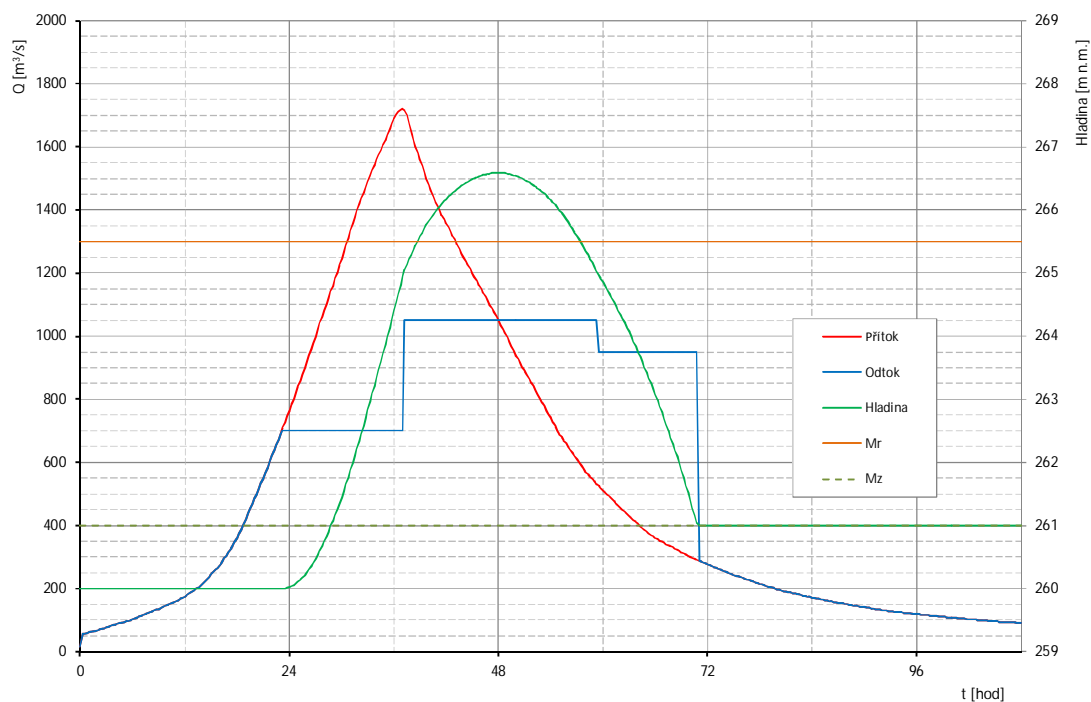
Povodňová vlna je sice zachycena, ale úroveň neškodného odtoku je vysoce překročena. Vypouštěný odtok by způsobil značné škody níže po toku, protože je větší než kulminační průtok skutečné povodně z r. 1997. Hladina nepřekročila povolenou úroveň Mr. Normové požadavky pro návrhový průtok jsou splněny. Retenční objem byl zaplněn na 99 %. Transformace je hodnocena jako vyhovující.

Ve skutečnosti bylo zvoleno takové zvýšení průtoku, aby byla víceméně přesně dosažena úroveň Mr. Při stanovení obecných pravidel transformace by bylo potřeba pečlivě zvažovat navýšení průtoku, aby nebylo zbytečně „vypláchnuto“ město Hranice.

Varianta : 2 - 3

Popis : Nádrž s maximální hladinou na kótě 265,50 m n.m.
počáteční hladina na kótě Mz - 1 m = 260,0 m n.m.

Povodeň : PV 10 000; L 0,5

Kapacity : neškodný odtok $Q_{neš} = 700 \text{ m}^3/\text{s}$


Maximální přítok :	1 720 m ³ /s	Maximální dosažená hladina :	266,59 m n.m.
Maximální odtok :	1 050 m ³ /s	Zpoždění kulminace :	0,1 hod
z toho přeliv :	0,0 m ³ /s	Překročení Mz - 261,00 m n.m. :	5,59 m
spodní výpust :	1 050 m ³ /s	Překročení Mr - 265,50 m n.m. :	1,09 m
délka transformace :	48 hod	Snížení kulminačního průtoku na :	61 %

Komentář :

Povodňová vlna je v nádrži zachycena, úroveň neškodného odtoku je překročena o 350 m³/s. To není v daném případě na závadu, protože se posuzuje jen odolnost nádrže proti přelivům hráze. Hladina překročila úroveň Mr - o 109 cm, což je ještě přijatelné. Je nutné to brát v úvahu při stanovení převýšení koruny hráze. Úspěšnost transformace se zde nehodnotí, výsledek je nutné respektovat.

Transformace povodně s větším objemem (ppW = 0,3) nebyla prováděna, protože je evidentní, že při stejné hodnotě kulminace by byl výsledek ještě horší. Na druhé straně na použití takového hydrogramu neexistuje žádný relevantní požadavek.

Obdobně jako ve variantě 1 je zřejmé (výpočet 1 - 10), že transformaci zimní povodně by nádrž zvládla bez větších problémů - výpočet proto již nebyl prováděn.

2.4 Zhodnocení výsledků

Pro posouzení protipovodňové funkce nádrže bylo provedeno celkem třináct výpočtů transformace v rozsahu povodňových vln PV1 až PV10 000. Získané výsledky jsou sumarizovány v následujícím přehledu :

Varianta	Povodeň	Přítok	Odtok	Dosažená hladina	Délka transformace
-	-	m^3/s	m^3/s	m	hod
1 - 1	PV 50	799	660	262,20	31
1 - 2	PV 100	908	660	263,61	47
1 - 3	PV 100L; 0,3	890	660	262,66	32
1 - 4	PV 1000	1 290	1 141	264,36	70
1 - 5	PV 1000	1 290	1 132	264,20	47
1 - 6	PV 1000L; 0,3	1 290	1 116	263,93	52
1 - 7	PV 1997	950	810	264,02	69
1 - 8	PV 1997	950	760	264,01	71
1 - 9	PV 10000L; 0,5	1 720	1 208	265,40	57
1 - 10	PV 10000Z; 0,3	960	700	263,43	59
2 - 1	PV 1997	950	660	265,62	81
2 - 2	PV 1000	1 290	1 050	265,47	59
2 - 3	PV 10000L; 0,5	1 720	1 050	266,59	48

Získané výsledky dokumentují, že navržené parametry nádrže v obou variantách plní protipovodňovou funkci dvojím způsobem :

- **Varianta 1 - menší nádrž** - zajišťuje ochranu území pod nádrží do velikosti povodňové vlny PV100, při průchodu skutečné povodně z r. 1997 dojde k překročení neškodného průtoku. Toto překročení ovšem není nijak dramatické, takže by bylo možné velikost nádrže a neškodného odtoku ještě nějak optimalizovat - viz závěry v kap. 4.
- **Varianta 2 - větší nádrž** - zajišťuje ochranu území pod nádrží do velikosti povodňové vlny skutečné povodně z r. 1997.

Přitom je v obou variantách postupováno operativním způsobem, kdy se před příchodem povodňové vlny nádrž poněkud povypustí do zásobního prostoru, aby se zvýšil účinek transformační funkce. Tento postup není striktně podle požadavků příslušné normy, ale naopak využívá specifických a v našich podmínkách i jedinečných vlastností nádrže, zejména velké dostupné kapacity výpustných zařízení a relativně vysoké úrovně neškodného odtoku v rozmezí Q_{20} až Q_{50} .

3 ŘEŠENÍ ZÁSObNÍ FUNKCE

Pro výpočet byl zajištěn nový podklad :

Řada průměrných denních průtoků v profilu limnigrafu Teplice za období 1933 - 2014, ČHMÚ pobočka Ostrava, 2015

Tyto denní průtoky by správně metodicky měly být přepočteny do profilu navrhované přehrady v poměru dlouhodobých ročních průměrných průtoků, tj. $14,9/15,3 = 97,4 \%$. Podíl je ale velmi blízký hodnotě 100 % a průtoky jsou udávány i v malých hodnotách s přesností pouze na jedno desetinné místo, což vlastně v oblasti Q_{300} až Q_{364} znamená jejich přesnost ± 2 až 3 %. Navíc přesnost Q_a podle podkladu [norma] ve třídě II. je udávána dokonce s rozptylem $\pm 12 \%$. Z toho vyplývá, že přepočet v řádu jednotlivých procent nemá v daném případě žádné věcné opodstatnění a nemůže nijak zvýšit přesnost bilančních výpočtů. Proto se dále používají poskytnuté denní průtoky přímo pro profil přehrady.

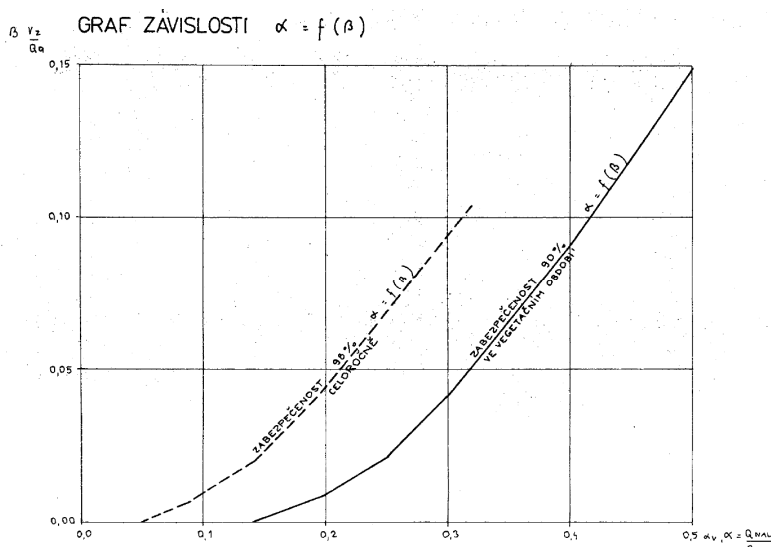
Nádrž se podle zadání (kap. 1) řeší ve dvou velikostních variantách. Z aktuálních geodetických podkladů byly stanoveny křivky objemů a ploch (kap. B.2.3), podle nichž mají dvě posuzované varianty celkové objemy :

Varianta	Kóta hladiny	Celkový objem
-	<i>m n.m.</i>	<i>mil. m³</i>
1	264,0	35,51
2	365,5	45,52

3.1 Princip výpočtu

Z hlediska zásobní funkce nádrže pro zajištění odběru vody nebo nadlepšení průtoků ve vodním toku je směrodatným ukazatelem poměr zásobního objemu k celkovému ročnímu odtoku - součinitel β . Optimální je jeho hodnota blízká se 1,0. Při takové hodnotě je nádrž schopná víceletého vyrovnání průtoků a spolehlivé zásobní funkce. Pokud je hodnota menší, mohou již v suchých letech nastávat poruchy v dodávkách a nádrž potom pracuje spíše v režimu jednoletého vyrovnání s tím, že klesá zabezpečení dodávek vody. Pokud je naopak součinitel β výrazněji větší než 1,0, již to nemá žádný znatelný vliv na nadlepšení a vyšší investiční náklady na velkou nádrž jsou vynaloženy neefektivně.

V daném případě je však akumulační součinitel β extrémně nízký. Při uvažované velikosti zásobního objemu 16,36 mil. m³ je jeho hodnota jen 0,035. Zásobní objem tak představuje ekvivalent pouze necelých 13 dnů průměrného průtoků. Pro takové poměry zpracoval projektant v 90. letech studijní práci týkající se možného nalepšení průtoků v malých vodních nádržích na území okresu Zlín. Jedná se o oblast s podobnými přírodními podmínkami jako pramenná oblast Bečvy. Z této práce citujeme následující diagram :



Z grafu se dá na základě zjednodušeného a generalizovaného vodohospodářského řešení odhadnout hodnota součinitele nalepšení $\alpha = Q_{nal} / Q_a$ podle hodnoty daného akumulčního součinitele β . Je vidět, že i při velmi malé hodnotě β (do 5 %) je možné očekávat překvapivě „slušné“ nalepšení průtoků v rozmezí $\alpha = 0,2$ až $0,3$. Odtud se dá odhadnout, že pro danou velikost zásobního objemu nádrže Skalička a zabezpečení 98 % lze očekávat nalepšení cca $0,18 Q_a$, což postačí na zaručený odtok v rozmezí Q_{300} až Q_{330} .

Pozn. :

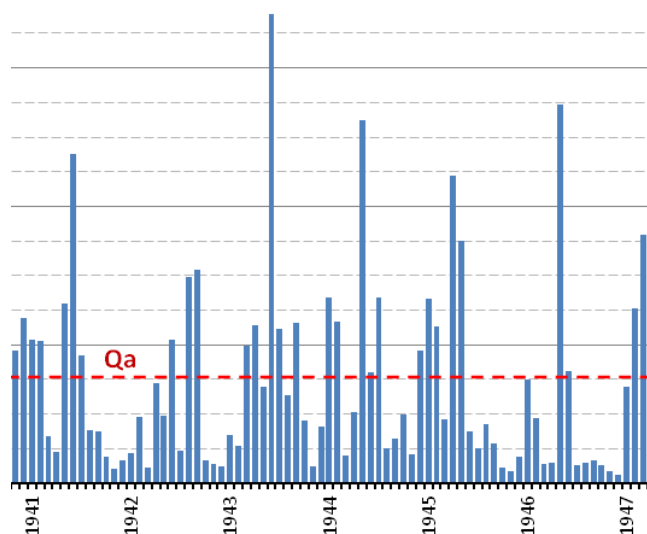
O zabezpečení odtoku 100 % není v daném případě vhodné reálně uvažovat, protože tak malý zásobní objem není schopen překrýt delší suché období než několik za sebou následujících týdnů či měsíců a zaručený odtok tak bude velmi nízký.. Na druhé straně pokud se nejedná o vodárenský odběr, není tak vysoká zabezpečení zdaleka nutná.

Minimální zůstatkový průtok MQ je stanoven Metodickým pokynem odboru ochrany vod MŽP. Je závislý na vodnosti toku v posuzovaném profilu, jak je uvedeno v níže prezentované tabulce.

průtok Q_{355d}	minimální zůstatkový průtok
$< 0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{330d}
$0,05 - 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
$0,51 - 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Q_{355d}
$> 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

V provedených VH výpočtech je tedy uvažován MQ vzhledem k vodnosti Bečvy hodnotou $Q_{355} = 1,46 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pro objasnění možného fungování nádrže byla provedena vstupní hrubá analýza průtokové řady, a to tak, že byla sestavena chronologická řada průměrných měsíčních průtoků Bečvy. Příslušné grafy jsou obsaženy na přílohách B.12.1 až B.12.5. Z nich je na první pohled patrná výrazná (a notoricky známá) vlastnost tohoto toku, a sice velká rozkolísanost jeho průtoků. Jen na malém podílu z časové řady (20 - 25 %) jsou zaznamenány průtoky blízké průměrné hodnotě. Ve zbývajících měsících jsou průtoky buď výrazně nadprůměrné nebo výrazně podprůměrné. Typický průběh průtoků během jednoho roku je uveden na obrázku na další straně :



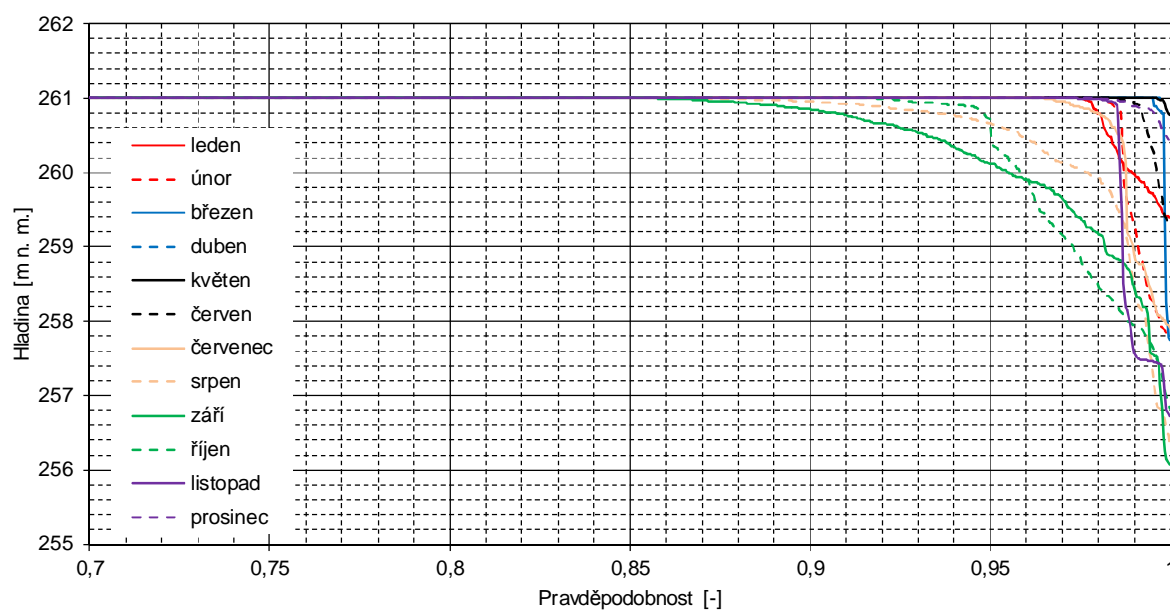
V jarním období během tání sněhu v Beskydech jsou průtoky vysoké, ale potom prudce klesnou na 20 až 30 % průměrné roční hodnoty. Období nízkých průtoků trvá 4 až 8 měsíců.

Toto se jeví jako vhodné využití relativně malého zásobního objemu, který nebude schopen vyrovnávat rozdíly v průtocích po dobu celého roku nebo dokonce delšího období. Nalepšení minimálních průtoků vyskytujících se v délce několika měsíců je však docela reálné. Úlohou vodohospodářského výpočtu tedy bude zjištění míry možného nadlepšení nízkých průtoků, respektive stupně jejich zabezpečení.

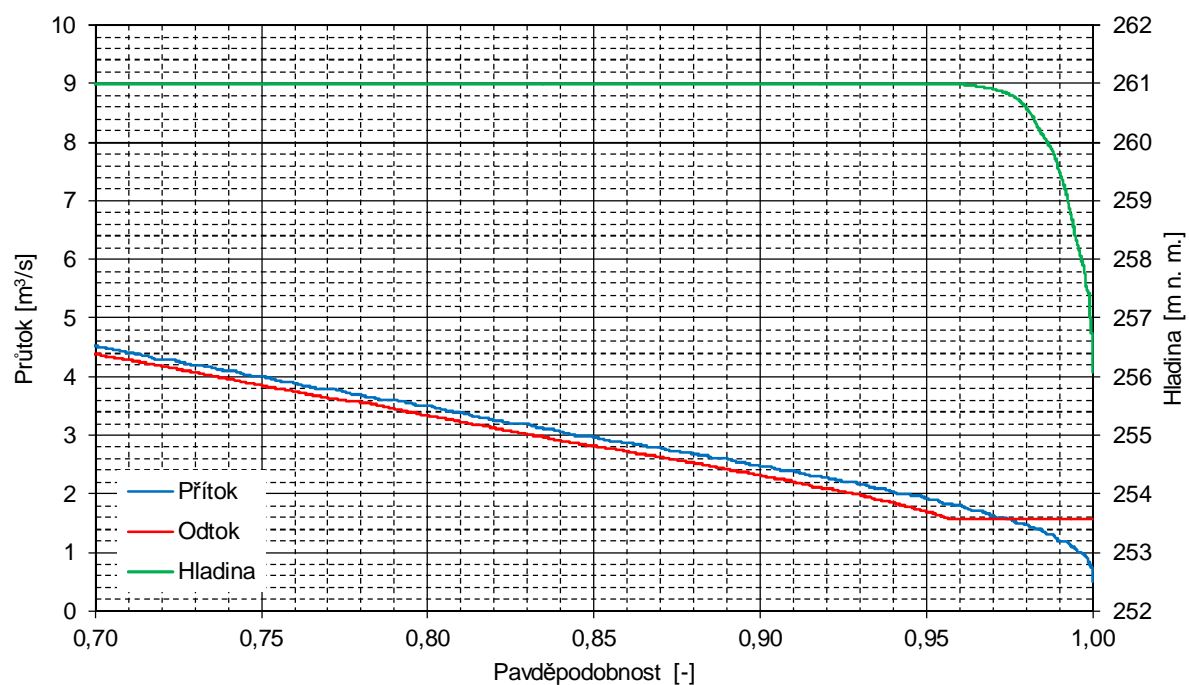
Princip VH výpočtu spočívá v tom, že se provede simulace modelových manipulací na chronologické časové řadě průměrných denních průtoků. Přitom se v denním kroku bilancuje objem přítoku, odtoku a výparu z volné hladiny. Vliv srážek dopadajících na hladinu nádrže se zanedbává, protože plocha hladiny tvoří jen 0,57 % z plochy povodí.

Vzhledem ke specifičnosti daného případu je provedena simulace jednostupňového řízení odtoku (tj. pro jednu hodnotu minimálního odtoku) a pro různé stupně zabezpečení v rozmezí 95 - 100 %. Získané výsledky jsou uvedeny v následujících kapitolách.

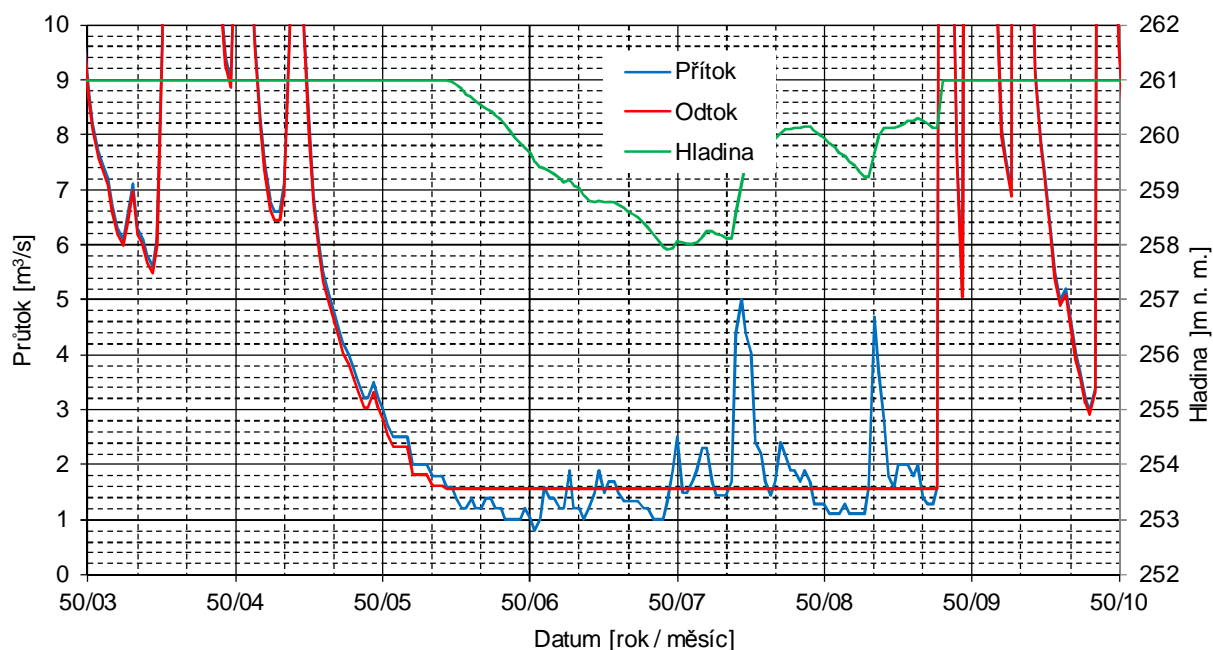
3.2 Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 100,00 %



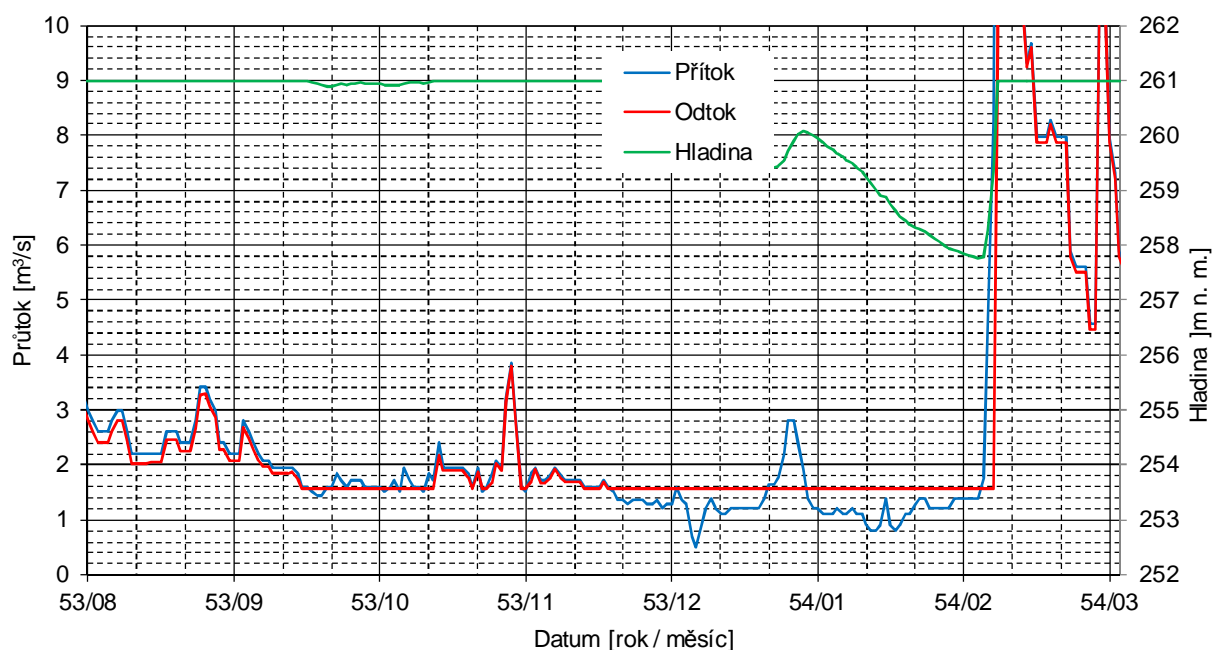
Čára překročení polohy hladiny po měsících



Souhrnná roční čára překročení průtoků a hladin

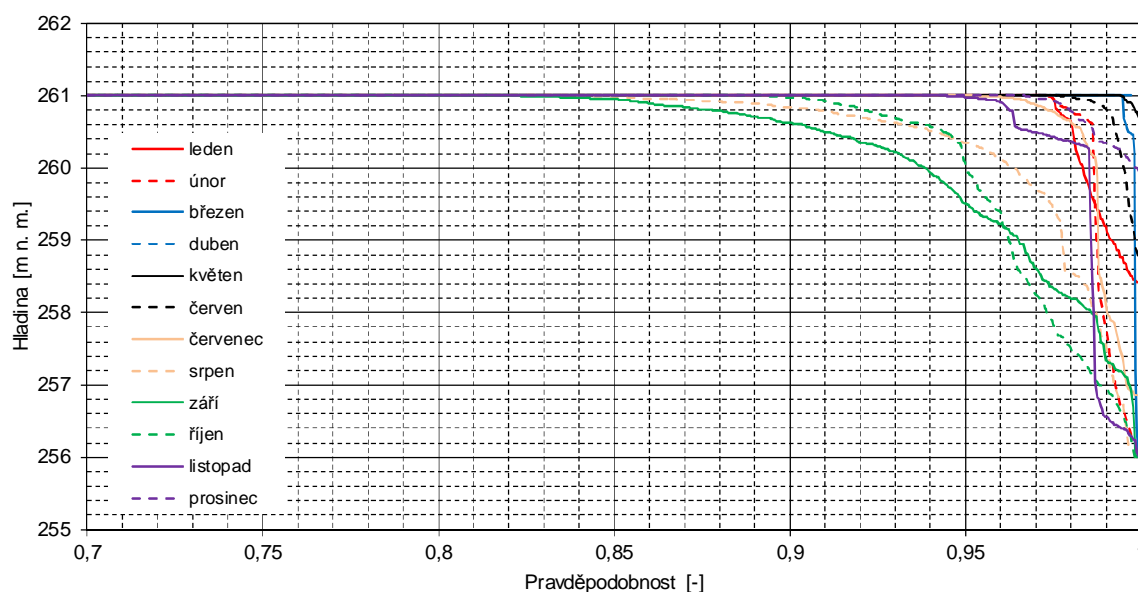


Úspěšné překlenutí suchého období v r. 1950

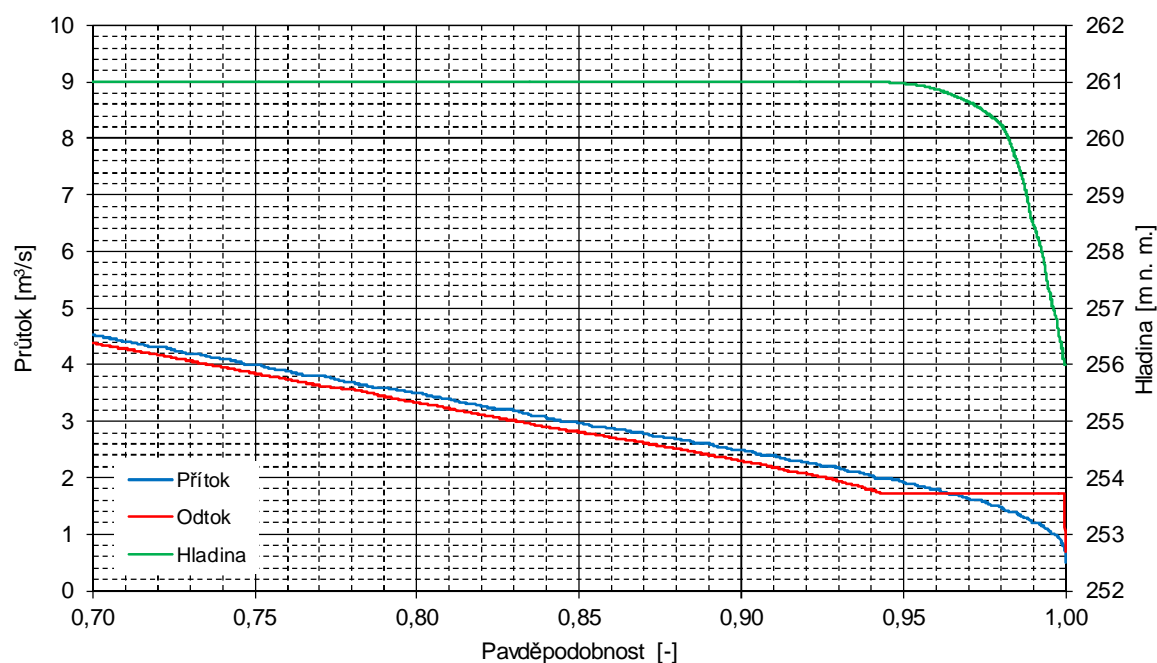


Úspěšné překlenutí suchého období v r. 1953 / 1954

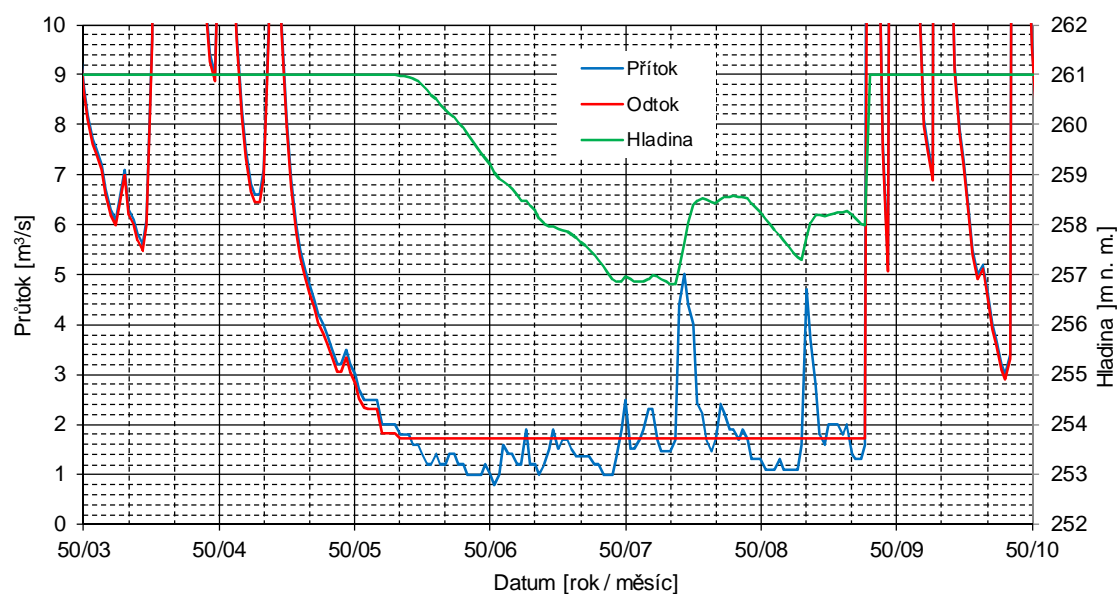
3.3 Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 99,99 %



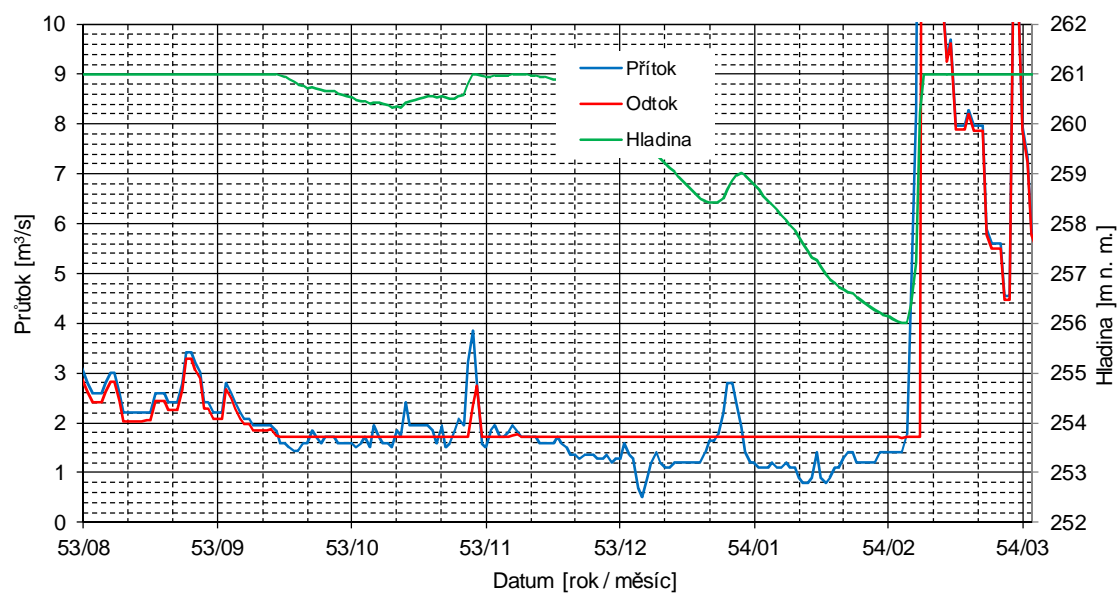
Čára překročení polohy hladiny po měsících



Souhrnná roční čára překročení průtoků a hladin

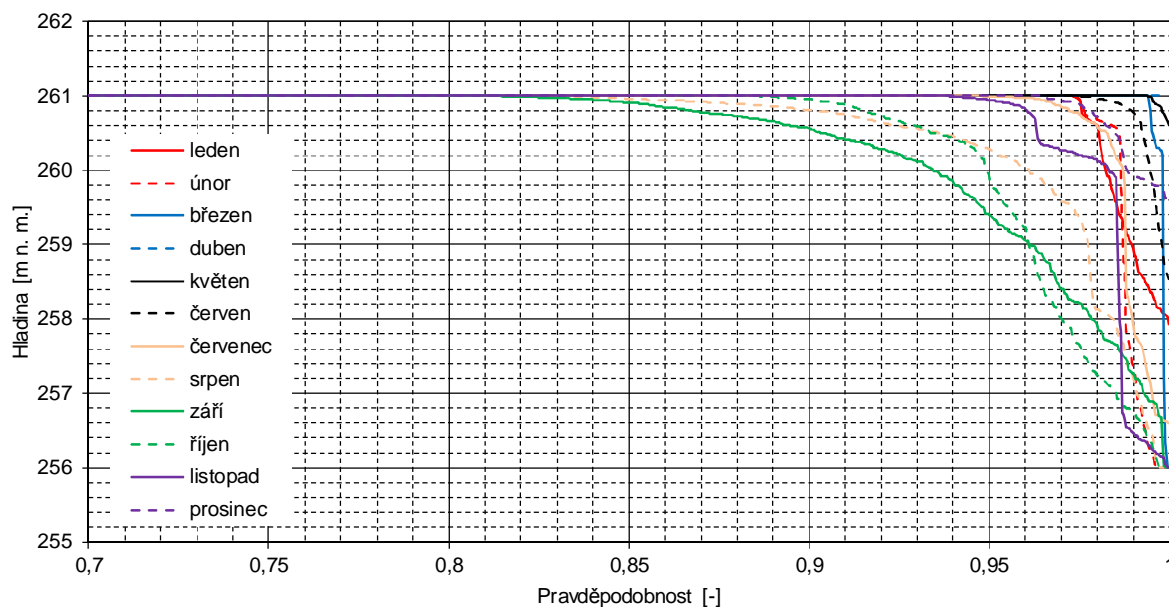


Úspěšné překlenutí suchého období v r. 1950

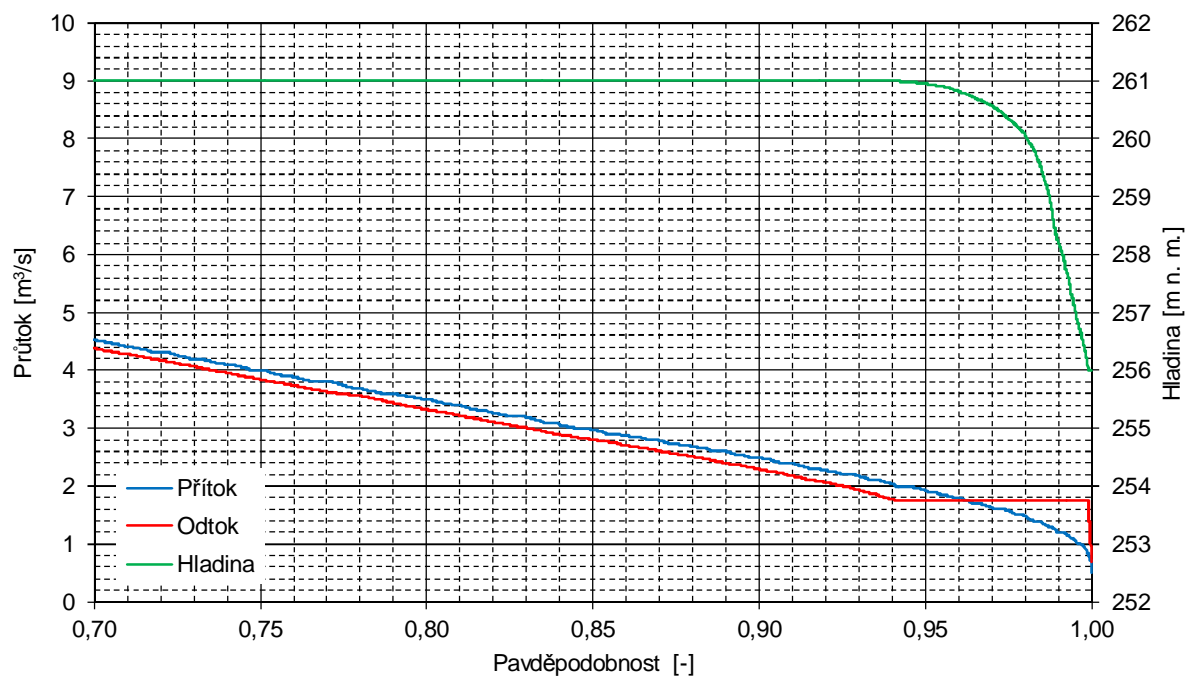


Úspěšné překlenutí suchého období v r. 1953 / 1954

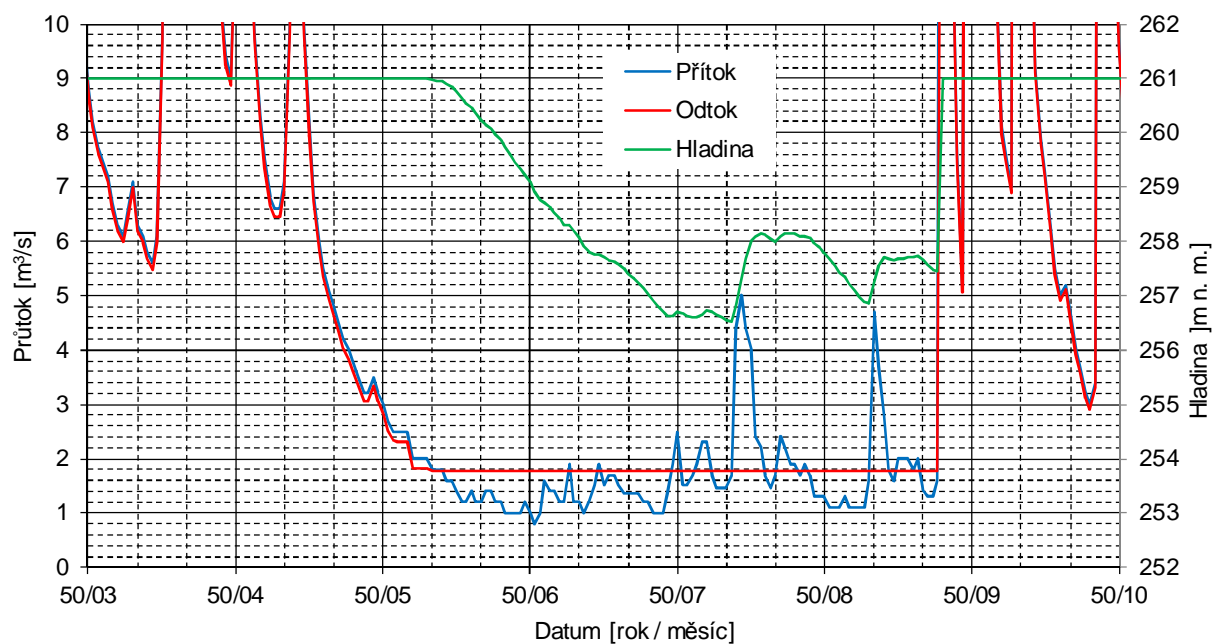
3.4 Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 99,9 %



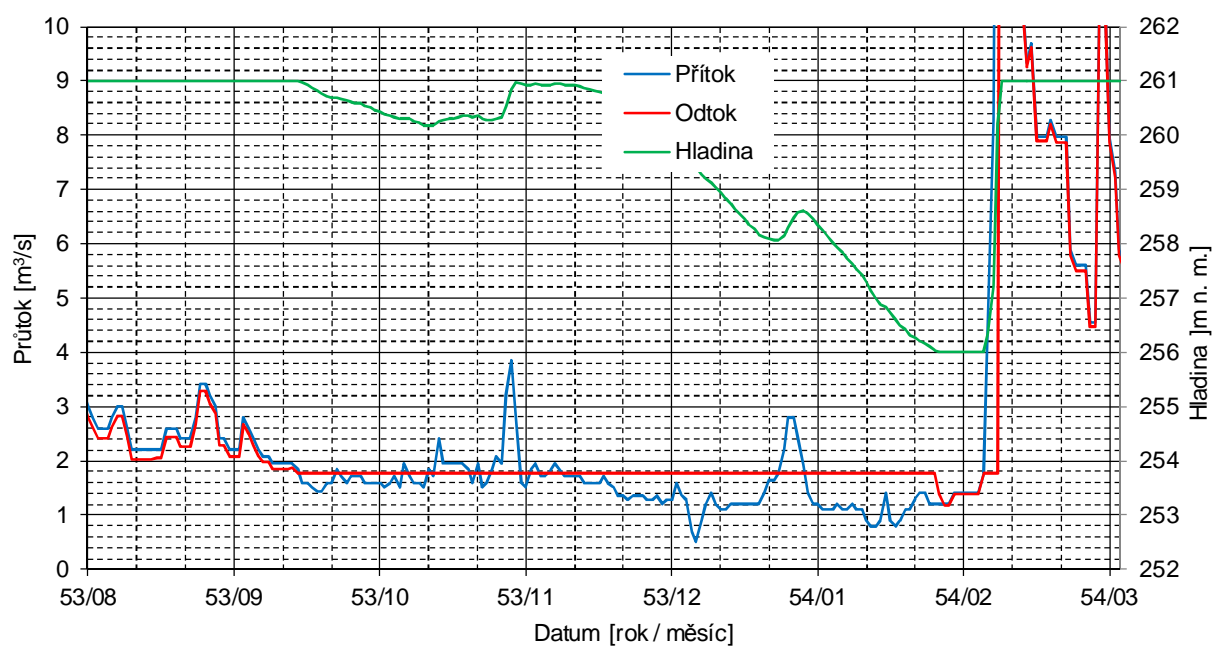
Čára překročení polohy hladiny po měsících



Souhrnná roční čára překročení průtoků a hladin

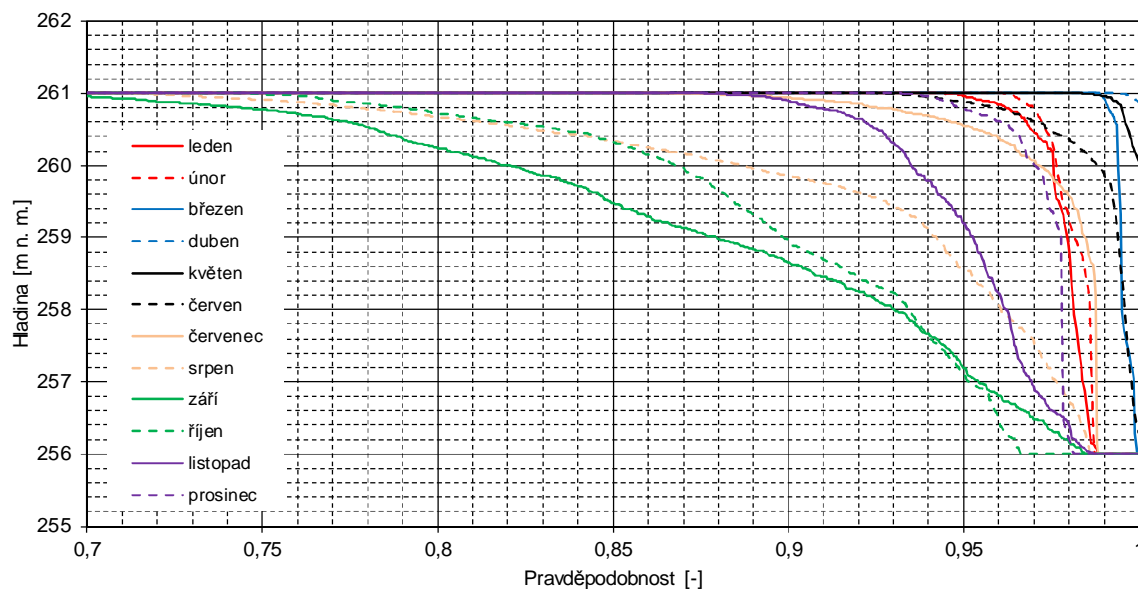


Úspěšné překlenutí suchého období v r. 1950

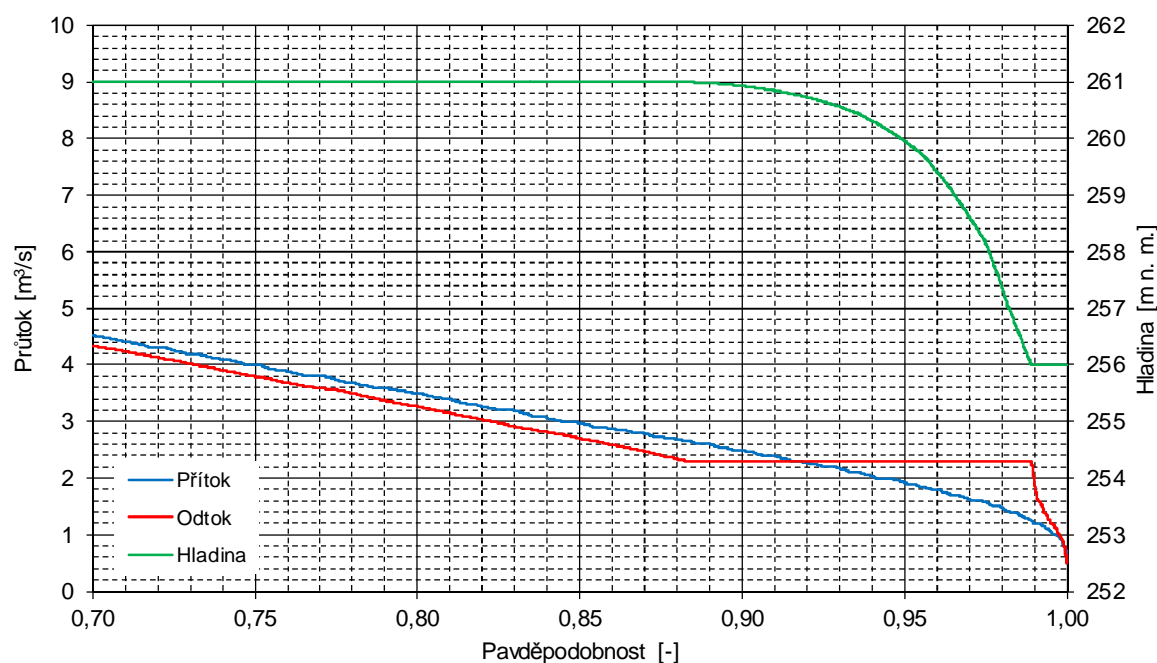


Výpadek dodávky na konci suchého období v r. 1953 / 1954

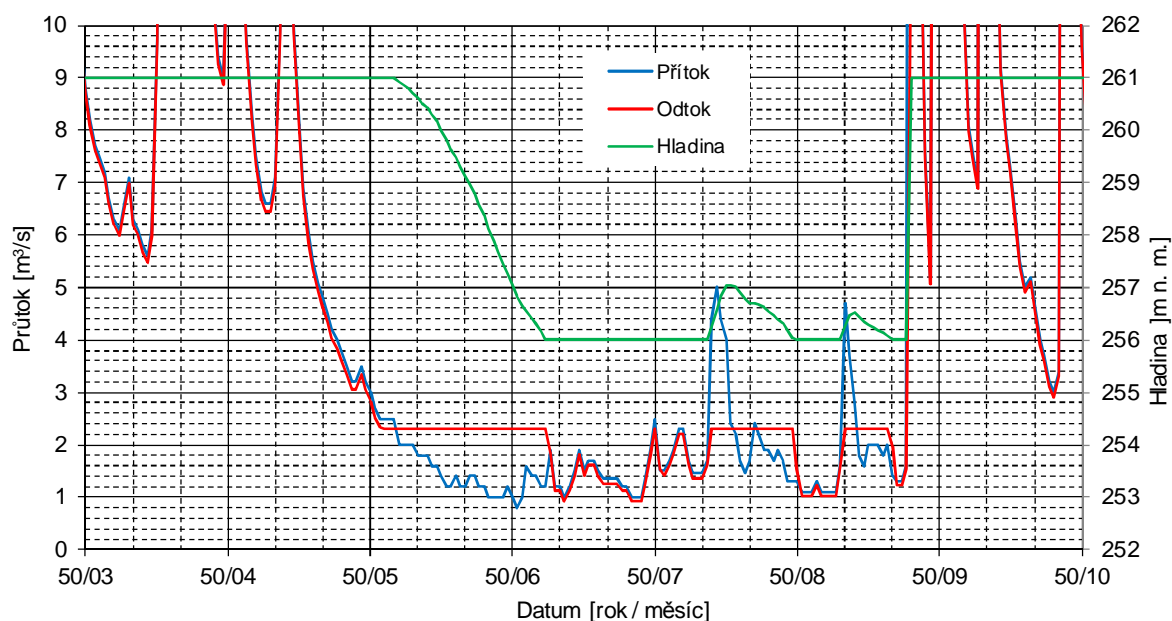
3.5 Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 99,0 %



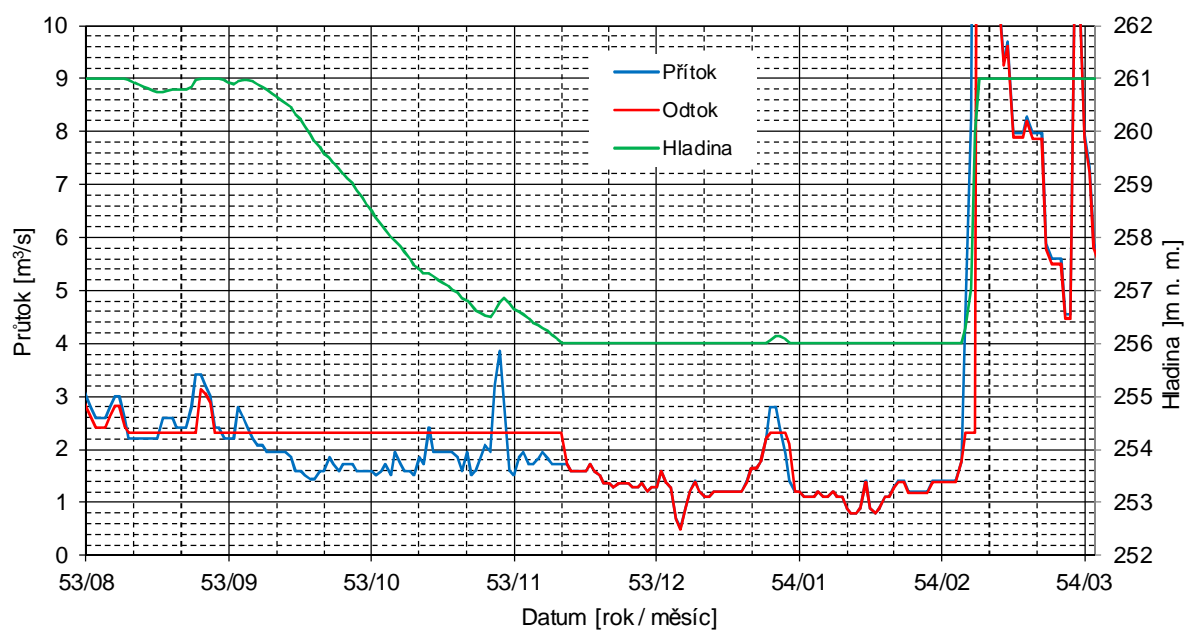
Čára překročení polohy hladiny po měsících



Souhrnná roční čára překročení průtoků a hladin

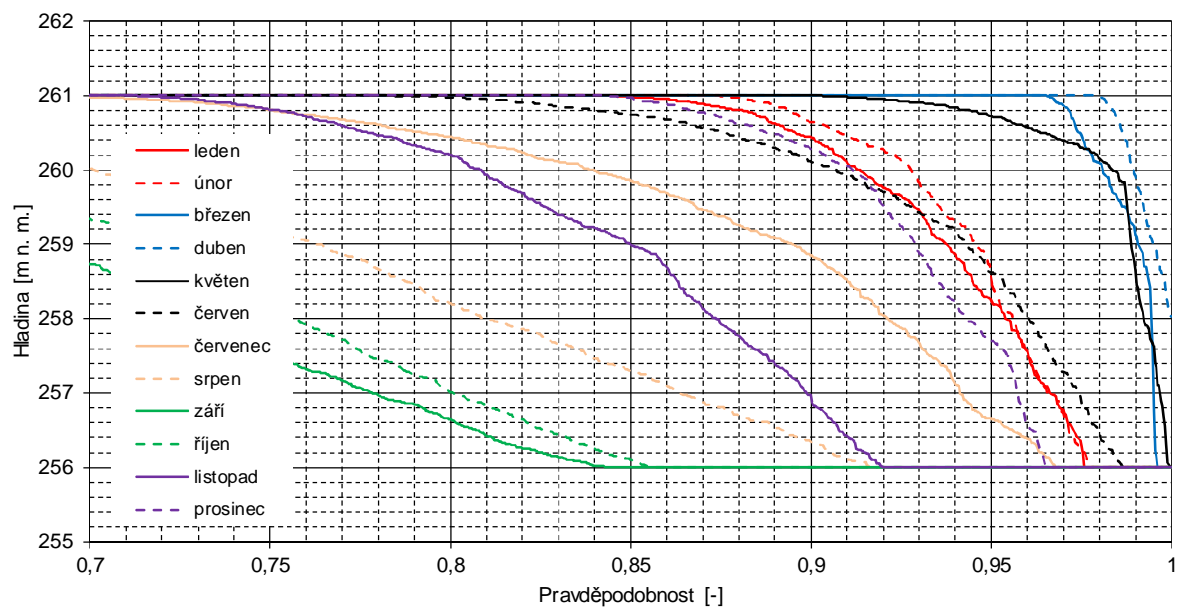


Výpadky dodávek během suchého období v r. 1950

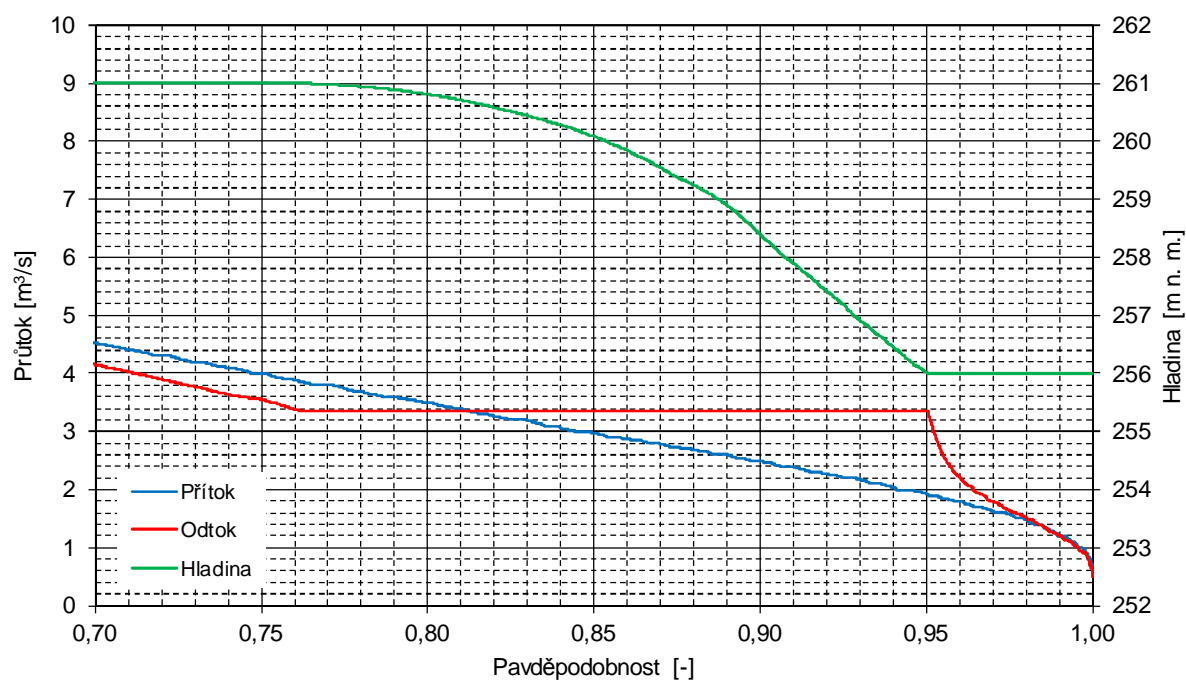


Výpadek dodávky cca v polovině suchého období v r. 1953 / 1954

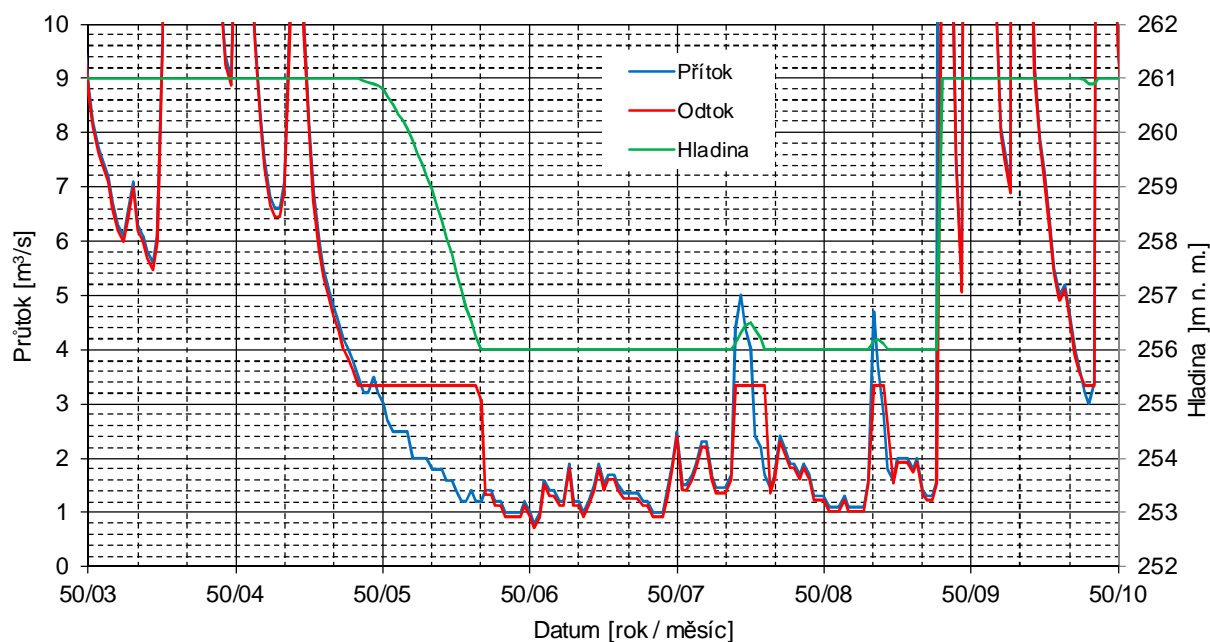
3.6 Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 97,0 %



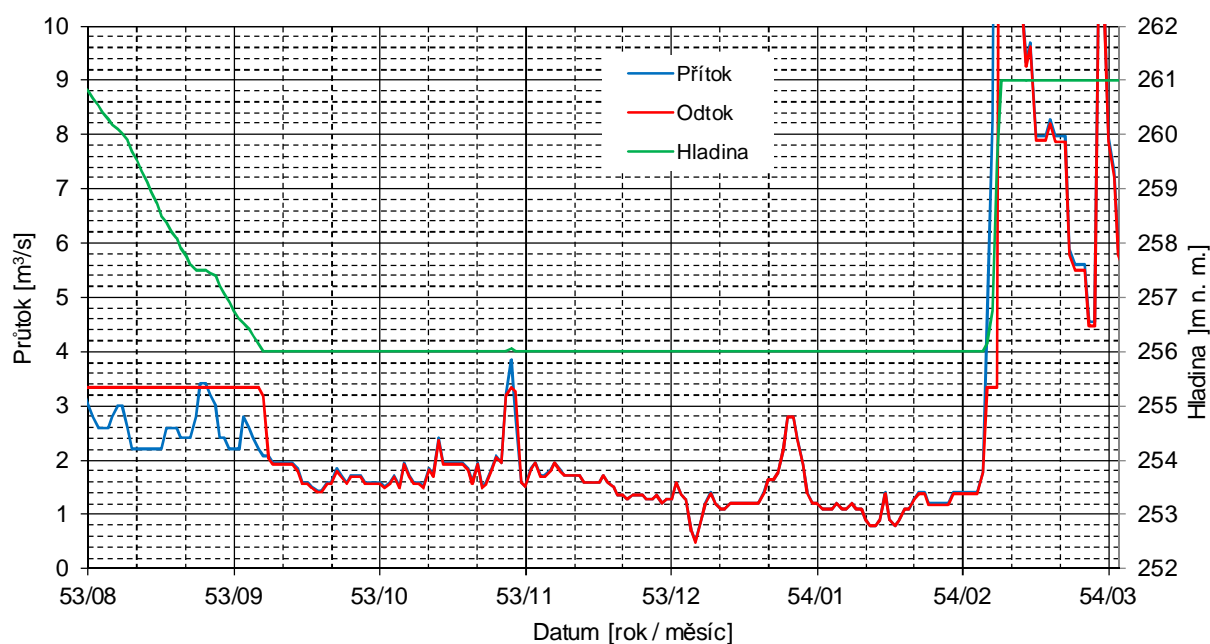
Čára překročení polohy hladiny po měsících



Souhrnná roční čára překročení průtoků a hladin

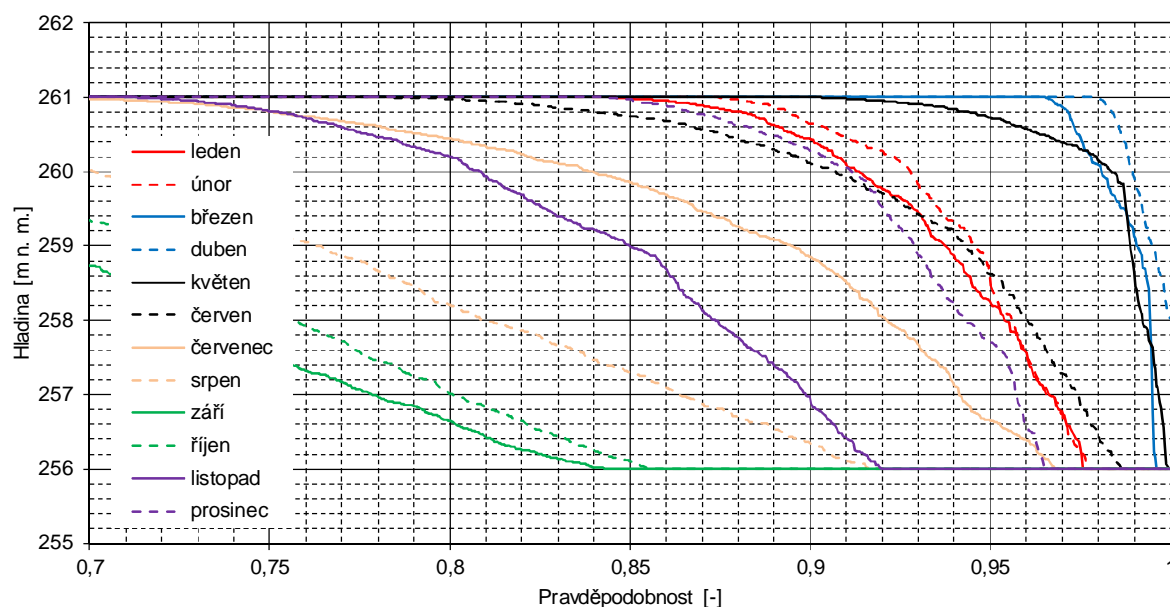


Výpadky dodávek v podstatné části suchého období v r. 1950

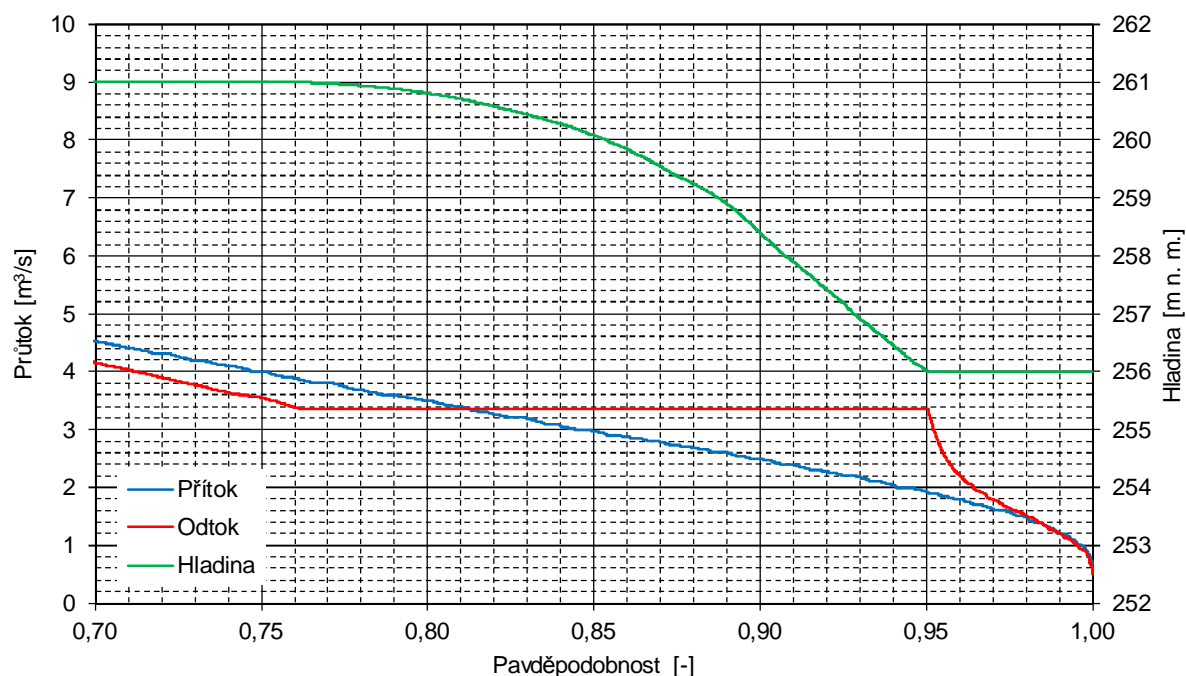


Výpadek dodávky v podstatné části suchého období na přelomu r. 1953 / 1954

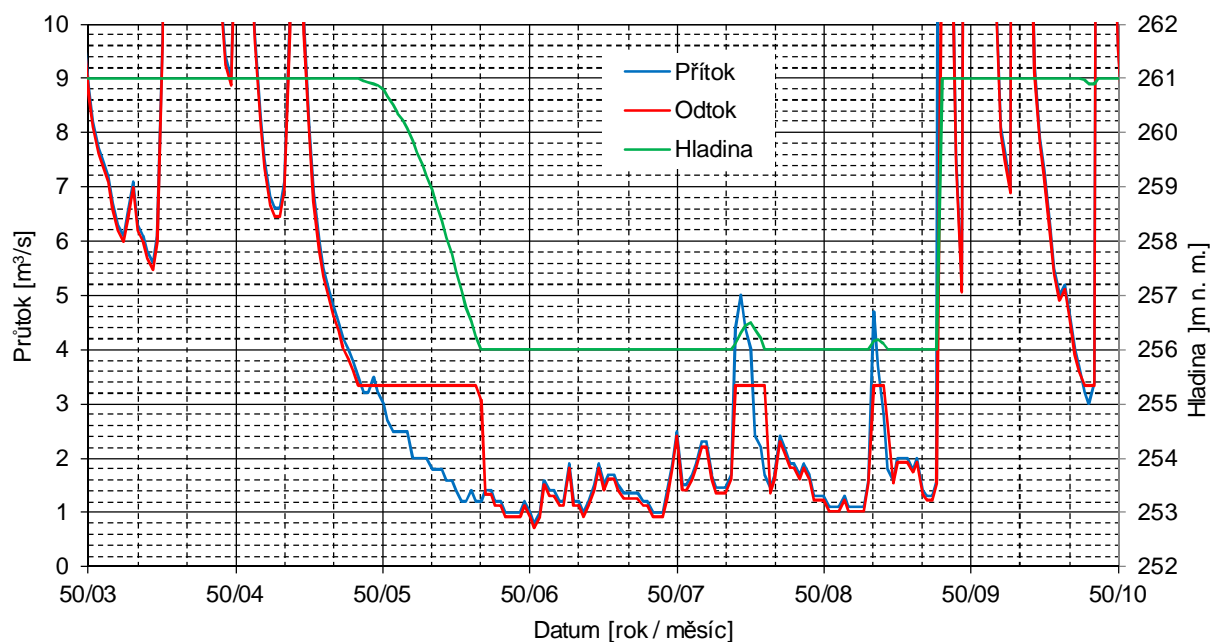
3.7 Výsledky řešení pro zabezpečení odběru 95,0 %



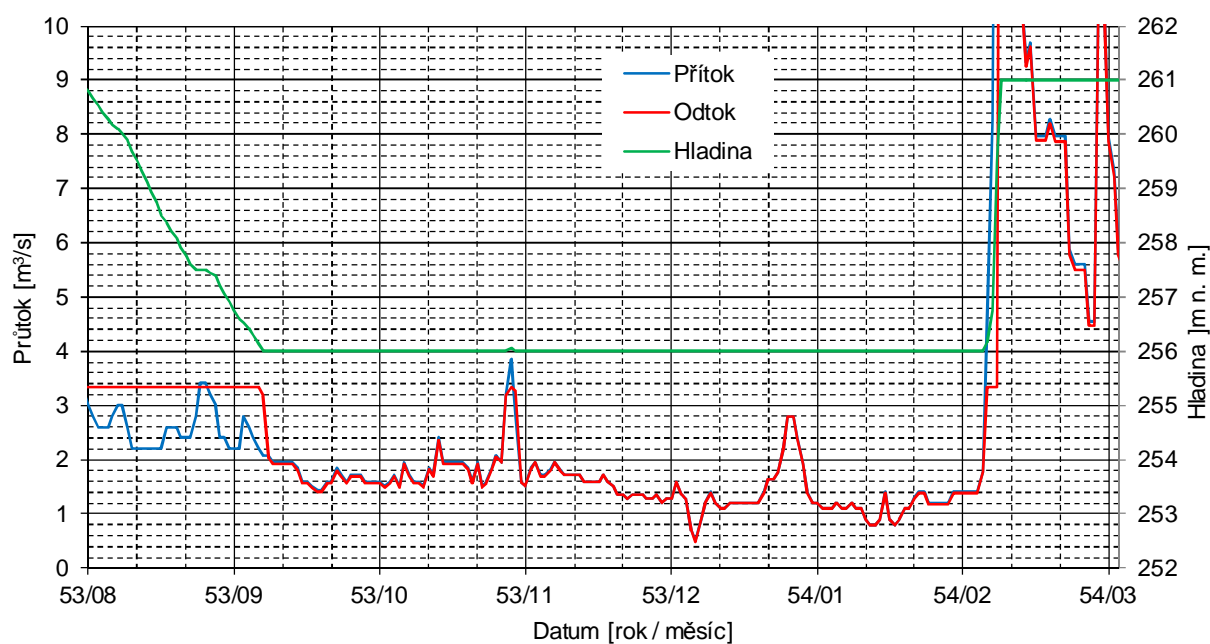
Čáry překročení polohy hladiny po měsících



Souhrnné roční čáry překročení průtoků a hladin



Výpadky dodávek v podstatné části suchého období v r. 1950



Výpadek dodávky v podstatné části suchého období na přelomu r. 1953 / 1954

3.8 Zhodnocení získaných výsledků

Pro navrženou velikost zásobního objemu nádrže byla provedena základní série simulačních výpočtů při jednostupňovém řízení odtoku a pro různé stupně zabezpečení odběrů. To dává dobrý přehled o možnostech zásobní funkce při dané velikosti zásobního objemu. Pro získání trendu závislosti na velikosti zásobního objemu byly potom obdobným způsobem, jak je popsáno výše, provedeny další simulace pro poněkud větší i menší zásobní objem. Podrobné výsledky již nejsou prezentovány (jsou obdobného charakteru) a jsou uloženy jako archivní data u zpracovatele. Výsledné hodnoty nalepšení jsou shrnuty v následující tabulce :

Zabezpečení	Q _{nal} [m ³ /s]			Přírůstek 1	Přírůstek 2
	M _z = 259,0	M _z = 261,0	M _z = 262,0	%	%
0,9500	3,04	3,36	3,47	10,5	3,3
0,9700	2,64	2,90	3,01	9,8	3,8
0,9900	2,03	2,26	2,35	11,3	4,0
0,9990	1,55	1,76	1,82	13,5	3,4
0,9999	1,49	1,72	1,78	15,4	3,5
1,0000	1,31	1,56	1,69	19,1	8,3

V případě s nižším zásobním objemem byla zvolena úroveň maximální zásobní hladiny M_z snižená o 2 m na kótu 259,0 m n.m. To představuje zmenšení zásobního objemu z 16,36 na 8,116 mil.m³, tedy o 50 %.

V případě s vyšším zásobním objemem byla zvolena úroveň maximální zásobní hladiny M_z zvýšená o 1 m na úroveň 262,0 m n.m. To představuje zvětšení zásobního objemu z 16,36 na 21,28 mil.m³, tedy o 30 %.

Celkově je z uvedených výsledků vidět, že relativní přírůstek nalepšeného průtoku je ve všech případech zhruba o jeden řád menší, než příslušný nárůst zásobního objemu :

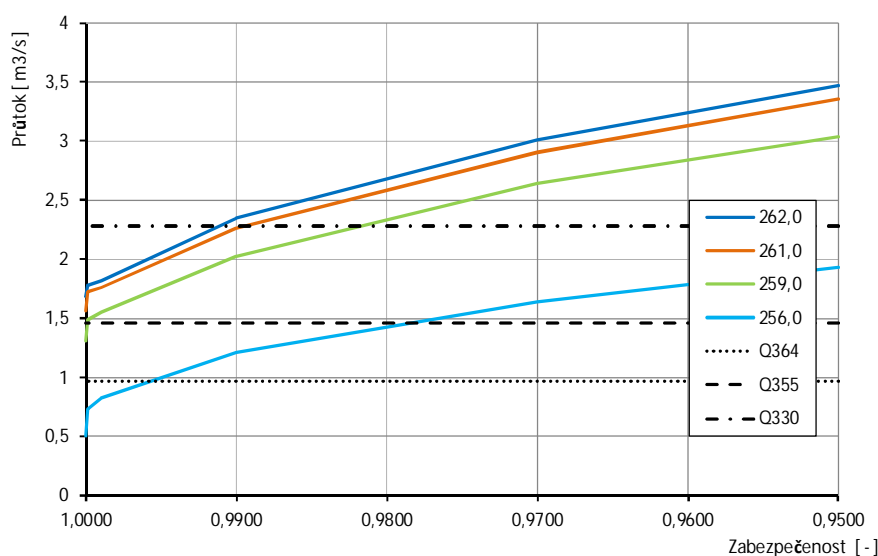
- Zvětšení zásobního objemu o 100 % (M_z = 259 → 261 m n.m.) přináší přírůstek zaručeného odtoku o 10 až 15 %. Výsledek při zabezpečení 100 % nebereme v úvahu, ten je vždy atypický, je ovlivněný extrémními singularitami.
- Zvětšení zásobního objemu o 30 % (M_z = 261 → 262 m n.m.) přináší přírůstek zaručeného odtoku o 3,3 až 4,0 %.

Z toho lze usuzovat, že v posuzovaném rozsahu velikosti nádrže není nějaká privilegovaná oblast většího nárůstu nalepšení a tento parametr se zvyšuje rovnoměrně s přírůstkem zásobního objemu. Rozhodnutí o volbě výsledné velikosti nádrže bude dáno spíše požadavkem na absolutní hodnotu nalepšeného průtoku, která by měla korespondovat s některým z obvyklých minimálních kvantilů na čáře překročení denních průtoků :

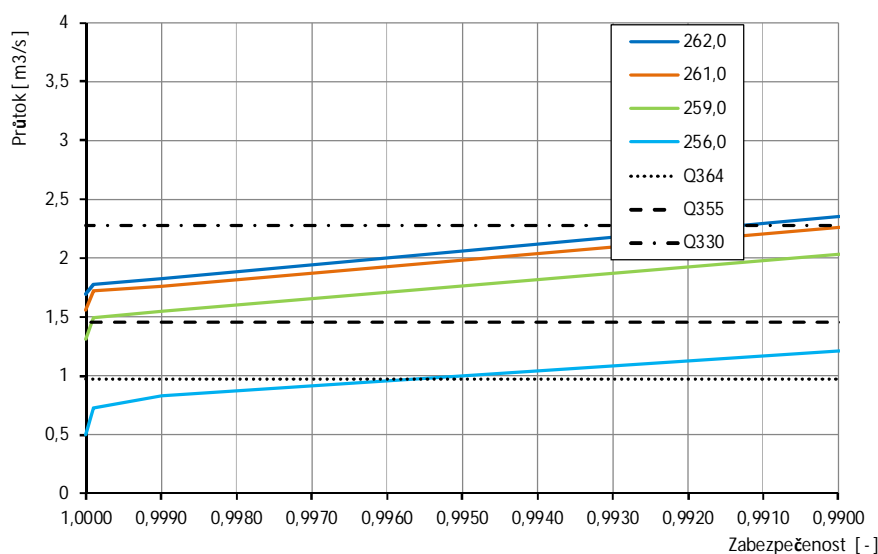
- Q₃₅₅ = 1,46 m³/s
- Q₃₃₀ = 2,28 m³/s
- Q₃₀₀ = 3,17 m³/s

Větší hodnoty nalepšeného průtoku v daném případě již nelze očekávat. Zabezpečení odběru přitom nemusí být extrémně vysoká, protože se nejedná o dodávky pitné vody. Za rozumnou hodnotu lze považovat 99 %. Potom se jeví jako doporučená úroveň M_z = 261,0 m n.m., při níž je hodnota nalepšeného odtoku 2,26 m³/s ÷ Q₃₃₀. Při dvoustupňovém řízení odtoku by bylo možné dosáhnout i zaručeného odtoku Q₃₀₀ při nižší zabezpečení kolem 96 %. Ve výše uvedené tabulce se jedná o barevně označené buňky.

Pro větší názornost byly výsledky ještě interpretovány jako grafické závislosti, jak je uvedeno níže :



Závislost nalepšeného odtoku na zvoleném stupni jeho zabezpečení pro různé polohy maximální zásobní hladiny



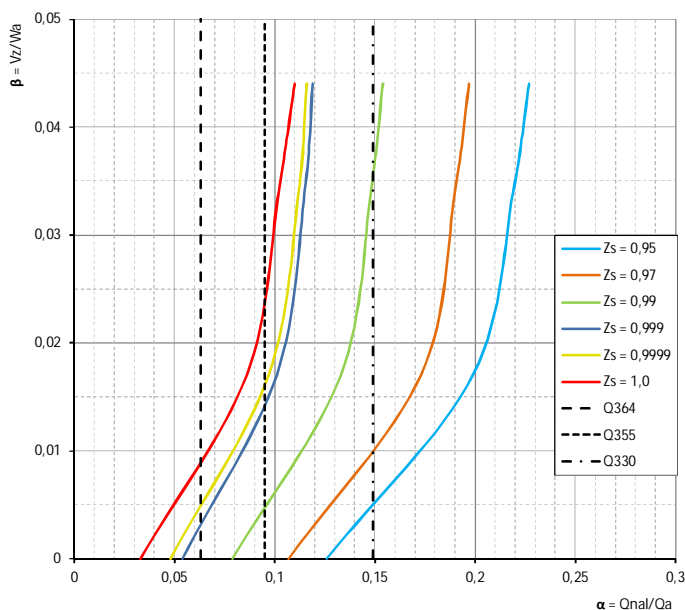
Stejný graf - zvětšená oblast nejvyšších zabezpečení

Pozn. :

Souběžnost jednotlivých funkčních závislostí je mj. dokladem homogenity použitých simulačních postupů a získaných výsledků s použitými hydrologickými daty.

Z grafů je patrné, že zvýšení zásobní hladiny na kótu 262,0 m n.m. již nepřináší takové zvětšení zaručeného odtoku, jako mezi kótami 259,0 až 261,0 m n.m.

Následující zobrazení nabízí ještě jiný pohled na interpretaci získaných výsledků.



Závislost součinitele nalepšení α na akumulčním součiniteli β při různých zabezpečenostech odběru

Pozn. :

Hodnoty pro $\beta = 0$ (tj. bez nádrže) byly odečteny ze sumární čáry překročení denních průtoků za celé sledované období. Rovněž zde je souběžnost jednotlivých funkčních závislostí dokladem homogenity použitých simulačních postupů a získaných výsledků s použitými hydrologickými daty.

Z grafu je vidět poměrně významný nárůst součinitele α (a tedy potažmo i nalepšených průtoků) v dolní části závislosti. To představuje rozdíl mezi stavem bez nádrže a stavem s malou nádrží o velikosti $\beta = 0,015$. Zde dochází k nárůstu součinitele α cca o 50 %. V oblasti $\beta = 0,017$ až $0,044$ podložené simulačními výpočty se tempo nárůstu součinitele α podstatně snižuje (obdobně jak je uvedeno v grafu v kap. 3.1.) a dosahuje 15 - 20 %. Nárůst efektu nalepšení je zde rovnoměrný, takže není možné preferovat některou z posuzovaných velikostí jako výhodnější - viz předchozí komentář k tabelárním výsledkům.

Při volbě doporučené velikosti zásobního objemu je nutné brát zřetel také na dosažení určité vhodné průměrné hloubky nádrže pro dosažení očekávaných kvalitativních parametrů vody. Čím mělkší nádrž bude, tím více se v ní bude během letní sezóny ohřívat voda a bude se snižovat obsah rozpuštěného kyslíku nutného pro zachování aerobních procesů. Při nejnižší uvažované poloze zásobní hladiny 259,0 m n.m. bude dosažena největší hloubka u hráze 5 m a průměrná hloubka jen 2,5 m - to je obdobné jako u většího rybníku. Při doporučené poloze zásobní hladiny 261,0 m n.m. bude dosažena největší hloubka u hráze 7 m a průměrná hloubka 3,5 m. V tomto případě je větší naděje, že v blízkosti hráze bude docházet alespoň k náznaku teplotní stratifikace. V případě mělké nádrže je to prakticky vyloučeno.

Dalším hlediskem pro volbu hloubky zásobního prostoru je potřeba vymezení alespoň dvou jeho základních částí :

- prostoru přísné manipulace
- prostoru volné manipulace.

Čím užší výškové rozmezí se stanoví pro uvedené části zásobního prostoru, tím složitější bude praktická manipulace na výtoku. Bude se muset častěji měnit nastavená hodnota odtoku.

4 ZÁVĚREČNÉ VYHODNOCENÍ

V části matematických simulací ochranné funkce bylo prokázáno, že menší nádrž s maximální hladinou na kótě 264,0 m n.m. může zajistit protipovodňovou ochranu území pod nádrží do velikosti PV100, tj. standardní teoretické povodňové vlny s kulminací $Q_{100} = 908 \text{ m}^3/\text{s}$. Větší nádrž s maximální hladinou na kótě 265,5 m n.m. může zajistit protipovodňovou ochranu území pod nádrží do velikosti PV1997, tj. skutečné povodňové vlny s kulminací $Q_{1997} = 950 \text{ m}^3/\text{s}$.

Při průchodu PV 1997 menší nádrž sice dojde k překročení neškodného průtoku, ale ne o mnoho. Při použití operativní manipulace (předpouštění) činí překročení neškodného průtoku jen 100 resp. 60 m^3/s . Zdá se tedy, že objem retenčního prostoru by bylo možné optimalizovat ve vazbě na přípustnou velikost neškodného odtoku a ideální řešení by tak bylo možné nalézt někde mezi oběma posuzovanými velikostmi nádrže.

V části matematických simulací zásobní funkce bylo zjištěno, že nádrž se zásobním objemem na kótě 261,0 m n.m. může zajistit zaručený minimální odtok v rozmezí 1,72 až 3,36 m^3/s - při různě vysoké zabezpečení. To může v případě suchého období (jako např. letos) významným způsobem zlepšit odtokové poměry pod nádrží a tak zlepšit ekologické a hygienické funkce vodního toku. Rovněž to může zaručit dodržení povolených odběrů pro průmyslové účely, zejména ve městě Přerov, ale i níže po toku.

Bez ohledu na volbu celkové velikosti nádrže projektant doporučuje stanovit maximální hladinu zásobního prostoru právě na kótě 261,0 m n.m a nikoliv níže. Nižší hladina by s sebou již přinášela větší rizika související se zajištěním potřebné kvality vody v nádrží.

V Brně, listopad 2015

Ing. Jan Sehnal