

MÍRA ZPĚTNÉHO OSTŘIKU JAKO FUNKCE DOPADOVÉHO ÚHLU

BACKSPLASH RATE AS A FUNCTION OF IMPACT ANGLE

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

ABSTRAKT

Článek pojednává o stanovení závislosti míry zpětného ostříku na odpadovém úhlu vodního proudu vystupujícího z rozstříkovacího uzávěru pomocí 2D numerického výsekového modelu v programu FLOW-3D.

Klíčová slova: zpětný ostřík, dopadový úhel, rozstříkovací uzávěr, 2D modelování, výsekový model

ABSTRACT

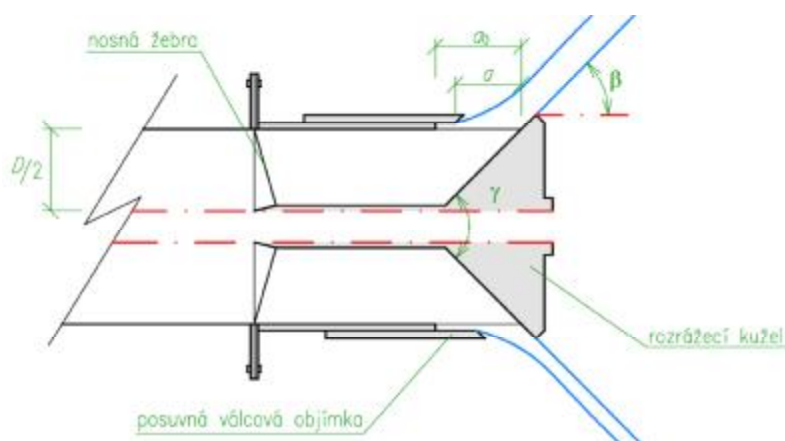
Article describes determination of backsplash rate dependence on water jet impact angle. The water jet is discharging from fixed-cone valve. Experiments were made on 2D numerical cutout model in FLOW-3D programme.

Key words: backsplash, impact angle, Howell-bunger valve, fixed-cone valve, hollow cone valve, 2D modelling, cutout model

1 ÚVOD

Mezi nejčastěji využívané koncové regulační uzávěry spodních výpustí přehrad patří rozstříkovací uzávěry (RU), které jsou v ČR i ve světě oblíbené pro jednoduchou konstrukci, dobré hydraulické vlastnosti a relativně nízké pořizovací náklady (Kratochvíl, 1966, s. 24). Často jsou jimi v rámci rekonstrukcí nahrazovány starší typy regulačních uzávěrů.

K hlavním nevýhodám RU patří rozbíhavý tvar výtokového paprsku v podobě dutého kužele, který se s rostoucí vzdáleností od uzávěru mění ve vodní tříšť, jež zasahuje do širokého okolí. Takový rozstřík vodní tříště je z provozních důvodů nežádoucí (např. z důvodů vzniku námrazy na zasažených površích v období záporných teplot), byť je s rozstříkem vodní tříště spojeno její provzdušnění (Šulc, 2005, s. 45).



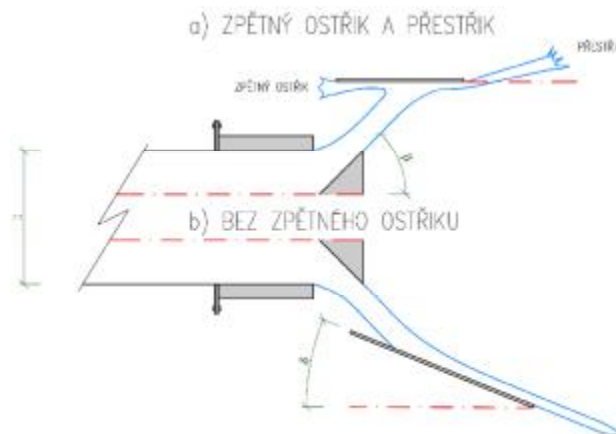
Obr. 1 Schématický podélný řez RU.

Z provozních důvodů jsou RU umísťovány do objektů (usměřovacích komor) či opatřovány dodatečnou konstrukcí (usměřovacím prvkem), které zajistí vhodnou transformaci kuželovitého vodního paprsku na nejčastěji prizmatický a jeho nasměrování do odpadního koryta. Z hlediska vedení paprsku povrchem usměřovací komory a usměřovacího prvku stejného tvaru budou v předloženém textu termíny usměřovací prvek a usměřovací komora chápány jako ekvivalentní, ačkoli se jejich stavební provedení liší.

1.1 Základní charakteristiky rozstřikovacích uzávěrů

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

Otevření uzávěru je charakterizováno odlehlostí hrany válcové objímky od dosedací části rozrážecího kužele a . Vztažením délky otevření a ke vstupnímu průměru uzávěru D se získá poměr a/D , který se nazývá relativní otevření; hodnota plného otevření se obvykle pohybuje v intervalu $a_0 = (0,4 \div 0,6) \cdot D$, větší otevření se již z ekonomických důvodů nevolí (Šulc, 2005, s. 46). Odklon výtokového paprsku od osy uzávěru b lze uvažovat hodnotou $b = 45^\circ$, avšak jeho přesná hodnota závisí na mnoha konstrukčních detailech RU.



Obr. 2 Znárodnění a) zpětného ostříku a přestříku, b) žádoucího vedení paprsku při odklonu dopadové plochy o úhel d .

1.2 Funkce usměřovacích komor

K popisu míry usměřovacího efektu komory se zavádějí termíny zpětný ostřík a přestřík, které hodnotí její nedostatečnou funkci, případně indikují její i její příčinu. Zpětný ostřík označuje stav, kdy se výtokový paprsek po dopadu na usměřovací plochu rozdělí na dvě části, které sice obě sledují tečný směr této usměřovací plochy, jedna část však s poproudí a druhá s protiproudí orientací.

Jako přestřík je označován jev, při kterém výtokový paprsek po opuštění komory nepokračuje vlivem nedostatečné usměřovací délky v tečném směru, ale kvůli setrvačnosti proudu opouští obrys vymezený pomyslným prodloužením usměřovacího povrchu komory v poproudím směru podélné osy.

Schéma na obr. 2 shrnuje oba nepříznivé jevy. Pro ekonomický a účelný návrh usměřovací komory či usměřovacího prvku je nutná znalost mezních hodnot, při kterých k výše uvedeným negativním jevům nedochází.

2 DOSAVADNÍ POZNATKY

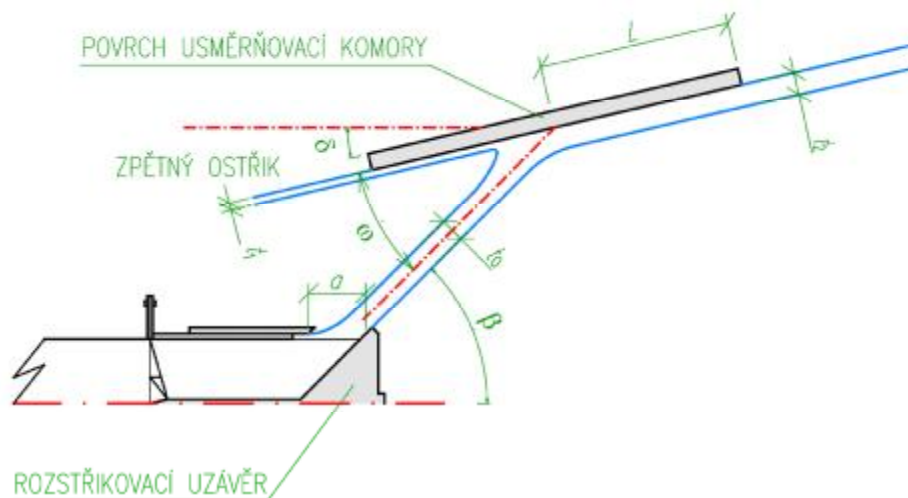
Z hlediska výskytu zpětného ostříku jsou komory prizmatického tvaru nevyhovující (Nehudek, 2013, s. 35), jsou proto hledány různé možnosti, jak úpravou tvaru vstupní části komory zpětnému ostříku předejít. Nejčastějším řešením je difuzorový tvar vstupní části, na který navazuje nejčastěji prizmatická část zajišťující požadované směřování výstupního proudu z komory. Komoru složenou z části difuzorové a části prizmatické lze navrhnout buď jako složenou z příměstěnných prvků, nebo jako rotačně-symetrickou, což je především ve světě nejčastější případ.

Pro komory s difuzorovou vstupní částí je v otázce výskytu zpětného ostříku klíčová hodnota úhlu d , vliv může mít i velikost vnitřního průměru komory (tedy odlehlost usměrňovací plochy od osy RU).

Přehrada Salt Springs v USA byla v rámci modernizace vybavena RU o průměru $D = 1,981$ m, pro který byl s pomocí fyzikálního modelování navržen rotačně-symetrický usměrňovací prvek s odklonem difuzorové části 30° . Maximální spád na uzávěr je 87,5 m (Johnson a kol., 2007, s. 429).

V rámci řešení JIC voucheru (Kraus a kol., 2016, s. 7) byl navržen usměrňovací prvek s úhlem difuzorové části 22° , délkou prizmatické části $1,0 \cdot D$ a vnitřním průměrem $1,5 \cdot D$, který vykazoval velice dobré usměrňovací schopnosti.

Autor ve své bakalářské práci (Nehudek, 2013, s. 27) z měření na výsekovém fyzikálním modelu RU stanovil mezní úhel odklonu usměrňovací roviny od osy paprsku, při kterém nedochází ke zpětnému ostříku, na $w = 23^\circ$.



Obr. 3 Dělení paprsku na dvě části při dopadu na usměrňovací plochu pod úhlem w .

Kawashima (Kawashima, 1976, s. 74) prováděl měření míry zpětného ostříku v závislosti na poloze usměrňovací komory vzhledem k podstavě rozrážecího kužele. K experimentům využíval rotačně-symetrickou komoru s průměrem prizmatické části $2,35 \cdot D$, difuzorová část byla odkloněna o úhel $d = 25^\circ$. Dále také uvádí vztah pro stanovení tloušťky t_1 protiproudě směřujícího odraženého paprsku:

$$t_1 = \frac{t_0}{2} (1 - \cos \omega), \quad (1)$$

kde t_0 je tloušťka paprsku vystupujícího z RU a w je úhel, který svírá usměrňovací plocha s střednicí paprsku v místě jeho dopadu (na obr. 3). V případě, že paprsek dopadá na usměrňovací plochu kolmo, je $\cos w = 0$, a tedy $t_1 = t_0/2$. Rovnice zohledňuje, že při kolmém dopadu se výtokový paprsek rozdělí

na dvě stejné části, avšak již neuvažuje ztrátu energie (pak by muselo platit $t_1 + t_2 > t_0$). Požadavek usměrňování bez zpětného ostříku ($t_1 = 0$) je dle rovnice (1) splněn až pro $w = 0$, tedy pro případ kdy usměrňovací plocha je k výtokovému paprsku tečná. Výsledky experimentů však potvrzují, že k usměrňování bez zpětného ostříku dochází již dříve.

Uvedený přehled dokládá, že dosud nepanuje jednotnost v otázce minimální hodnoty úhlu d , při které nedochází ke zpětnému ostříku. Zjištění mezní hodnoty umožní minimalizovat rozměry celého usměrňovacího prvku. Také aproximace rotačně-symetrického proudění 2D modelem má zřejmě své meze, jak naznačuje nejednotnost mezi rovnicí (1) a výsledky experimentů.

3 VYHODNOCENÍ

Náklon usměrňovací roviny byl v rámci jednotlivých numerických simulací měněn v rozsahu $d = (-45^\circ \div 35^\circ)$, resp. $w = (10^\circ \div 90^\circ)$ za předpokladu $b = 45^\circ$. Otevření uzávěru bylo nastaveno na $a/D = 0,60$ a spád na uzávěr $H = 3$ m. Pro vybrané odklony usměrňovací roviny byly provedeny numerické simulace s $H = 15$ m, nebo $a/D = 0,3$. Z výsledků numerických simulací byly odečteny tloušťky paprsků t_0 , t_1 a t_2 . Pro lepší porovnatelnost a aplikovatelnost výsledků byly definovány hodnoty bezrozměrných součinitelů k_1 a k_2 :

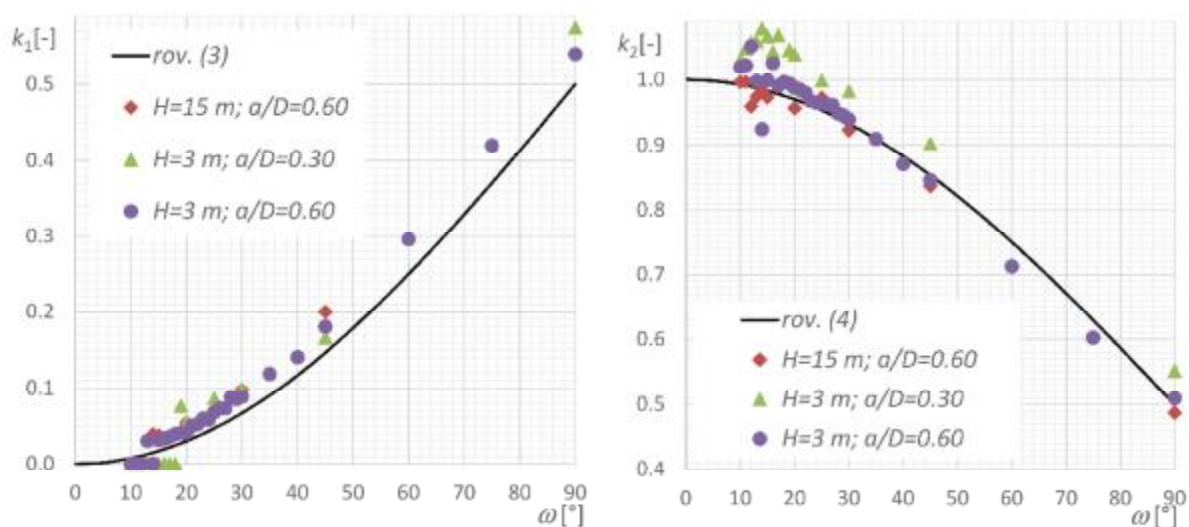
$$k_i = \frac{t_i}{t_0}, \quad (2)$$

kde $i = \{1, 2\}$. Takto získané hodnoty jsou pro různé úhly w a pro jednotlivé varianty uvedeny v levém grafu na obr. 4, ve kterém je vynesena i rovnice (3) získaná úpravou rovnice (1) do bezrozměrného tvaru:

$$k_1 = \frac{1}{2}(1 - \cos\omega). \quad (3)$$

Hodnotu koeficientu k_2 pro případ proudění ideální kapaliny je možné vyjádřit pomocí rovnice (4). Srovnání hodnot určených z rovnice (4) s hodnotami získanými z numerických simulací je v pravém grafu na obr. 4.

$$k_2 = 1 - k_1 = \frac{1}{2}(1 + \cos\omega). \quad (4)$$

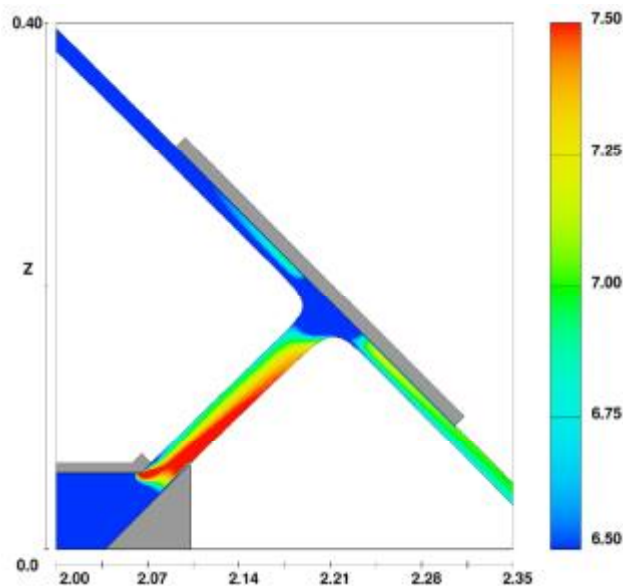


Obr. 4 Srovnání hodnot součinitele k_1 resp. k_2 získaného z různých variant numerických simulací s hodnotami určenými z rovnice (3) resp. (4).

4 ZÁVĚR

Výsledky numerických simulací rovinného proudění potvrdily, že existuje mezní hodnota úhlu w (resp. d), při které je dopadový paprsek odražen bez zpětného ostříku. Tato hodnota nezávisí na spádu H , ale je ovlivněna tloušťkou výtokového paprsku t_0 : pro menší tloušťku dochází k odrazu bez zpětného stříku při větším vzájemném odklonu usměrňovací roviny a výtokového paprsku z RU. Tento rozdíl však může být způsoben velikostí elementu výpočetní sítě (1 mm), který v podstatě limituje minimální postižitelnou tloušťku paprsku na přibližně tuto hodnotu. Avšak z hlediska aplikovatelnosti je zpětný ostřík v jednotkách % prakticky zanedbatelný.

V situaci, kdy výtokový paprsek dopadá kolmo na usměrňovací rovinu, by dle teoretického rozboru měly mít tloušťky t_1 a t_2 (a tedy i součinitelé k_1 a k_2) stejnou hodnotu. Pro proudění ideální kapaliny by zřejmě mělo platit: $t_1 = t_2 = t_0/2$ a $k_1 = k_2 = 0,5$, avšak vinou ztrát vyvolaných změnou směru proudu, jsou hodnoty součinitelů k větší. Rozdílná tloušťka poproudě a protiproudě odraženého paprsku je způsobena nesymetrickým rychlostním profilem ve výtokovém paprsku z RU, jak je ukázáno na obr. 5, kde byl pro zvýraznění rozdílu v rychlostním poli omezen rozsah barevných kontur na $(6,5 \div 7,5) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 5 Nesymetrický rychlostní profil ve výtokovém paprsku je způsoben obtékáním hrany posuvné objímky a má za následek rozdílné tloušťky t_1 a t_2 odražených paprsků. Barevné kontury představují velikost rychlosti v $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$.

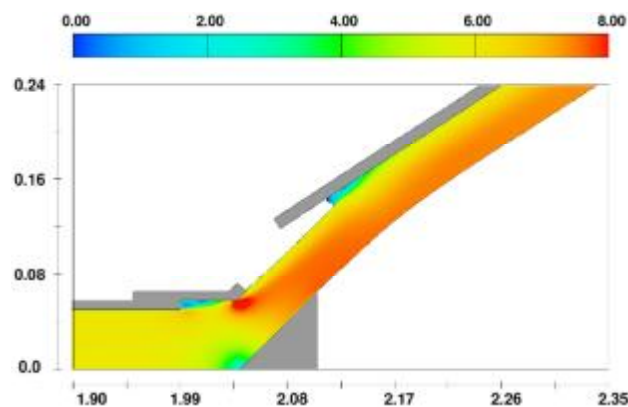
V grafu na obr. 4 jsou hodnoty koeficientů k_1 určených z výsledků numerických simulací vždy nad hodnotami stanovenými z rovnice (3) až do okamžiku, kdy je dosaženo odrazu bez zpětného ostříku (pro otevření $a/D = 0,60$ toho bylo dosaženo při $w < 13^\circ$ – na obr. 6, pro otevření $a/D = 0,30$ při $w < 26^\circ$), potom je $k_1 = 0$. Na výsekovém fyzikálním modelu RU bylo při otevření $a/D = 0,57$ dosaženo odrazu bez zpětného ostříku při $w = 23^\circ$ (Nehudek, 2013, s. 27). Tato hodnota vykazuje dobrou shodu s výsledky numerického modelu.

Je zřejmé, že ztráty při protiprouděním odrazu jsou významným činitelem, který je nevhodné zanedbávat, neboť dochází k podhodnocení skutečné tloušťky t_1 protiproudě odraženého paprsku.

Větší shody bylo dosaženo mezi hodnotami koeficientu k_2 získaného z numerických simulací a jeho vyjádřením pomocí rovnice (4) v intervalu hodnot $w = (25^\circ \div 90^\circ)$, což je patrné z grafu na obr. 4. Avšak pro hodnoty $w < 25^\circ$ sledují odpovídající hodnoty k_2 získané z numerických simulací přímkovy

trend a rychle se zprava blíží hodnotě $k_2 = 1$ a s dalším snižováním hodnoty w je dokonce $k_2 > 1$. V bodových hodnotách k_2 pro interval $w = (10^\circ \div 20^\circ)$ je zřetelný vrchol a jejich opětovné klesání, lze tedy předpokládat, že při $w = 0^\circ$ by měl tečně přiléhající paprsek k usměrňovací rovině stejnou tloušťku jako při opuštění RU, tedy $t_0 = t_2$ a $k_2 = 1$. S rostoucím odklonem od tečného směru roste i odpor usměrňovací roviny a odražený paprsek má tedy tloušťku $t_2 > t_0$, avšak jen do bodu, než dojde ke zpětnému ostříku, potom začíná tloušťka t_2 opět klesat.

Zjištěné mezní hodnoty úhlu odklonu w usměrňovací roviny od osy výtokového paprsku z RU, resp. úhlu odklonu d usměrňovací roviny od osy RU jsou potřebným poznatkem pro návrh příměstěnných usměrňovacích komor. Další práce by měly pomocí 3D modelu objasnit, nakolik zjištěné hodnoty a poznatky platí i pro rotačně-symetrický případ. S ohledem na již provedené experimenty a realizace lze očekávat odlišné výsledky (jak dokládá stručný přehled v 2. kap.).



Obr. 6 Usměrnění bez zpětného ostříku pro otevření $a/D = 0,60$, spád $H = 3$ m a odklon usměrňovací roviny od osy výtokového paprsku $w = 12^\circ$. Barevné kontury představují velikost rychlosti v $[m \cdot s^{-1}]$.

5 PODĚKOVÁNÍ

Práce byly provedeny s podporou projektu FAST-S-15-2841 „Přelivy za specifických hydraulických podmínek“.

Použitá literatura

- [1] JOHNSON, M. C., PEARMAN, J. E., LUBBEN, R. Modernization of the Salt Springs Dam Outlet Works. In: *Modernization and optimization of existing dams and reservoirs: 27th Annual USSD Conference, Philadelphia, Pennsylvania, March 5-9, 2007*. Denver, Colo.: U.S. Society on Dams, 2007, s. 429-438. ISBN 978-1-884575-40-2.
- [2] KAWASHIMA, M. Hydraulic Characteristics of Hollow Cone Valve with Hood. *Fuji Electric review*. 1976, 22(2), 72-75.
- [3] KRATOCHVIL, S. *Hydraulické vlastnosti vysokotlakých uzavěří*. Závěrečná výzkumná zpráva, VVÚVSH VUT v Brně, 1966.
- [4] KRAUS, P.; NEHUDEK, A.; ŠULC, J. *Hydraulický výzkum tvarů konstrukcí k usměrnění vytékajícího proudu z rozstřikovacího uzavěří*. Hydroturbo 2016. Znojmo: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. s. 1-8.
- [5] NEHUDEK, A. *Návrh tvaru usměrňovací komory rozstřikovacího uzavěří*. Brno, 2013. 40 s., 17 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb.
- [6] 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.