

NOVÉ POZNATKY Z HYDRAULICKÉHO VÝZKUMU PRVKŮ K USMĚRNĚNÍ PROUDU ZA ROZSTŘIKOVACÍM UZÁVĚREM

NEW RESULTS FROM HYDRAULIC RESEARCH OF FLOW DEFLECTORS
FOR HOLLOW-CONE VALVES

Ing. Adam Nehudek; prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

ABSTRAKT

Vzhledem k dobrým regulačním vlastnostem, relativně nízkým pořizovacím nákladům a provozní spolehlivosti patří rozstříkovací uzávěry k nejrozšířenějším koncovým uzávěrům spodních výpustí přehrad. K zajištění bezpečného provozu vodního díla je nutné výtokový paprsek usměrnit vhodně tvarovanými usměrňovacími plochami do odpadního koryta. Článek uvádí závěry ze zkoušek usměrňovacích prvků provedených na zmenšeném hydraulickém modelu.

Klíčová slova: rozstříkovací uzávěr, usměrňovací komora, usměrňovací prvek, odklon paprsku, součinitel výtoku, kapacita uzávěru

ABSTRACT

For good hydraulic properties and relative low initial costs, fixed-cone valves belong between most widely used bottom outlet valves. To ensure safe operations of dams is important to direct the outflow jet by appropriate shaped chamber to outlet trough. Article shows conclusions from tests of discharge chambers, which have been done on reduced hydraulic model.

Key words: hollow-cone valve, valve box, discharge chamber, hood, flow deflector, outflow coefficient, valve capacity

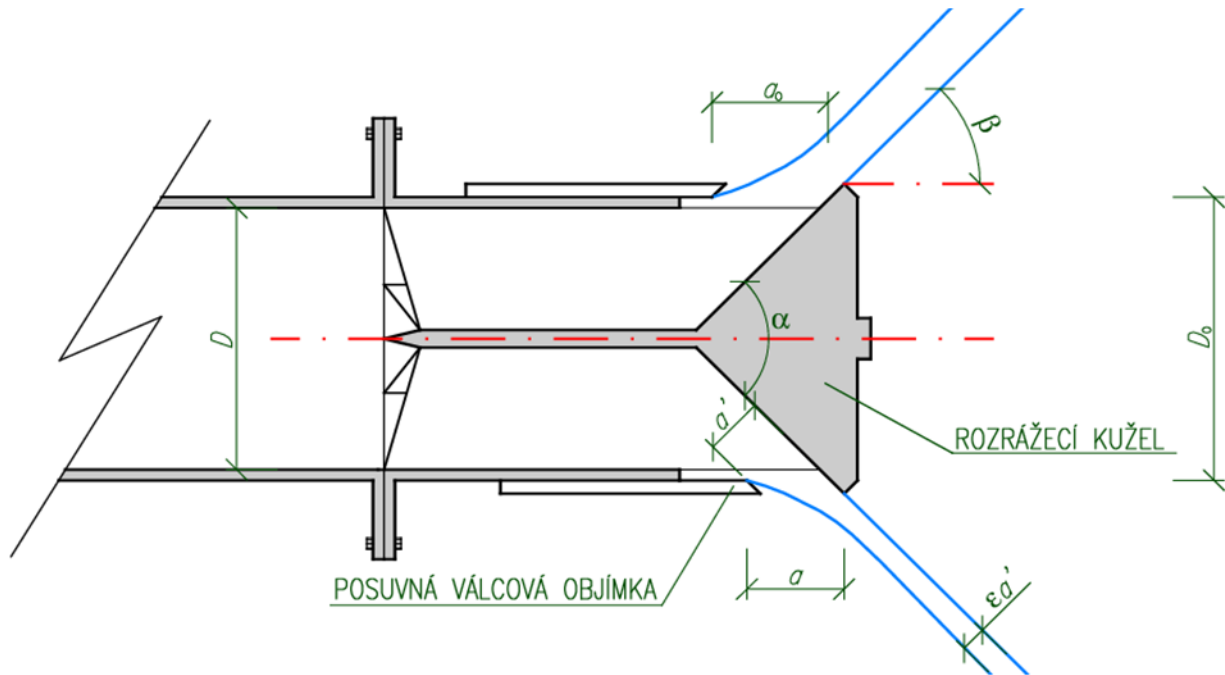
1 ÚVOD

K řízení odtoku pomocí spodních výpustí se na přehradách využívají různé typy koncových regulačních uzávěrů. Tyto uzávěry umožňují manipulaci (změnu otevření) za různých tlakových spádů. Ke konstrukčně nejjednodušším a zároveň hydraulicky výhodným typům se řadí rozstříkovací uzávěry (RU), které jsou v ČR značně rozšířené (Jaroš 1990, s. 32).

Tělo RU (na obr. 1) tvoří rozrážecí kužel s vrcholem orientovaným proti směru proudění, který je k potrubí přichycen radiálními žebry, počet těchto žebrování bývá různý, nejčastěji se v současné době používají 4 žebra. Regulace průtoku se dosahuje posunem válcové objímky přes rozrážecí kužel, v uzavřené poloze objímka těsně dosedá k podstavě kužele. Velikost jeho vrcholového úhlu se v ČR i ve světě ustálila na hodnotě $\alpha = 90^\circ$ (Šulc 2005, s. 47).

K vyjádření míry otevření uzávěru se využívá délka otevření a vztažená ke vstupnímu průměru uzávěru D . Poměr a/D se nazývá relativní otevření a jeho maximální hodnota a_0/D se pohybuje obvykle v rozmezí 0,4 až 0,6; větší hodnoty otevření (tzv. přetevření) nejsou zpravidla voleny pro nízký nárůst výtokové kapacity spojený s neúměrně rostoucími výrobními náklady (Kratochvíl, 1966, s. 24).

Kapacitu uzávěru charakterizuje součinitel výtoku m , který udává poměr mezi skutečným průtokem a průtokem ideální kapaliny nekontrahovanou (čistou světlou) plochou vstupního průřezu při odpovídajícím energetickém spádu.



Obr. 1 Schématický podélný řez RU

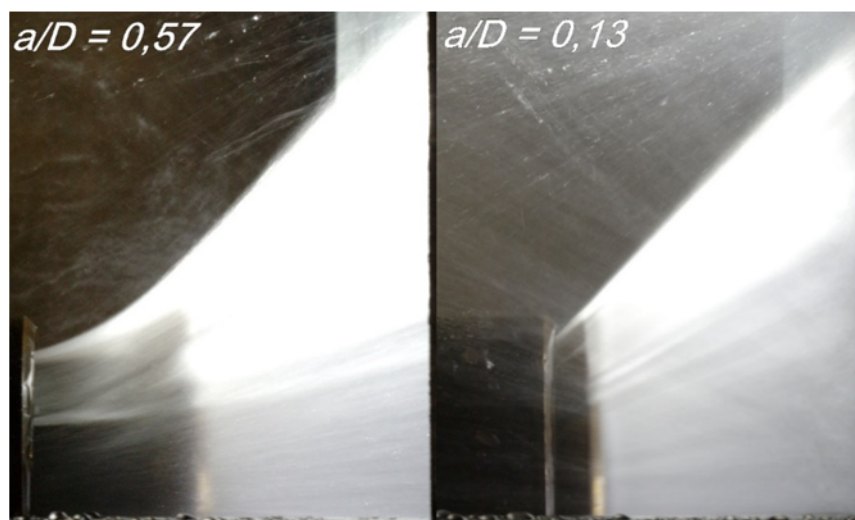
Neomezený výtokový paprsek z RU má tvar dutého kužele a široce se rozprostírá do okolí, avšak prostorové poměry na většině vodních děl neomezený rozstřík neumožňují (byť je z hlediska tlumení energie a provzdušnění proudu výhodnější). Transformace původního kuželového tvaru výtokového paprsku na požadovaný velmi často prizmatický tvar je dosaženo správnou volbou tvarů usměrňovacích ploch komor či konstrukcí. Komory bývají zpravidla situovány u vzdušných líců vzdouvacích staveb, usměrňovací konstrukce bývají v prostoru uzávěru kotveny do funkčního bloku stavby nebo jsou přímo součástí konstrukce RU. Pro potřeby tohoto textu budeme chápat termíny usměrňovací komora (součást objektu spodní výpusti) a usměrňovací prvek (součást RU) jako ekvivalentní. Vhodný tvar těchto usměrňovacích komor (včetně jejich vlivu na kapacitu) byl a stále je předmětem mnoha výzkumů.

Zde popsané závěry byly získány měřeními na zmenšeném hydraulickém modelu RU o vstupním průměru $D = 67$ mm s úhlem rozrážecího kužele $a = 90^\circ$ a průměrem podstavy rozrážecího kužele $D_0 = 1,3 \cdot D = 87$ mm. Maximální otevření tohoto uzávěru je $a/D = 0,57$. Zkoušky byly prováděny v automodelové oblasti spádů a odpovídajících průtoků při výtoku do volna.

2 ODKLON PAPRSKU OD OSY UZÁVĚRU

Pro návrh vhodných tvarů usměrňovacích komor je klíčová znalost trajektorie výtokového paprsku, především její odklon od osy uzávěru charakterizovaný úhlem b . V odborné literatuře panoval dosud nejednoznačný názor na závislost úhlu odklonu b na otevření uzávěru a/D . Vstupní experimenty pro zkoušky trajektorií prováděné na upraveném uzávěru s výsekem výtokového paprsku omezeným do horizontální roviny naznačovaly jistou závislost. Provedené zkoušky na uzávěru bez omezeného výtoku však prokázaly, že v odlehlosti od osy RU $l \geq D$ v rozsahu zkoušených otevření $a/D = (0,13 \div 0,57)$ paprsek sleduje směr povrchu rozrážecího kužele a úhel $b = 45^\circ$ je konstantní (viz obr. 2). Rozhodující vliv na směr paprsku má zřejmě poměr D_0/D . Pro $D_0/D \geq 1,3$ je zajištěn konstantní úhel odklonu, pro menší poměry se může již více projevit vliv setrvačnosti proudu na směřování paprsku.

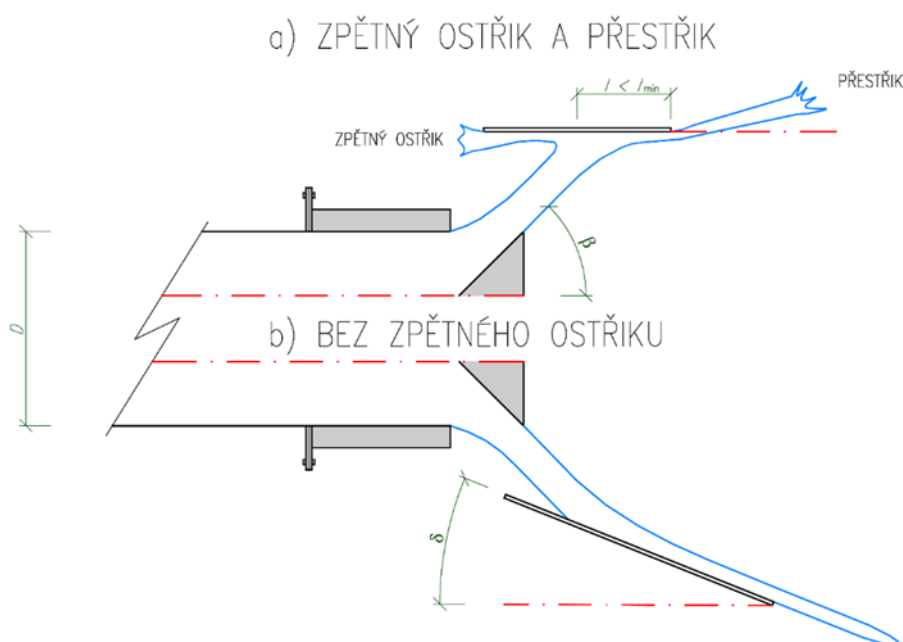
Toto zjištění výrazně usnadňuje návrh usměrňovacích ploch, protože úhel dopadu výtokového paprsku na povrch se s otevřením uzávěru nemění, mění se pouze mírně poloha dopadu paprsku, jehož tloušťka se s rostoucím otevřením zvětšuje.



Obr. 2 Fotografie vnějšího líce výtokového paprsku dokazující konstantní úhel odklonu v rozsahu uvedených otevření, platí pro $\Delta \geq D$

3 OPTIMÁLNÍ TVAR DOPADOVÝCH USMĚRŇOVACÍCH PLOCH

Z provozních důvodů je vhodné, aby výtokový paprsek po dopadu na stěnu usměrňovacího prvku odtékal pouze v poproudním směru. Opačný jev se označuje jako zpětný ostřík a v zimních měsících může způsobovat vznik námrazy na uzávěru. Z požadavků na bezpečnou provozní funkci komory dále vyplývá, aby proud vody ji opouštějící byl směřován do požadovaného prostoru nejčastěji ve směru rovnoběžném s osou uzávěru. Pokud je výtokový paprsek spolupůsobící plochou ovlivněn pouze na krátké dráze, pak vodní proud po opuštění komory směřuje vlivem setrvačnosti mimo osový směr, tehdy hovoříme o přestříku. Obr. 3 názorně shrnuje oba nepříznivé jevy.

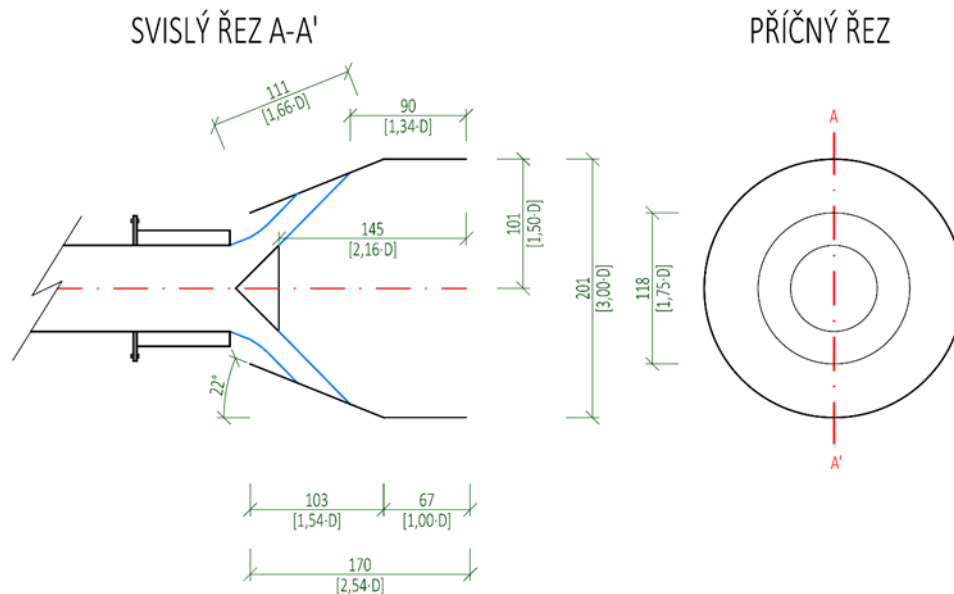


Obr. 3 Schéma výtoku a) se zpětným ostříkem a přestříkem, b) bez zpětného ostříku a přestříku

Z experimentů byla pro vedení výtokového paprsku bez přestřiku stanovena hodnota minimální spolupůsobící délky $l_{\min} = 35 \text{ mm} = 0,52 \cdot D$ a minimální hodnota úhlu odklonu d usměrňovací roviny od podélné osy uzávěru, při které nedochází ke zpětnému ostříku, $d_{\min} = 22^\circ$.

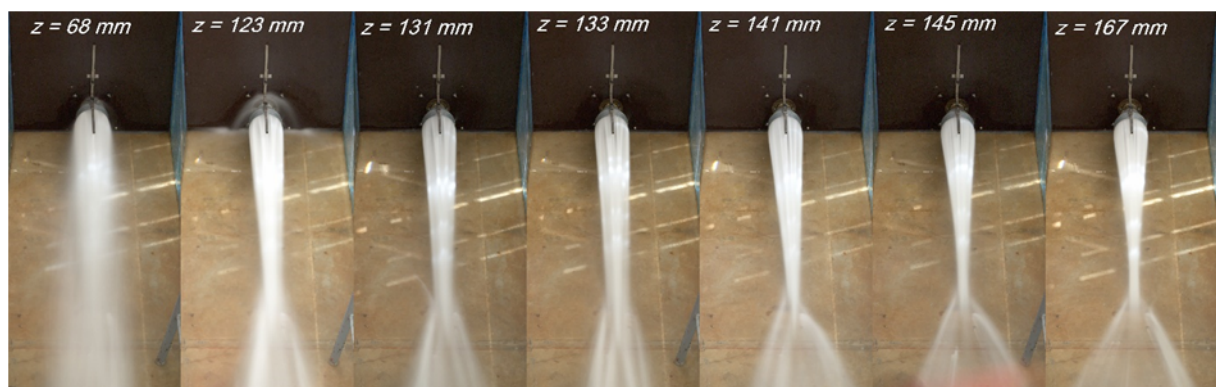
Na základě těchto poznatků byl navržen vhodný tvar usměrňovacího prvku ve dvou variantách:

- rotačně-symetrický, který je vhodný pro dodatečně instalovaný prvek na stávající konstrukce RU (na obr. 4),
- a čtvercového příčného průřezu vhodného k betonáži uzávěrových komor s usměrňovací funkcí nových objektů spodních výpustí vzdouvacích staveb.



Obr. 4 Výsledný tvar usměrňovací komory – rotačně symetrické varianta

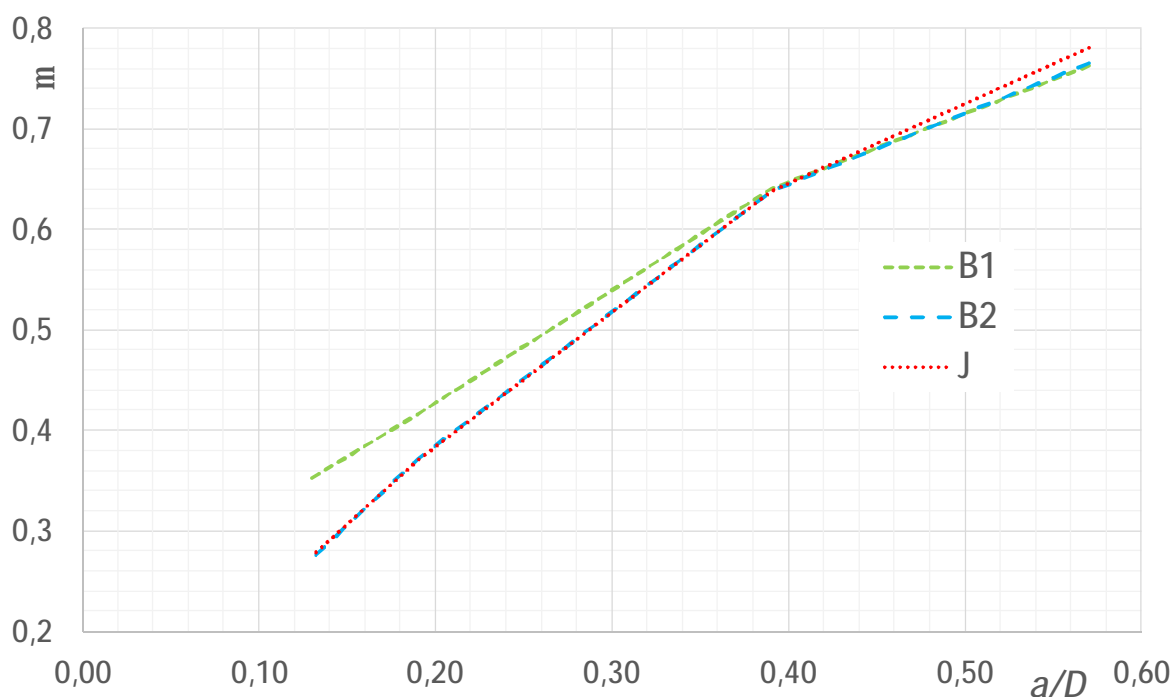
Pro tyto varianty byly provedeny ověřovací zkoušky, při kterých byla hledána optimální odlehlost z profilu podstavy rozřázcího kužele a výtokového profilu usměrňovacího prvku s ohledem na konfuzornost či difuzornost výtokového paprsku. Na obr. 5 jsou fotografie tvaru paprsku pro různé odlehlosti z , z této fotografie je zřejmé, že pro $z \geq 0,145 \text{ m}$ už nedochází k pozorovatelnému vlivu posunutí na tvar paprsku.



Obr. 5 Tvary výtokového paprsku v závislosti na posunutí rotačně-symetrické komory v podélném směru, horizontální osa uzávěru i komory

4 VLIV USMĚRŇOVACÍCH KOMOR NA KAPACITU UZÁVĚRU

Provedené kapacitní zkoušky s různými tvary komor, jejichž označení bylo převzato z předchozích experimentů (Šulc 2016, s. 23), prokázaly, že při nedostatečném přísunu vzduchu do prostoru mezi vnějším lícem výtokového paprsku a komorou, vzniká podtlak, který zvyšuje kapacitu uzávěru (v grafu na obr. 6 charakterizovanou součinitelem výtoku m). Velikost tohoto podtlaku závisela na průřezové rychlosti v ve vstupním profilu přírodního potrubí uzávěru, která se zvyšovala s klesajícím otevřením uzávěru, proto jsou změny kapacity zřetelnější při menších otevřeních. Zkoušeny byly dvě komory: B a J. Komora B (prizmatická, kruhového příčného průřezu) navíc ve dvou polohách s rozdílnou podélnou odlehlostí od RU. Ve variantě B1 bez přístupu vzduchu k vnějšímu povrchu výtokového paprsku a ve variantě B2 s přístupem vzduchu. Jako komora J je označena výsledná rotačně-symetrická varianta na obr. 4. Pokud je zajištěn přístup vzduchu do uvedeného prostoru, nemá usměrňovací prvek vliv na kapacitu RU.



Obr. 6 Závislost součinitele výtoku na relativním otevření uzávěru pro zvolené tvary komory a jejich varianty s různým přísunem vzduchu

5 ZÁVĚR

Získané výsledky systematických zkoušek umožňují hospodárný a efektivní návrh usměrňovacích prvků RU dle podmínek v prostoru dolní zdrže vodního díla. Limitujícími parametry pro návrh prvku jsou zde zjištěné mezní hodnoty úhlu odklonu výtokového paprsku od osy uzávěru, hodnoty minimální spolupůsobící délky usměrňovací plochy a hodnoty úhlu odklonu této plochy od osy RU.

K zajištění bezpečného provozu spodních výpustí s usměrňovacími komorami je nutné dostatečně zavzdušnit vnější i vnitřní povrch výtokového paprsku v komoře. Nevhodně či nedostatečně provedené zavzdušení způsobuje vznik podtlaku v komoře na vnějším líci výtokového paprsku, což na jedné straně sice vede k malému nárůstu kapacity uzávěru, ale cílené vytváření podtlakových podmínek v prostoru výtoku je rizikové s ohledem na možný vznik kavitace na obtékaných hranách rozrážecího kužele i posuvné objímky, rovněž by mohlo dojít k navýšení provozně nepříznivých pulsací tlaků a sil. Získané poznatky naleznou využití právě při bezpečném návrhu usměrňovacích

komor s ohledem na snížení zátěže dna a svahů odpadního koryta, zamezení nežádoucího rozstříku vodní tříště po okolí a omezení vzniku kavitace.

6 PODĚKOVÁNÍ

Práce byly provedeny s podporou projektů FAST-J-16-3466 „Charakteristiky volných přepadových a výtokových paprsků“ a FAST-S-15-2841 „Přelivy za specifických hydraulických podmínek“.

Použitá literatura

- [1] JAROŠ, F.: *Směrnice pro výpočet hydraulických ztrát v přivaděcích a výpustech vodních elektráren – ztráty v uzávěrech*. VVÚ VSH VUT v Brně, 1990
- [2] KRATOCHVIL, S.: *Hydraulické vlastnosti vysokotlakých uzávěrů*. Závěrečná výzkumná zpráva, VVÚVSH VUT v Brně, 1966
- [3] ŠULC, J.: *Shaping the outflow jet of tainter gates and hollow cone valves directed into water tunnels*. Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 29, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden, 2005, str. 45 – 54, ISSN 0949-5061
- [4] ŠULC, J.; NEHUDEK, A.: *Hydraulický výzkum konstrukcí pro usměrnění vytékajícího proudu z rozstříkovacího uzávěru*. Brno: LVV, ÚVST, FAST, VUT v Brně, 2015, 53 s