

Studie použití vhodného uzávěru na přelivu VD Nechranice a měření vybrané varianty na fyzikálním modelu

Jakub Novotný

1 Úvod

Hlavním cílem práce bylo zpracování studie k posouzení použití vhodného uzávěru na krajních polích bezpečnostního přelivu VD Nechranice, vycházející z metodik pro rozbor a srovnání spolehlivosti uzávěrů hydrotechnických staveb. Následovalo vyhodnocení studie a měření manipulace vybraných variant na fyzikálním modelu, který byl zkonstruován v měřítku 1:50 ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT v Praze.

2 Obsah

Popis metodiky Studie použití vhodného uzávěru na bezpečnostním přelivu

Studie byla založena na Metodice pro rozbor a srovnání spolehlivosti uzávěrů hydrotechnických staveb. Hlavním účelem bylo zjistit prvky náchylné na poruchu a navrhnout konkrétní řešení pro bezpečnou a spolehlivou funkci uzávěru. Dále lze pomocí expertního kvalitativního hodnocení stanovit oblasti s největším součtem nepříznivých vlastností a tím stanovit pořadí priorit pro opatření vedoucí k optimalizaci spolehlivosti za extrémních situací.

Metodika vychází z rozdělení konstrukce na čtyři základní části.

- spodní stavba
- hradící těleso
- podpěry, těsnění a ovládání
- pohony

Jednotlivé konstrukční celky konstrukce jsou hodnoceny samostatně a později jsou vyhodnoceny jako celek. Každá část je rozdělena dále do několika kategorií, u kterých se hodnotí vždy dva ukazatelé. „Základním ukazatelem hodnocení spolehlivosti uzávěru je součinitel pohotovosti. Tento součinitel získáme z doby bezporuchové provozuschopnosti uzávěru a z doby potřebné k opravě nebo k jinému podobnému postupu uvedení do bezporuchového stavu.“ [6]

$$K = (T - P)/T$$

kde

K – součinitel pohotovosti (bezrozměrný v hodnotách 0 až 1)

P – doba opravy (měsíce)

T – doba mezi poruchami (měsíce)

Výsledným součinem jednotlivých kategorií dostaneme součinitel pohotovosti jednotlivé části konstrukce. Pouze po vynásobení všech čtyř zjištěných součinitelů pohotovosti jednotlivých částí konstrukce získáme konečnou spolehlivost daného uzávěru.

Druhým ukazatelem je hodnocení bodováním. U každého prvku bylo postupně vybráno, zda se jedná o prvek s příznivým nebo nepříznivým vlivem na konstrukci. Tímto rozбором a následným vyhodnocením bylo stanoveno pořadí potenciálních příčin selhání funkce uzávěru. Pomocí tohoto ukazatele je možné stanovit priority nápravných kroků vedoucích k optimalizaci uzávěru a tím dosáhnout co nejvyššího součinitele spolehlivosti. [3]

„Hlavním kritériem pro správnou a spolehlivou funkci je v tomto případě otevření uzávěru do takového provozního stavu, kdy vodní dílo bezpečně převede povodeň nebo uvolní průtočný profil tak, jak je požadováno manipulačním řádem pro povodňové stavy a podobné situace závislé na otevření uzávěru a současně bez neočekávaného poškození vodního díla.“ [4]

Vzhledem k naší zeměpisné poloze je zapotřebí, vlivem rozdílných klimatických podmínek, hodnotit spolehlivost konstrukce v režimu zimním a letním. [4]

Pomocí této metodiky lze jednoduchým objektivním způsobem stanovit priority různých technologických úprav, rekonstrukcí a údržby uzávěru. Při doplnění ekonomické náročnosti dané úpravy, případně údržby, může být provedeno technickoekonomické vyhodnocení vedoucí k maximálnímu zvýšení spolehlivosti. [5]

Porovnání spolehlivosti je možné jak pro jeden uzávěr ve variantních řešeních, tak pro zhodnocení skupiny uzávěrů. Při hodnocení jednoho uzávěru ve variantách modifikací prvku lze dosáhnout té nejvyšší spolehlivosti daného uzávěru. V druhém případě hodnocení skupiny uzávěrů lze vytipovat uzávěr s nejmenší spolehlivostí a navrhnout úpravy tak, aby nebyla negativně ovlivněna spolehlivost ostatních uzávěrů v soustavě. Výrazně slabé články v systému mohou vést k ohrožení spolehlivosti celého systému. [6]

Posuzovány byly čtyři typy uzávěrů. Hydrostatický uzávěr, klapkový uzávěr, segmentový uzávěr a uzávěr stavidlový. Za nejméně spolehlivé části **klapkového uzávěru** bylo na základě zkušeností z údržby a provozu zvoleno těsnění, ložiska klapky a ovládací prvky umístěné především v průtočném profilu. U ovládacích prvků dochází především k zachycování nesených předmětů vodním proudem. Nejen tento jev, ale i další mohou zapříčinit opakované negativní jevy, jako jsou například vibrace. Příčiny častého chvění nebyly doposud jednoznačně vysvětleny. Spolehlivost tohoto typu uzávěru je ovlivňována především nahodilými událostmi. [3]

Na spolehlivost **segmentového uzávěru** mají převážně vliv mimořádné události, než opakující se určité konstrukční problémy. Nejcitlivější prvky segmentu jsou ložiska, boční těsnění, vedení a ovládání. Při nesynchronní manipulaci s uzávěrem může dojít ke vzpříčení mezi pilíři. Zvýšení spolehlivosti je tak jedině docíleno preventivním předcházením mimořádných událostí robustním návrhem uzávěru včetně jeho příslušenství a precizní údržba. [4]

Nejcitlivějšími prvky **stavidlových uzávěrů** je těsnění a podvozky stavidel. Častým problémem jsou také široké drážky v pilířích, které negativně ovlivňují proudění. V těchto drážkách také dochází k uvíznutí předmětů nesených vodou mezi pohyblivou a nepohyblivou částí pilíře.

Spolehlivost stavidlového uzávěru je především ovlivněna nenadálou událostí, než opakující se konstrukční vadou. Možným zlepšením spolehlivosti celé konstrukce jsou konstrukční úpravy citlivých částí, které těmto nenadálým událostem pomohou včas předejít. [5]

Nejvíce poruchovou částí **hydrostatického uzávěru** je těsnění a ovládací prvky regulačních kanálů. Nejvíce náchylným prvkem na poruchu, který má významný vliv na celkovou spolehlivost uzávěru je tlačná komora. Jedná o opakující se jev zanášení komory sedimentem a problémy s jejím těsněním. [2] Hydrostatické uzávěry jsou velmi odolné proti nahodilým jevům při povodni a proti účinkům mrazu.

Investice do výzkumu a vývoje problematiky těsnění tlačných komor může mít zásadní a hlavně pozitivní vliv ke zkvalitnění koncepce a spolehlivosti hydrostatických uzávěrů. [2] Neméně vhodnou investicí do výzkumu a vývoje by byla varianta pro zachycení sedimentů před vtokovým objektem do regulačních kanálů, nebo jinde v systému mimo tlačné komory, kde musí dojít po určité míře zanesení k odstávce uzávěru a vyčištění.

Vyhodnocení výsledků studie

Na základě metodického postupu jsme schopni objektivně identifikovat prvky vykazující malou spolehlivost v provozu a zvolit vhodná nápravná opatření pro zvýšení provozní spolehlivosti. Hodnocení je objektivní, tudíž nejsou výsledky postupu ovlivněny hodnotitelem a lze tyto výsledky porovnávat z pohledu spolehlivosti nejen mezi jednotlivými správci vodních děl, ale i odbornými institucemi. [3]

Z výsledku studie bylo zjištěno, že současná varianta hydrostatického segmentového uzávěru je v porovnání s ostatními nejspolehlivější. Ovšem vezmeme-li v potaz problémy, se kterými se v současné době obsluha potýká, bylo rozhodnuto, na základě studie, přistoupit k druhé variantě hradící konstrukce a tou je klapkový uzávěr. Tento uzávěr by měl vyřešit všechny nedostatky a problémy, se kterými se současná konstrukce potýká. Myšleny jsou tím například problémy týkající se netěsnosti komor a tím spojená nepřesná regulace kóty přelivné hrany. Dále bylo zjištěno, že při dosažení určité výšky přepadového paprsku má konstrukce tendenci vlivem síly od přepadající vody klesat, a tím dochází k velmi obtížné regulaci průtoku. Použití klapkového uzávěru je z hlediska stavebních úprav spodní stavby, přesnosti manipulace kóty přelivné hrany a velmi pozitivních ohlasů od správců z jiných vodních děl, kde klapkový uzávěr byl již navržen a zkonstruován, nejvhodnějším řešením.

Vstupní a modelové podmínky

Fyzikální model VD Nechanice se skládá z hráze, předpolí, vlnolamu, přelivu, skluzu a rozrážečů. Všechny tyto části byly navrženy a vybudovány v měřítku $M = 1:50$. Toto měřítko bylo zvoleno na základě rozboru geometrických, průtokových, časových, tíhových a kvalitativních podmínek.

„Podle Frouдова zákona podobnosti můžeme určitý hydrodynamický jev zkoumat tehdy, jestliže účinky těchto sil jsou zanedbatelné v porovnání s gravitačními silami. Mezní podmínky vymezují oblasti a měřítka, v nichž lze hydrodynamický jev modelovat. Kinematicky podobné jevy, které ovlivňuje výhradně gravitační síla, jsou dynamicky podobné, jestliže ve vzájemně příslušných

průřezech budou stejná Froudova čísla.“ $Fr = \sqrt{\frac{\alpha v^2}{gy}}$, [6]

příslušné poměry jsou: $\frac{v_s^2}{gy_s} = \frac{v_m^2}{gy_m}$;

kde v_s ... rychlost ve skutečnosti
 y_s ... průměrná hloubka ve skutečnosti
 v_m ... rychlost na modelu
 y_m ... průměrná hloubka na modelu

Velikost nádrže fyzikálního modelu byla určena pomocí matematického modelu. Byly testovány dvě varianty nátoků. První varianta nátoků z čelní strany a druhá varianta z čelní strany a stran bočních. Obě tyto varianty byly porovnány a vznikl návrh velikosti nádrže o rozměrech: 3 m x 3 m x 1 m. Návrh velikosti nádrže fyzikálního modelu byl potvrzen pro obě uspořádání nátoků porovnáním kapacit přelivu na maximální hladinu v nádrži dle manipulačního řádu.

Měřítka modelu je dáno na základě mezních podmínek modelové podobnosti, možností laboratoře, konstrukčních podmínek a podmínek reprezentativního výzkumu. Výsledným průnikem těchto podmínek bylo zvoleno měřítko $M_l = 1:50$

Pro měřítko rychlostí platí $M_v = M_l^{\frac{1}{2}}$, pro měřítko průtoků platí $M_Q = M_l^{\frac{5}{2}}$ a pro měřítko času platí

$$M_t = M_l^{\frac{1}{2}}$$

Celková délka modelu $L = 13,5$ m, výška $H = 1,0$ m a šířka $B = 1,4$ m. Voda byla čerpána pomocí čerpadla a přiváděna pomocí rozváděcího potrubí do nádrže modelu VD Nechranice, která slouží k uklidnění vody. Průtok byl měřen pomocí indukčního průtokoměru. Odvádění vody bylo řešeno pomocí sběrné šachty, která se nachází v podzemních prostorech vodohospodářské laboratoře a je zaústěna do centrální sběrné nádrže.



Obrázek 1: Měření konzumní křivky klapkových uzávěrů na fyzikálním modelu VD Nechranice

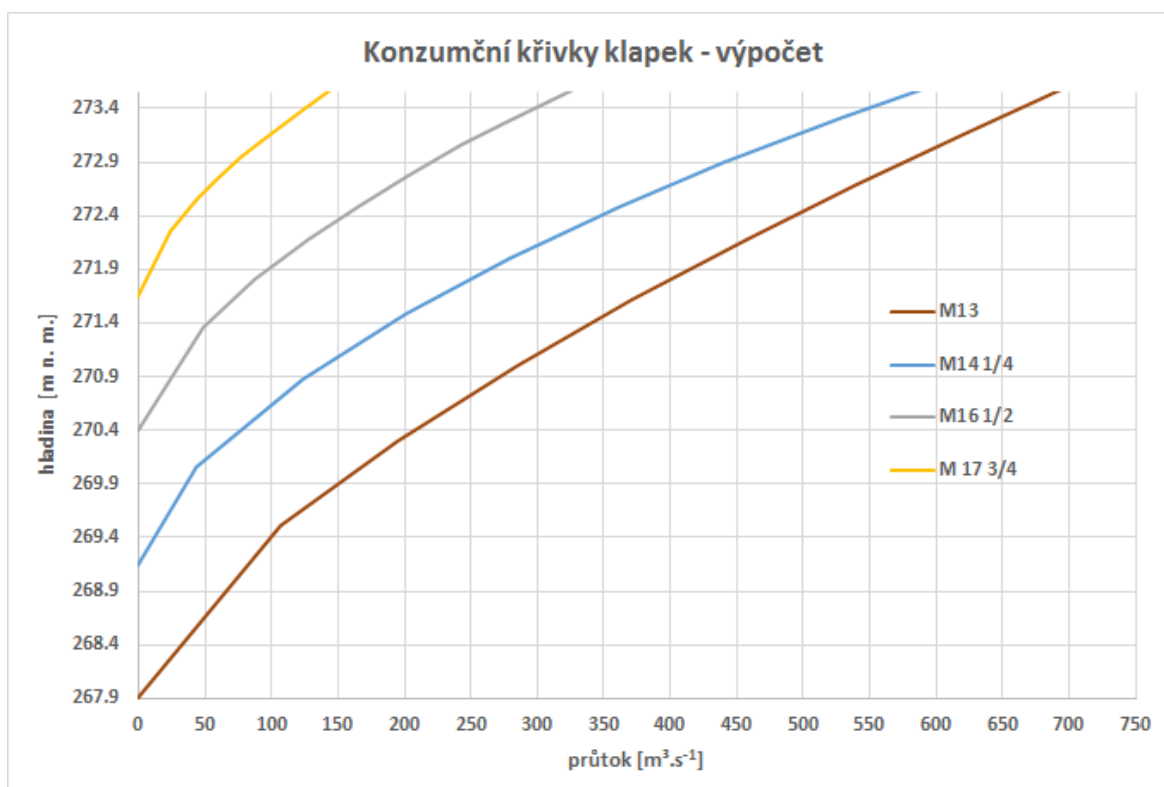
Výpočet konzumní křivky

Výpočet konzumní křivky byl proveden na základě známé kóty hladiny v nádrži, výkresové dokumentace a volených součinitelů ze skript. Pomocí těchto podkladů byl ze známé hladiny dopočítán průtok. Použit byl vzorec pro přepad přes ostrou hranu ve tvaru

$Q = m \cdot b_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot h_0^{\frac{3}{2}}$; kde m – součinitel přepadu [-]; b_0 – účinná šířka koruny [m];
 h_0 – přepadová výška vody (včetně rychlostní výšky) [m]. Pro účinnou šířku přelivu platí
 $b_0 = b - 0,1 \cdot \xi \cdot n \cdot h_0$; kde b – součet světlostí jednotlivých polí přelivu [m]; ξ – součinitel tvaru pilířů;
 n – počet míst zúžení (2 pro každé pole); h_0 – energetická výška přepadu $h_0 = h + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$. [1]

Pro přesné stanovení konzumní křivky bylo nutné sestavit fyzikální model v odpovídajícím měřítku a hodnoty naměřit. Další z možností výpočtu byl matematický model, který je ovšem zapotřebí verifikovat s modelem fyzikálním.

- Výpočet M13 - oba klapkové uzávěry plně vyhrazeny
- Výpočet M14 - oba klapkové uzávěry zahrazeny do $\frac{1}{4}$
- Výpočet M16 - oba klapkové uzávěry zahrazeny do $\frac{1}{2}$
- Výpočet M17- oba klapkové uzávěry zahrazeny do $\frac{3}{4}$



Obrázek 2: Konzumční křivky klapkového uzávěru pro různé polohy

Měření konzumční křivky na fyzikálním modelu

Měření na fyzikálním modelu VD Nechanice probíhalo ve vodohospodářské laboratoři Fakulty stavební, ČVUT v Praze.

Předmětem měření bylo stanovení konzumční křivky jednotlivých poloh uzávěrů. Konzumční křivka je závislost objemového průtoku na výšce přepadového paprsku vody. Může být pro jednotlivé hladicí tělesa vyjádřena analyticky nebo empiricky z měření vodních stavů.

Měření byla provedena na krajních polích nově navržených klapkových uzávěrů. Postupnou manipulací byly pro měření konzumčních křivek těchto uzávěrů taktéž zvoleny čtyři polohy. První měřenou polohou byla poloha zcela vyhrazených klapkových uzávěrů, v druhé poloze byla čtvrtina zahrazena, v třetí poloze byla zahrazena polovina a v poslední čtvrté poloze byly zahrazeny tři čtvrtiny manipulačního rozsahu klapky. Měření probíhalo vždy v souběhu obou klapkových uzávěrů.

Před každým měřením bylo potřeba nastavit pomocí nivelačního přístroje zvolenou polohu uzávěru. Po nastavení polohy byl fyzikální model utěsněn a připraven pro měření.

Dalším krokem bylo zjištění takového maximálního průtoku pro danou polohu uzávěru, kdy hladina v nádrži nekolísá a zároveň je na maximální bezpečné hladině. Tímto krokem byl získán maximální průtok pro danou polohu uzávěru, který byl následně rovnoměrně rozdělen na deset hodnot. Rovnoměrným rozdělením průtoku na několik dílčích hodnot byla získána vstupní data pro měření bodů konzumční křivky.

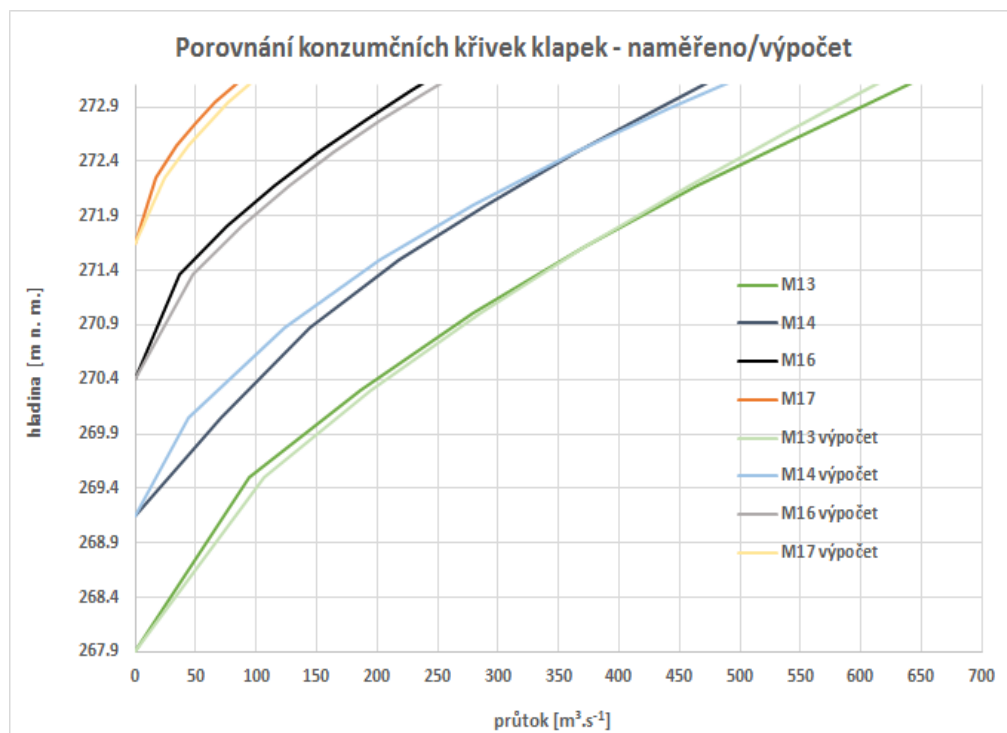
Pomocí uzávěru na trubním rozvodu v laboratoři a průtokoměru byly postupně nastaveny zvolené průtoky. Po ustálení hladiny v nádrži bylo provedeno čtení. Doba potřebná pro ustálení hladiny v nádrži se v jednotlivých případech lišila. Pro výtok pod segmentovým uzávěrem byla doba potřebná pro ustálení hladiny výrazně delší než pro přepad vody přes klapkové uzávěry. Měření kóty hladiny bylo proto měřeno v časových intervalech dvou minut, dokud sledované rozdíly v čtení nebyly markantní.

Výsledky a závěr z měření

Na níže uvedeném Obrázku 3 byla popsána závislost průtoku (vodorovná osa v m^3/s) na kótě hladiny v nádrži (svislá osa v m n. m.). Byly zde znázorněny čtyři konzumní křivky pro čtyři různé polohy uzávěru.

První konzumní křivka M13 reprezentuje polohu klapkového uzávěru při úplném sklopení. Následně křivka M14 odpovídá poloze vyhrazení v jedné čtvrtině, M16 v jedné polovině a M17 při vyhrazení v třech čtvrtinách.

Měření M15 ve vykreslení chybí, jelikož nebyly uzávěry dostatečně utěsněny a měření neproběhlo za korektních podmínek.



Obrázek 3: Porovnání naměřených konzumních křivek dutých klapek s výpočtem

Porovnání konzumních křivek u klapkového uzávěru poukazuje na rozdílné výsledky výpočtu a měření. Rozdíly v naměřených a vypočtených hodnotách mohou být důsledkem rozdílných nátokových poměrů, chyb v měření, případně nepřesným stanovením přepadového součinitele. Zpřesnění numerického výpočtu konzumní křivky klapkového uzávěru by bylo velmi vhodné, jelikož klapkové uzávěry jsou u správců vodních děl velmi oblíbenou hradicí konstrukcí a doposud není znám vzorec s adekvátními výstupy.

3 Literatura

[1] HAVLÍK, Vladimír a Ivana MAREŠOVÁ. Hydraulika: příklady. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01586-6.

- [2] SATRAPA, Ladislav a kolektiv. Metodika pro rozbor a srovnání spolehlivosti hydrostatických uzávěrů hydrotechnických staveb. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2015.
- [3] SATRAPA, Ladislav a kolektiv. Metodika pro rozbor a srovnání spolehlivosti klapkových uzávěrů hydrotechnických staveb. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2015.
- [4] SATRAPA, Ladislav a kolektiv. Metodika pro rozbor a srovnání spolehlivosti segmentových uzávěrů hydrotechnických staveb. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2015.
- [5] SATRAPA, Ladislav a kolektiv. Metodika pro rozbor a srovnání spolehlivosti stavidlových uzávěrů hydrotechnických staveb. Fakulta stavební ČVUT v Praze, 2015.
- [6] SATRAPA, Ladislav a Martin KÁLÍK a Jitka KUČEROVÁ a Miroslav BROUČEK a Martin HORSKÝ. VD NECHRANICE rekonstrukce krajních polí bezpečnostního přelivu. České vysoké učení technické v Praze, 2016.

Příspěvek vznikl za podpory projektu SGS18/054/OHK1/1T/11 „Kombinovaný výzkum proudění vody na hydrotechnických stavbách“.