

**Akce:** Lužická Nisa, Jablonec nad Nisou  
Zvýšení ochrany města převodem povodňových průtoků přes VD Mšeno  
(číslo akce 239 050002)  
Hydraulický modelový výzkum hydrotechnických objektů :  
SO 01 - rozdělovací objekt na Lužické Nise,  
SO 03 - rozdělovací objekt na Bílé Nise,  
SO 04 - vtokový objekt,  
SO 06 - výtokový objekt.

**Objednatel:** Povodí Labe, s.p.  
Víta Nejedlého 951  
500 03 Hradec Králové  
tel.: 495 088 111  
fax: 495 407 452

**Zhotovitel:** Vysoké učení technické v Brně  
Fakulta stavební  
Ústav vodních staveb  
Laboratoř vodohospodářského výzkumu  
Veveří 331/95  
602 00 Brno  
tel.: 54114 7289  
fax: 54114 7288

**Zahájení a ukončení úkolu:** březen 2008 – prosinec 2008

**Odpovědný řešitel:** prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

**Spoluřešitel:** Ing. Michal Žoužela, Ph.D.

**Evidenční číslo SoD zhotovitele:** 128 43 213

**Evidenční číslo SoD objednatele:** D 952 080 020

**Datum:** 4.12.2008

**Razítko:**

# Obsah

strana

|     |                                                            |    |
|-----|------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Základní údaje k vodnímu dílu Mšeno .....                  | 3  |
| 2.  | Sledovaný záměr zvýšení ochrany města před povodněmi ..... | 3  |
| 3.  | Požadavky na výzkum, podklady, průběh prací .....          | 5  |
| 3.1 | Rozsah prací, smlouva o dílo .....                         | 5  |
| 3.2 | Upřesňování rozsahu prací .....                            | 5  |
| 3.3 | Průběh prací .....                                         | 6  |
| 4.  | Modelová podobnost .....                                   | 6  |
| 5.  | Zkušební zařízení .....                                    | 8  |
| 5.1 | Měrný hydraulický okruh .....                              | 8  |
| 5.2 | Měřicí technika .....                                      | 8  |
| 6.  | Výsledky výzkumu .....                                     | 8  |
|     | Použité podklady .....                                     | 10 |

|           |                                                        |    |       |
|-----------|--------------------------------------------------------|----|-------|
| Přílohy : | A Zkoušky rozdělovacího objektu SO 01 na Lužické Nise  | 23 | stran |
|           | B Zkoušky rozdělovacího objektu SO 03 na Bílé Nise     | 22 | stran |
|           | C Modelové zkoušky vtokového objektu SO 04 VD Mšeno    | 26 | stran |
|           | D Modelové zkoušky výtokového objektu SO 06 VD Mšeno   | 26 | stran |
|           | E Zápisy z výrobních výborů k výzkumu objektů VD Mšeno | 10 | stran |

## **1. Základní údaje k vodnímu dílu Mšeno**

VD Mšeno bylo vybudováno na počátku 20. století na Mšenském potoce, který protéká městem Jablonec nad Nisou a na jeho území ústí do Lužické Nisy. Součástí vodohospodářského díla byly i přivaděče z Lužické a Bílé Nisy, které od vybudování měly za úkol chránit Jablonec nad Nisou před povodněmi tím, že odkláněly povodňové průtoky do přehradní nádrže.

Využití existující nádrže VD Mšeno je omezeno velikostí neškodného odtoku Mšenským potokem, který (stejně jako Lužická i Bílá Nisa) má v průchodu zástavbou města jen omezenou kapacitu. Pro udržení neškodného odtoku z nádrže je nutné za povodní přítok z Lužické a Bílé Nisy do nádrže prostřednictvím přivaděčů za povodní omezovat v závislosti na stavu hladiny vody v přehradní nádrži.

## **2. Sledovaný záměr zvýšení ochrany města před povodněmi**

Při současných možnostech vypouštění dochází za větších povodní k relativně brzkému uzavírání převodů vody z Lužické a Bílé Nisy, přičemž disponibilní ochranný prostor je zaplňován na vzestupné větvi povodně a po regulaci nátoky zejména přítokem z vlastního povodí. Z uvedených důvodů nemůže být ochranný objem nádrže Mšeno optimálně využit ve prospěch území na Lužické a Bílé Nise.

Zvýšení ochrany města Jablonce nad Nisou před povodněmi má být dosaženo tak, že průtoky přesahující kapacitu Lužické a Bílé Nisy v průchodu městem se převedou přivaděči do nádrže VD Mšeno, kde dojde k transformaci povodně, dostatečná kapacita odtoku bude zajištěna novou štolou vyvedenou mimo intravilán města.

Cílem navrhovaných změn je dle [1] :

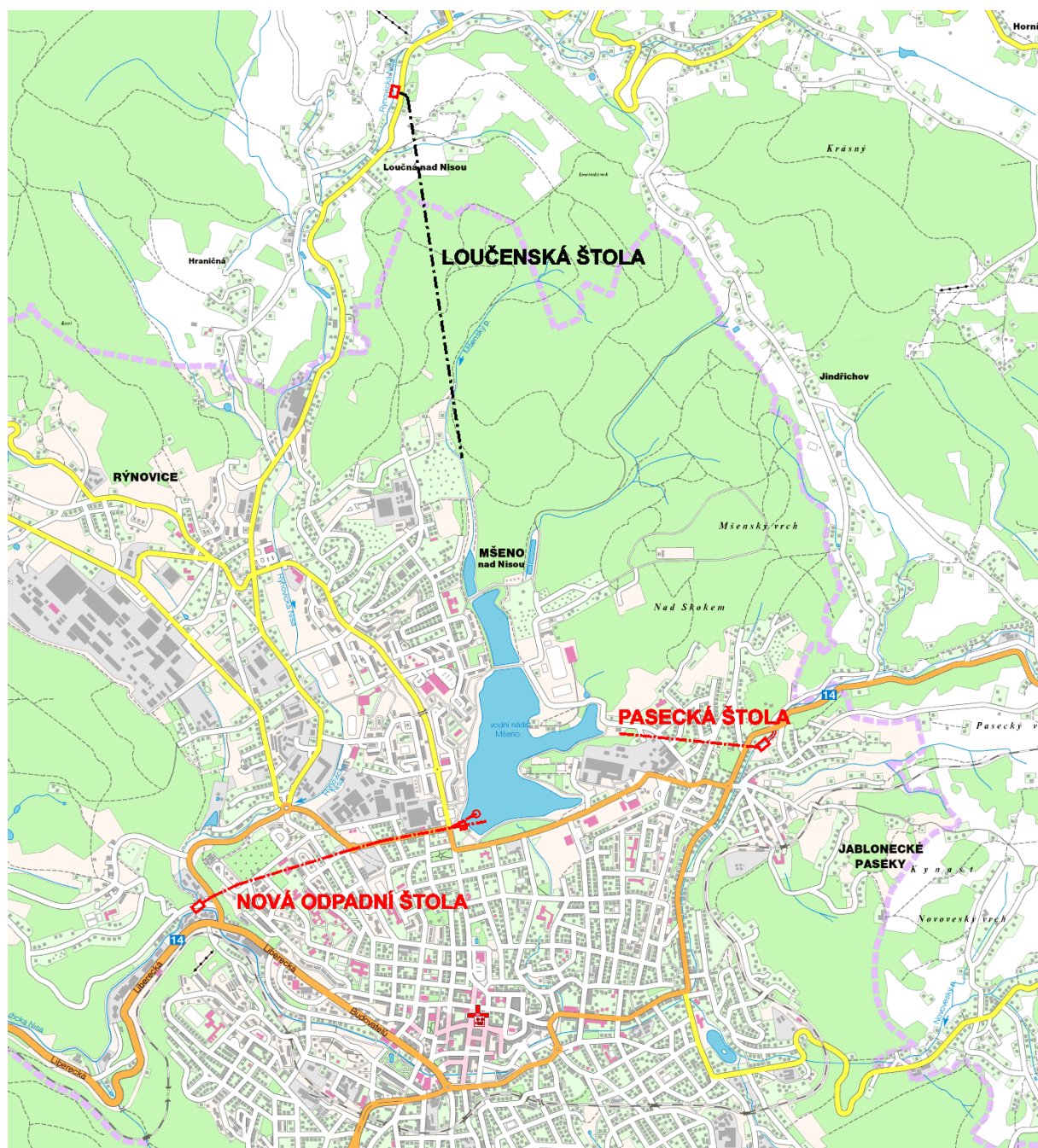
- dosáhnout příznivějšího dělení průtoků na rozdělovacích objektech na Lužické a Bílé Nise. Pásmo účinnosti ochrany před povodněmi má být rozšířeno do stoleté povodně na Lužické Nise a do padesátileté podvodně na Bílé Nise se (podrobněji jsou pravidla manipulací popisována v částech, která se zabývá koncepcí rozdělovacích objektů),
- dosáhnout efektivnějšího využití ochranného prostoru VD Mšeno,
- zlepšit možnosti operativního řízení odtoků za povodní,
- navrhnout nový kapacitní odtok z přehradní nádrže.

Vzhledem k tomu, že záměr ochrany před povodněmi města Jablonec nad Nisou spočívá v převodu průtoků Lužické a Bílé Nisy do přehradní nádrže Mšeno, je mezi řešené otázky pojímána i problematika bezpečnosti přehrady Mšeno za povodní. Přehrada Mšeno je umístěna nad zástavbou města a nelze připustit zhoršení dnešní úrovně bezpečnosti, která pro současný stav odpovídá aktuálním standardům.

Schéma soustavy je uvedeno na obr. 1.

V celém dalším textu budou objekty označovány symboly shodnými se symbolikou použitou v SoD. Symboly jsou převzaty z DÚR a jsou užívány u všech uváděných studií a podkladů [1,2,3,4].

V celém textu je uvažován výškový systém Balt p.v.



Obr. 1: Přehledná situace soustavy

### **3. Požadavky na výzkum, podklady, průběh prací**

#### **3.1 Rozsah prací, smlouva o dílo**

První orientační předběžná jednání v záležitosti předmětného hydraulického výzkumu objektů VD Mšeno proběhla již v letních měsících roku 2006. Jejich účelem bylo spíše potvrdit vhodnost koncepce řešení úprav a návaznost na možné hydraulické zkoušky. Jednání bylo vedena mezi zpracovatelem studie a (budoucím) zhotovitelem výzkumných prací.

V roce 2007 byla záležitost vícekrát na úrovni zpracovatel studie (Pöyry Environment, a.s.) a zhotovitel výzkumných prací (LVV-ÚVS-FAST-VUT v Brně) projednávána. Nabídka na provedení modelových zkoušek byla vypracována a 5.10.2007 zaslána zpracovateli studie.

Upřesňující vstupní jednání k realizaci modelového výzkumu bylo realizováno mezi provozovatelem VD Mšeno, zpracovatelem studie a námi dne 12.3.2008. Zde byl upřesněn a potvrzen jak rozsah prací, tak zejména jejich harmonogram. Jednání vyústilo v podpis SoD oběma stranami ke dni 8. 4. 2008.

Rozsah výzkumných prací je součástí přílohy k SoD.

#### **3.2 Upřesňování rozsahu prací**

V souladu se vstupním jednáním dne 12.3.2008 byly upřesňující podklady k provedení modelového výzkumu odevzdány ve dvou etapách:

- pro objekt vtokový a výtokový – 1. část  
dne 23.5.2008 [2],
- pro oba rozdělovací objekty – 2. část  
dne 13.6.2008 [3].

Další upřesnění, která se týkala rozsahů průtokových a hladinových poměrů, vyplynula z přímých jednání se zpracovatelem studie.

Z pozice objednatele byly na společných jednáních konaných dne 30.7.2008 a 18.9.2008 upřesněny mezní průtokové podmínky (návrhový průtok) pro vtokový objekt, převáděcí štolu a výtokový objekt na transformovaný průtok  $Q = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

V rámci výsledků modelových zkoušek se navrhované řešení výtokového objektu projevilo beze změny rozměrových parametrů uklidňovacího prostoru jako nevhodné, vyžadující dimenzování stěn obtékaných povrchů na vyšší hodnoty zatížení s vysokými tlakovými pulzacemi.

Již na jednání 30.7.2008 vyplynul od objednatele souhlas s možnou změnou koncepce řešení výtokového objektu se zvýšením sklonu štol po celé délce i případné změny jejího příčného průřezu. K možnosti změny koncepce bylo věnováno ještě společné jednání všech tří zainteresovaných stran, které se realizovalo 27.8.2008 u objednatele.

V rámci modelových zkoušek byly doporučeny tvarové úpravy obtékaných povrchů objektů, které byly vždy konzultovány se zpracovatelem studie z hlediska proveditelnosti a následně objednatelem odsouhlaseny. Tyto výsledky úprav a změn jsou uvedeny v konkrétních částech závěrů příloh A, B, C, D pro jednotlivé čtyři modelované objekty.

Společné výrobní výbory za přítomnosti zástupců všech tří stran se konaly ve věci zhodnocení výsledků a upřesnění dalších postupů ve třech termínech – 30.7.2008, 18.9.2008, 2.12.2008 (v prostorách LVV-FAST-VUT v Brně) a 27.8.2008 (na Povodí Labe, s.p. v Hradci Králové).

Zápisy z jednání jsou součástí přílohy E této zprávy.

Dne 11.9.2008 realizovali řešitel se spoluřešitelem prohlídku předmětných lokalit pro výstavbu čtyř modelovaných funkčních objektů VD Mšeno v Jablonci nad Nisou za přítomnosti zástupců objednatele (Povodí Labe, s.p., Závod Jablonec nad Nisou).

### 3.3 Průběh prací

Práce byly realizovány v souladu s odsouhlaseným harmonogramem, výsledky byly po ukončení a vyhodnocení zkoušek jednotlivých objektů předávány objednateli a v 1 paré zpracovateli studie.

V rámci ukončení jednotlivých zkoušek byly objednateli představeny provozní (případně i mimoprovazní) stavy na hydraulických modelech.

Přípravné práce a zkoušky byly realizovány v pořadí:

1. vtokový objekt (SO 04),
2. výtokový objekt a navazující přechodový úsek štol (SO 06),
3. rozdělovací objekt Lužická Nisa (SO 01),
4. rozdělovací objekt Bílá Nisa (SO 03).

Výsledky výzkumu a závěrečná dílčí doporučení pro realizaci tvarových úprav, manipulací a provozních omezení jsou uvedeny k materiálům zpracovaným k jednotlivým objektům v přílohách A, B, C, D.

## 4. Modelová podobnost

Na tomto místě budou popsány obecné požadavky na plnění podmínek modelové podobnosti. V případě všech sledovaných jevů na čtyřech objektech se jedná o problematiku proudění o volné hladině.

V případě dvou rozdělovacích objektů a objektu vtokového je společným hydraulickým rysem přepad přes plochu proudnicového tvaru.

U vtokového a výtokového objektu se realizuje proudění nadkritického (bystřinného) charakteru, které může být doprovázeno vznikem příčných vln, zejména na jejich skluzových částech. Při zvýšených rychlostech proudu může docházet k pohlcování vzduchu volným povrchem hladiny a provzdušňování proudu.

Z rozboru níže uvedených omezujících podmínek modelové podobnosti, požadavků na dodržení optimálních tvarových řešení objektů při jejich stavební ekonomičnosti a provozní bezpečnosti, prostorových možností zkušebny a kapacit jejích hydraulických okruhů vyplynula následující měřítko jednotlivých modelů :

- rozdělovací objekty SO 01 a SO 03 –  $M 1 : 10$ ;
- vtokový objekt SO 04 a výtokový objekt SO 06 –  $M 1 : 15$ .

Pokud na vlastním objektu i jeho modelu ovlivňují proudění převážně síly gravitační, platí pro vzájemný přepočítání jevů Froudovo kritérium modelové podobnosti:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l}, \quad (4.1)$$

kde  $v$  je průřezová rychlost proudu,  
 $g$  gravitační zrychlení,  
 $l$  charakteristický délkový rozměr.

Hodnota Froudova kritéria musí být pro proudový jev na modelu i díle shodná. Pro přepočítání následujících veličin platí:

$$l_s = l_m \cdot M, \quad (4.2)$$

$$v_s = v_m \cdot M^{0,5}, \quad (4.3)$$

$$Q_s = Q_m \cdot M^{2,5}, \quad (4.4)$$

kde  $Q$  je průtok,  
 $M$  délkové měřítko

a indexy  $s$  jsou vztaženy na skutečnost,  
 $m$  platí pro model.

Pokud je proudový jev ovlivněn více druhy sil (gravitační, viskozity, povrchové napětí) současně, nelze přepočtení uvažující dominantní působení pouze jedné z nich zcela přesně použít. Proto musíme brát u zmenšování modelovaných jevů v úvahu omezující podmínky, ohraničující „zdola“ platnost použitého kritéria.

Pro Froudovo kritérium platí při modelování proudových jevů se spolupůsobením kapilárních sil vyvolávajících povrchové napětí nutnost dodržení těchto spodních mezních hodnot [6]:

- a) přepadová výška u zaobleného jezového přelivu na modelu musí být  $h_{\min} \geq 50 \text{ mm}$ ,
- b) povrchová rychlost proudu na modelu musí být  $u > 0,23 \text{ m.s}^{-1}$ , aby kapilární síly nebránily tvoření povrchových vln.

Vlastních omezujících podmínek je více, tyto vzhledem k rozměrům modelů, charakteru hydraulických jevů na nich i prakticky jejich velmi malého vlivu na modelované jevy, neuvádíme.

Podmínka nutné povrchové rychlosti proudu na modelu ad b) je splněna na skluzu v celém rozsahu průtoků po celé jeho délce.

Důležitou mezí je také stav promísení vody se vzduchem. Ke strhávání vzduchu do vody dochází při rychlostech proudu  $v > (3 \div 6) \text{ m.s}^{-1}$ . Na modelu vtokového objektu dosahujeme právě její spodní meze. Přepočtení námi získaných výsledků na dílo bude zajištěn postupem vyplývajícím ze zpracovaných výsledků na dílech [5].

Pro modelovaný obtékaný povrch vyplývá z Froudova kritéria přepočtení modelového stupně drsnosti:

$$n_m = \frac{n_s}{M^{1/6}}. \quad (4.5)$$

Pro meze stupně drsnosti očekávané u budoucího betonového povrchu  $n_s = 0,014 \div 0,017$  vycházejí pro měřítko  $M = 10$  (15) následující meze modelové meze stupně drsnosti  $n_m = 0,010 \div 0,012$  ( $0,009 \div 0,011$ ). Tato drsnost odpovídá sklu, novoduru, termoplastovým deskám případně i tmelenému a lakovanému povrchu tvrzeného polystyrénu.

## **5. Zkušební zařízení**

### **5.1 Měrný hydraulický okruh**

Modely jednotlivých objektů byly umístěny do dvou hal hydraulické zkušebny.

Tlakové okruhy v obou halách jsou vybaveny indukčním průtokoměrem s platným metrologickým ověřením pro měření průtoku, jeho přesnost činí 1,5 % .

Průtoky byly regulovány prostřednictvím frekvenčních měničů provozujících čerpadel. Trati byly provozovány v plně automatizovaném režimu se stabilizací průtoku. Kapacita tratí plně vyhovovala podmínkám požadovaným v zadáních k jednotlivým objektům. Prostřednictvím průtokoměru na tlakové větvi byly kalibrovány i ostrohranné přelivy používané pro stanovení dílčích průtoků u dvou rozdělovacích objektů.

Napojení tlakového potrubí na jednotlivé modely objektů bylo upraveno pro získání odpovídajících vstupních proudových okrajových podmínek. Konkrétní řešení jsou popsána v textové části náležející každému konkrétnímu objektu.

### **5.2 Měřicí technika**

Při měření úrovně hladiny v nádrži vtokového objektu bylo využito ultrazvukového (UZV) principu. Jeho přesnost činí 1 mm. V ostatních případech nebylo možné daný princip pro relativně větší lokální rozkolísání hladiny využít. V těchto případech bylo použito hrotových měřitek s elektronickým displejem s možnou přesností odečtu v reálných podmínkách 1 mm.

Pro měření hloubek proudu při regulaci hladinových poměrů na modelech bylo využíváno ocelových měřitek.

## **6. Výsledky výzkumu**

Vzhledem k obsahové rozsáhlosti a časové náročnosti celého souboru prací budou využity k této závěrečné zprávě texty zpráv s výsledky k jednotlivým objektům, které byly v jednotlivých časových etapách objednateli odevzdány. Tyto dílčí zprávy jsou bez úprav přiloženy k předmětné závěrečné zprávě jako přílohy A, B, C, D. K jednoznačnosti u přiložené obrázkové a fotografické dokumentace je použita symbolika P SO Ox - ----, označující identifikační označení objektu a následné číslování obrázku či fotografie.

Součástí jednotlivých dílčích částí jsou i odkazy na použité podklady v rámci popisovaného výzkumu. Číslování je v souladu s veškerou použitou dokumentací v rámci celého úkolu.

Použitá symbolika je rovněž pro každý sledovaný případ uvedena v textu příslušné dílčí části. K nežádoucí záměně symbolů mezi jednotlivými texty, popisujícími výsledky výzkumu objektů, nemůže dojít.

Výsledky modelových výzkumů byly předmětem hodnocení a výběru možností dalších či upravených aplikací na vlastním díle prováděných na společných výrobních výborech.

Zde na závěr lze shrnout společné stanovisko objednatele, projektanta i zhotovitele k budoucí aplikaci výsledků výzkumu.

Prakticky přímo jsou aplikovatelné výsledky modelového výzkumu rozdělovacího objektu Lužická Nisa SO 01. Tento objekt po realizaci výsledných doporučených úprav (tvar předpolí, nastavení stavidlové tabule) splňuje všechny zadáním očekávané požadavky.

Rovněž závěry z modelových zkoušek jsou přímo aplikovatelné u vtokového objektu SO 04, výsledky umožňují i případné tvarové přizpůsobení rozměrů protékanych částí objektu na nižší hodnoty limitních provozních průtoků  $Q = 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Výsledky modelových zkoušek rozdělovacího objektu Bílá Nisa SO 03 potvrzují vhodnost hydraulického řešení protékanych částí. Ani při maximálních povodňových průtocích nedojde k nežádoucím tlakovým a hladinovým poměrům ve spadišti a zejména pod mostní konstrukcí a ve vstupním prostoru štol. Toto je způsobeno vzdutím hladiny v prostoru spadiště a vtoku vyvolaným poměrně vysokými hodnotami zejména třecích ztrát mechanické energie ve štolě. Při současném neupraveném obtékaném povrchu štol nelze očekávat její vyšší kapacitu při tlakovém režimu než  $Q_{ST \max} = 11,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (platí pro maximální úroveň hladiny v rozdělovacím objektu 517,60 m n.m.). Za těchto hladinových poměrů lze dosáhnout zvýšení kapacity štol při úpravě jejího povrchu, pro stupeň drsnosti  $n = 0,017$  by činila

$$Q_{ST \max} = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

Za tímto účelem byl odsouhlasen postup pro posouzení možnosti úprav povrchu štol, který zahrnuje jeho stavebně technický průzkum a hydraulické zkoušky stanovení stupně drsnosti v reálných proudových podmínkách.

Výsledky modelového výzkumu potvrdily relativně obtížnou aplikovatelnost zvolené koncepce výtoku objektu SO 06. Hladina dolní vody na výtoku z něj při vyšších průtocích způsobuje zahlcení závěrečného úseku rámové konstrukce obdélníkového profilu pod místní komunikací, proudění je tlakového charakteru s očekávatelnými vysokými tlakovými pulzacemi. Povrch současně navrhovaného prostoru vývarové kaverny by byl zatížen značnými tlakovými pulzacemi způsobenými střídavě uzavíranými vzduchovými prostory u stropu nad vodním skokem. Řešení při této zvolené koncepci by vyžadovalo značné zvýšení prostoru vývarové kaverny a zesílení rámové konstrukce navazujícího úseku s přizpůsobením vlivu pulzací. Z tohoto důvodu byla v rámci výsledků výzkumu doporučena další koncepce, která je předmětem současného prověřování objednatelem i projektantem. Navržené řešení je založeno na převedení proudu v odpadní štolě po celé její délce o volné hladině. Štola může být s výhodou výškově vedena ve vyšším sklonu dna přizpůsobeném navázání vstupní a výstupní úrovně (konec skluzu vtokového objektu, úroveň koryta toku v profilu vyústění štol).

Výsledky u obou rozdělovacích objektů a objektu vtokového umožňují vzhledem k jejich zpracování realizovat v rámci přímého projektového řešení jisté meze tvarových i manipulačních úprav bez nutnosti dalších navazujících experimentů.

.....  
prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

Brno 3. 12. 2008

### **Použité podklady**

- [1] Lužická Nisa – Jablonec nad Nisou. Zvýšení ochrany města převodem povodňových průtoků přes VD Mšeno. Variantní studie, Pöyry Environment, a.s., Brno, březen 2007
- [2] Lužická Nisa – Jablonec nad Nisou. Podklady pro modelový výzkum, Pöyry Environment, a.s., Brno, květen 2008
- [3] Lužická Nisa, Jablonec nad Nisou. Podklady pro modelový výzkum – 2. část, Pöyry Environment, a.s., Brno, červen 2008
- [4] Lužická Nisa – Jablonec nad Nisou. Zvýšení ochrany města převodem povodňových průtoků přes VD Mšeno. Variantní studie, AQUATIS, a.s., Brno, listopad 2005
- [5] Kolář, V. a kol.: Hydraulika. SNTL Praha, 1966
- [6] Čábelka, J.; Gabriel, P.: Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice. Academia Praha, 1987