

## **Webová prezentace projektu 1939/2009/G1**

### **Vliv dolní vody na průtokové a zatěžovací charakteristiky jezové klapky**



**řešitel:** Ing. Daniel Píčka  
**spoluřešitel:** Prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>Cíle řešení .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Postup a způsob řešení .....</b>	<b>4</b>
2.2	Rešerše dostupné literatury z oblasti řešeného problému .....	4
2.2.1	Meze modelové podobnosti .....	4
2.2.2	Vliv hladiny dolní vody na proudové charakteristiky hladinové klapky.....	5
2.3	Příprava na fyzikální modelování.....	6
2.3.1	Stavba fyzikálních modelů.....	6
2.3.2	Postup experimentálního měření .....	7
<b>3</b>	<b>Změny řešení projektu .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Výsledky a výstupy řešení, prezentace výsledků .....</b>	<b>8</b>
4.1	Vliv rozměrů modelu na průtočné charakteristiky klapky (meze modelové podobnosti) .....	8
4.2	Vliv rozměrů modelu na tlakové poměry na ploše klapky (meze modelové podobnosti) .....	8
4.3	Vliv prostorovosti (šířky přelivu) na proudové charakteristiky v rovině symetrie .....	9
4.4	Vliv dolní vody na průtokové charakteristiky klapky .....	9
4.5	Vliv dolní vody na zatěžovací charakteristiky klapky.....	9
4.5.1	Vliv tvaru podjezí na zatěžovací charakteristiky .....	10
4.6	Prezentace výsledků výzkumu .....	10
<b>5</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>11</b>

# 1 Cíle řešení

Cílem předloženého projektu je přispět k informovanosti studentů oboru Vodní hospodářství a vodní stavby, výzkumných pracovníků působících v oboru a získat poznatky o modelovatelnosti pohyblivých konstrukcí, které využije řešitel při vypracování dizertační práce. Výsledky experimentálního měření fyzikálních veličin poslouží při kalibraci a posouzení přesnosti matematického modelu. Bude stanovena mez šířky pro bezpečné využití 2D modelů (fyzikálních i matematických).

Po velkých povodních v letech 1997, 2002 a 2006 je stále aktuálnější měření na fyzikálním modelu jednoho z nejvíce používaných hradicích uzávěrů hladinové klapky. U nás je nejčastěji používaný tvar klapky dle Prof. Čábelky o poloměru návodního líce  $R = 2,25H$ , kde  $H$  je hradicí výška.

Při měření hydrodynamického zatížení klapky vystupuje do popředí otázka modelovatelnosti a zachování zákonů mechanické podobnosti. Základní problém u fyzikálního modelu tohoto typu jsou omezující podmínky zmenšení jevu dle Froudova zákona mechanické podobnosti. V úvahu připadají Froudův zákon či Weberův zákon mechanické podobnosti. Při velkém vlivu povrchového napětí se uplatňuje právě zákon Weberův na úkor Froudova zákona. Úkolem předkládaného projektu bylo nalezení hranice (či její bližší specifikování) mezi modelovatelností těchto dvou zákonů. Dle dostupné literatury se tato hranice u pevných přelivů udává mezi 40 - 60 mm výšky přepadového paprsku. U pohyblivých jezových konstrukcí však tato mezní hranice závisí na mnoha dalších okolnostech a nelze ji nyní přesně kvantifikovat. Cíl tohoto projektu je proto zaměřen na určení těchto mezí a seznámení studentů s modelovatelností těchto jevů.

Součástí projektu jsou tyto dílčí části:

- vliv rozměrů modelu na průtočné charakteristiky klapky (meze modelové podobnosti)
- vliv rozměrů modelu na tlakové poměry na ploše klapky (meze modelové podobnosti)
- vliv prostorovosti (šířky přelivu) na proudové charakteristiky v rovině symetrie
- vliv dolní vody na průtočné a zatěžovací charakteristiky hladinové klapky

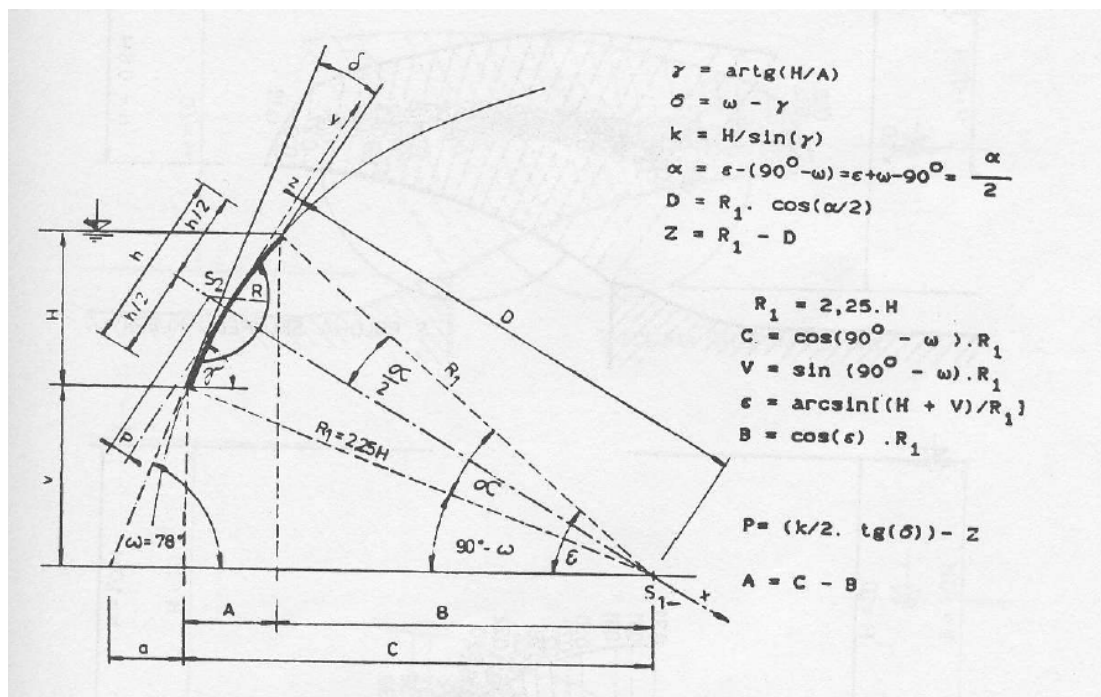
Projekt se skládal těchto dílčích částí:

1. Rešerše dostupné literatury z oblasti řešeného problému
2. Vypracování teoretického postupu pro přípravu řešení fyzikálního
3. Návrh a stavba fyzikálního modelu
4. Experimentální měření na modelu
5. Vyhodnocení a zpracování naměřených veličin, definice mezí modelovatelnosti jevů
6. Celkové vyhodnocení projektu
7. Seznámení studentů s výsledky projektu

## 2 Postup a způsob řešení

### 2.2 Rešerše dostupné literatury z oblasti řešeného problému

Při fyzikálním modelování byla posuzována hladinová klapka, kterou navrhl a modelově vyzkoušel prof. Čábelka na ČVUT Praha [1] s poloměrem návodního líce  $R = 2,25 H$ , kde  $H$  je hradičí výška klapkového uzávěru. Na základě zkušeností s hydraulickým výzkumem došlo k doporučenému návrhu příčného řezu jezové klapky (obr. 1). Rozměry jednotlivých částí klapky jsou stanoveny na základě poznatků z dosud realizovaných konstrukcí.



obr.1 – doporučený tvar příčného řezu duté klapky se vztahy pro jeho výpočet [2]

Velikost zatížení hradičí stěny je výrazně ovlivněna její délkou. Ta je závislá na úhlu odklonu tečny návodního líce v místě čepu od vodorovné roviny. Sklon klapky je definován sklonem tečny k zaoblené hradičí stěně v místě jejího napojení na spodní stavbu. V minulosti se tento úhel v ČR navrhoval často v rozmezí 62 – 68 °. V současné době se tento trend změnil a navrhuje se větší a to v rozmezí 75 - 85°.

#### 2.2.1 Meze modelové podobnosti

Jak uvádí dostupná literatura [3], [4] či [5] je dolní mezní hranice modelové podobnosti dle Froudova zákona mechanické podobnosti u pevných přelivů v rozmezí 40 – 60 mm výšky přepadového paprsku. Lze konstatovat, že tato hranice je nadhodnocena a reálná výška přepadového paprsku, tak aby byl zachován Froudův zákon mechanické podobnosti, je

menší. Při měření na podtlakovém pevném přelivu se zaoblenou korunou byla tato hranice nalezena až u výšky přepadového paprsku 16 mm [6]. Je zřejmé, že pro každý typ přelivu, přepadovou plochu či nastavení úhlu sklopení pohyblivého přelivu platí jiná hranice dolní meze. U pohyblivých přelivů je tato hranice daleko složitěji specifikovatelná a je ovlivněna mnoha dalšími faktory.

## 2.2.2 Vliv hladiny dolní vody na proudové charakteristiky hladinové klapky

Podstatným zatížením pro dimenzování klapky je statický tlak vyvozený hydrodynamickým účinkem proudu vody. Potřebné hodnoty tlaku je možno stanovit přibližně výpočtem a nebo přesněji experimentálním výzkumem na fyzikálním modelu hradičích tělesa.

Výsledky sil a momentů působících na klapkový hladinový uzávěr jsou ovlivněny hladinou horní vody ( $h_h$ ), hladinou dolní vody ( $h_d$ ), tvarem a hloubkou dna v podjezí, poloměrem klapky a její polohou. Naopak tvar pevné stavby v nadjezí má jen minimální vliv na zatěžovací charakteristiky. Pak můžeme psát dle Šulce [7]:

$$M_c = M_h + M_d + M_p \quad (1)$$

kde:

$M_c$  – celkový moment vyvozený na klapkový uzávěr

$M_h$  – moment vyvozený na klapkový uzávěr od účinků horní vody

$M_d$  - moment vyvozený na klapkový uzávěr od účinků dolní vody

$M_p$  - moment vyvozený na klapkový uzávěr od podtlaku

Zmíněný superpoziční princip v rovnici (1) nelze použít ve všech případech. Superpoziční řešení je v dnešní době vhodné použít pouze v těch případech, kdy hladina dolní vody neovlivňuje konstrukci klapky.

Vliv podtlaku uvažujeme pouze v případě, když není dokonale zavzdušněn prostor pod přepadovým paprskem.

Pokud se  $h_d$  dotýká vzdušné části uzávěru tak ho z vzdušné strany nadlehčuje, pomáhá  $h_d$  snižovat velikost celkového momentu působící na klapku. Při dimenzování samozřejmě uvažujeme co nejnepříznivější zatěžovací stav, což v případě klapkového uzávěru znamená co nejnižší  $h_d$ .

Dílčí zatížení od účinků dolní vody lze spočítat pomocí superpozičního řešení, ale pouze v případě, kdy nám  $h_d$  neovlivní proudové charakteristiky nad klapkou. Jak uvádí Skalička [8], již při minimálním ovlivnění dochází ke změně proudových charakteristik nad přelivem.

Jak uvádí Šulc ve své práci [9], velký vliv na dílčí zatížení od  $h_d$  má tvar podjezí. Tři případy okrajových podmínek pro různé tvary a hloubky podjezí jsou obsaženy ve zprávě [9]. Ve stejném příspěvku je také uvedeno, že zjednodušení výpočtu účinku od  $h_d$  pomocí hydrostatického zatížení se ukázalo nepřesné.

Velmi zajímavý je zatěžovací stav, při kterém je klapka plně sklopena ( $\alpha = 0^\circ$ ) a jsou zvýšené  $h_h$  a  $h_d$ . Je dokázáno, viz třeba [10], [9] či zahraniční [11] že, při této plně sklopené poloze vznikají momentová minima. Z těchto měření byl získán zajímavý poznatek, že velikosti záporných momentů lze velmi výrazně ovlivnit poloměrem

návodního líce klapky. Čím menší poloměr návodního líce, tím méně se projevuje vliv záporných momentů. Z toho lze, usuzovat, že v ČR typizovaná klapka o poloměru  $R = 2,25H$  je v porovnání se západoevropskými klapkami, kde se poloměry pohybují od cca  $R$

=  $2,22H$  (spíše výjimečně) až po téměř  $R = \infty$  (což odpovídá téměř rovné, nezaoblené konstrukci) vyvozuje menší záporné momenty.

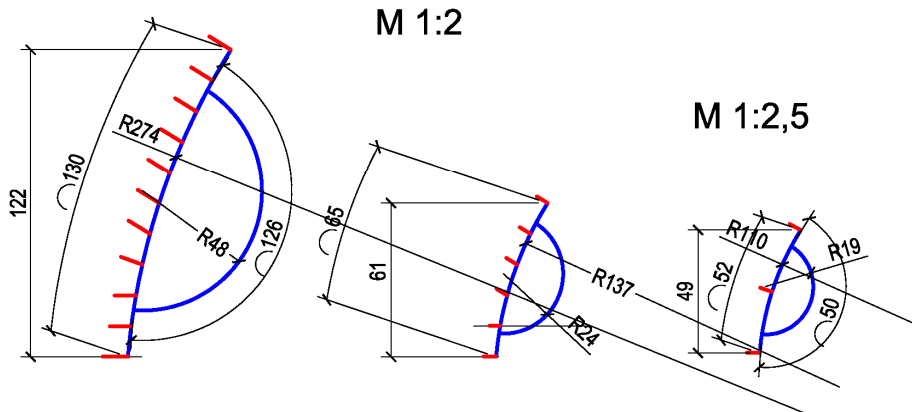
## 2.3 Příprava na fyzikální modelování

### 2.3.1 Stavba fyzikálních modelů

Pro účely projektu byly postaveny celkem tři fyzikální modely (tzv. rodina modelů) hladinové klapky. Modely byly realizovány v měřítku délek M 1:1 (považován za prototyp), M 1:2 a M 1:2,5. Rozhodujícím pro návrh měřítek modelů bylo Froudovo kritérium modelové podobnosti.

Prototyp měl hradičí výšku  $H = 122$  mm. Rozsah úhlů sklopení uzávěrů byl zvolen v rozmezí  $\alpha = 0 - 85^\circ$ . Modely byly umístěny na pevný podstavec (tzv. nadjezí), který umožnil zvýšení hladiny dolní vody. Poloměr návodního líce  $R = 2,25H$  byl zvolen tak, aby odpovídal typizační směrnicí [2], podle které se nejčastěji navrhují tyto typy přelivů.

M 1:1



**obr.2** – realizovaná „rodina modelů“, červeně jsou označeny piezoodběry



**obr.4,5** – pohled na instalaci modelu M 1:1 v pohyblivém žlabu o šířce 412 mm

Na návodním líci a posléze i na vzdušném líci (pro potřeby měření  $h_d$  – pouze na prototypu) byly umístěny piezoodběry pro snadné měření tlaku vody. Na prototypu jich je celkem 11, na M 1:2 je 6 odběrů a na nejmenším modelu M 1:2,5 jsou pouze 3 odběry.

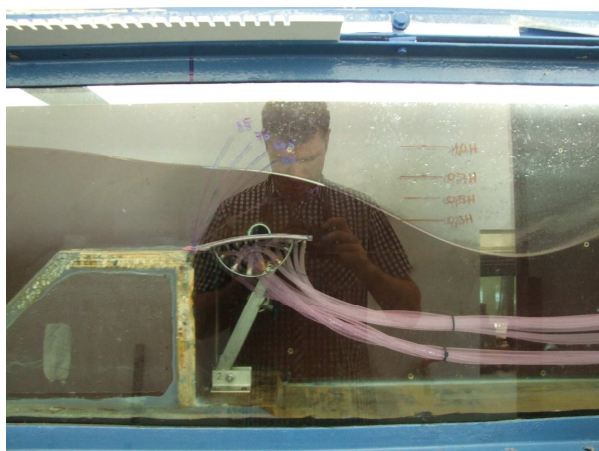
### 2.3.2 Postup experimentálního měření

Pro získání dat k určení dolní hranice Froudova zákona modelové podobnosti byla navolena průtoková řada na prototypu v rozmezí  $Q = 4 - 25$  l/s, což odpovídá specifickému průtoku  $q = 0,020 - 0,125$  m<sup>2</sup>/s. Průtoky byly voleny s ohledem na kapacitu klapky, která je závislá na úhlu sklopení  $\alpha$ . Průtoky pouštěné na modely M 1:2 a M 1:2,5 byly přepočítány dle Froudova kritéria s ohledem na konstantní šířku modelu (délku přelivné hrany).

K získání vhodných dat pro posouzení vlivu  $h_d$  byla stanovena stejná průtoková řada, která byla použita pro určení dolní hranice Froudova zákona. Jednotlivé hladiny dolní vody byly měřeny v úrovni  $0,3H$ ;  $0,5H$ ;  $0,7H$  a  $1,0H$ , kde  $H$  je hradicí výška uzávěru. Hranici  $0,0H$  byla uvažována od úrovně otočného čepu (viz obr.3).

Je zřejmé, že tvar podjezí ovlivňuje zatěžovací charakteristiky uzávěru [9], [11]. Proto byl experimentálně umístěn do podjezí tvrzený polystyrén (obr.7) podobného tvaru, jaký se běžně využívá u již realizovaných klapkových jezů. Cílem bylo porovnat tlakové zatížení uzávěru bez a s instalovanou spodní stavbou.

Pro všechny případy posouzení bylo měřeno s úhly  $\alpha = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  a  $85^\circ$ .



**obr.6,7** – pohled na instalaci modelu M 1:1 bez polystyrénu v podjezí, vpravo pak se spodní stavbou

Při každém měření zatěžovacího stavu byly zaznamenány průběhy hladin (pomocí digitálního hrotového měřidla) a průběhy tlaků na návodním i vzdušném líci klapky. Tlaky byly měřeny pomocí polyetylenových hadiček, které byly vyvedeny na pozadí milimetrového papíru.

Měření na fyzikálních modelech probíhala v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb v budově „F“.



### 3 Změny řešení projektu

Celkem byly provedeny dvě změny financování projektu. Ve všech případech šlo o přesun finančních prostředků mezi jednotlivými položkami. V době podání žádosti nebylo řešiteli známo účtování položky doprava materiálu, která byla chybně zařazena do položky služeb. Dle účtování fakulty tato položka spadá do spotřeby materiálu a tudíž se v čerpání finančních prostředků projeví v položce ostatní. Na tuto změnu byla podána žádost o změnu projektu.

Druhá změna projektu se týkala přesunu ušetřených finančních prostředků na stavbu fyzikálního modelu, které byly přesunuty do drobného hmotného majetku vše v rámci položky ostatní.

Další změny projektu se týkají pohybu cen materiálu a drobného hmotného majetku, tak jak se ceny měnily v průběhu realizace projektu. Všechny provedené změny byly schváleny fakultou stavební. Změny neměly vliv na řešení projektu.

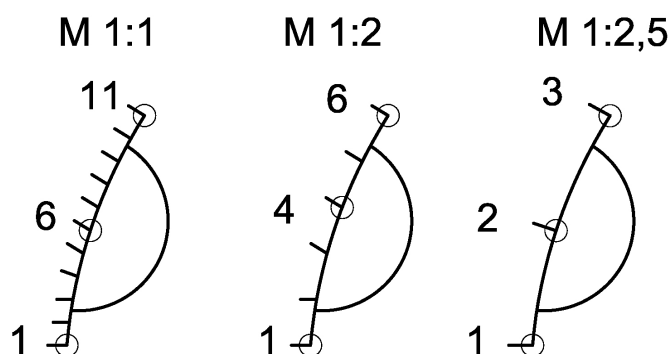
### 4 Výsledky a výstupy řešení, prezentace výsledků

#### 4.1 Vliv rozměrů modelu na průtočné charakteristiky klapky (meze modelové podobnosti)

Hodnoty naměřených přepadových součinitelů  $m$  byly vyjádřeny graficky jako funkce modelového měřítka  $M$  a úhlu sklopení klapky  $\alpha$ . Platí tedy  $m = f(M; \alpha)$ . Výpočet přepadového součinitele  $m$  byl uvažován s a bez přítokovou rychlostí  $v$ , tak aby bylo možné posoudit vliv rychlosti na průtočnou kapacitu klapkového uzávěru. Měření probíhala vždy při zavzdušněném prostoru pod přepadovým paprskem.

#### 4.2 Vliv rozměrů modelu na tlakové poměry na ploše klapky (meze modelové podobnosti)

Pro vyhodnocení tlaků byly mezi sebou porovnávány sobě odpovídající si piezoodběry na jednotlivých modelech.



**obr.8** – schéma umístění posuzovaných piezoodběrů u jednotlivých modelů (modely jsou zvětšeny na velikost prototypu pro větší přehlednost)



U otočného čepu klapky byly posuzovány odběry 1-1-1 (M 1:1 - M 1:2 - M 1:2,5). Při posuzování zatížení vyvozené na střed klapky byly vhodné odběry 6-4-2 a pro konec klapky 11-6-3. Hodnoty naměřené na modelech M 1:2 a M 1:2,5 byly přepočteny na prototyp a vzájemně porovnány.

### **4.3 Vliv prostorovosti (šířky přelivu) na proudové charakteristiky v rovině symetrie**

Vliv délky přelivné hrany byl již v minulosti ověřen na modelu pevné podtlakové přelivné konstrukce se zaoblenou přelivnou hranou [6].

Postupně byl vyhodnocován součinitel přepadu pro šířky  $b = 412, 197$  a  $104$  mm.

### **4.4 Vliv dolní vody na průtokové charakteristiky klapky**

Je zřejmé z mnoha publikací, že vliv zvýšené hladiny dolní vody ( $h_d$ ) v podjezí snižuje do jisté míry průtočnou kapacitu přelivu. Míra ovlivnění je dána výškou hladiny  $h_d$ , která byla v našem případě uvažována od otočného čepu klapky směrem nahoru – viz obr. 3 na str.7, dále pak úhlem sklopení  $\alpha$  a také zavzdušněním prostoru pod přepadovým paprskem. Jednotlivé  $h_d$  byly měřeny v úrovních  $0,3H$ ;  $0,5H$ ;  $0,7H$  a  $1,0H$ , kde  $H$  je hradicí výška uzávěru. Tyto stavy byly posuzovány s dokonalým přepadem ( $0,0H$ ) a následně byl z nich vypočten součinitel zatopení  $\sigma_z$ , který definuje o kolik se sníží kapacita přelivu vlivem  $h_d$ .

U úhlů  $\alpha = 0^\circ$  a  $20^\circ$  se podařilo prostor pod přepadovým paprskem posoudit pro zavzdušněný i nezavzdušněný stav. Při vyšších úhlech sklopení se pak již jednalo vždy o zavzdušněný prostor.

Jak uvádí Skalička [8], již při minimálním ovlivnění přepadu hladinou dolní vody dochází ke změně proudových charakteristik nad přelivem.

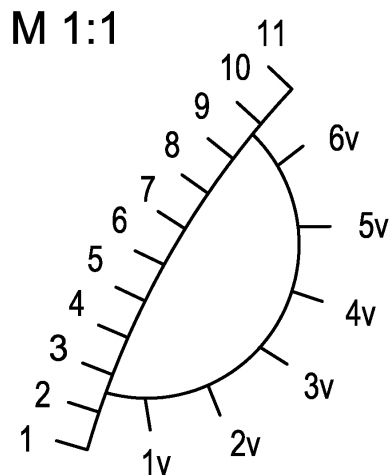
Naměřené hodnoty jsou patrné z následujících tabulek. Podle úhlu nastavení  $\alpha$  a specifického průtoku  $q$  lze vyhledat naměřenou hodnotu  $\sigma_z$ , která udává poměrově (chcete-li procentuálně) sníženou či zvýšenou kapacitu přelivu.

### **4.5 Vliv dolní vody na zatěžovací charakteristiky klapky**

Při posuzování vlivu  $h_d$  na zatížení uzávěru byly měřeny tlaky působící na klapku od  $h_h$  a  $h_d$  na modelu M 1:1, který měl největší vypovídací hodnotu.

Celkem bylo umístěno na návodním (hradicím) líci klapky 11 piezoodběrů. Na vzdušném (výztužném) líci uzávěru pak dalších 6 odběrů (1v - 6v). Rozmístění odběrů je patrné ze schématu na obr.11.

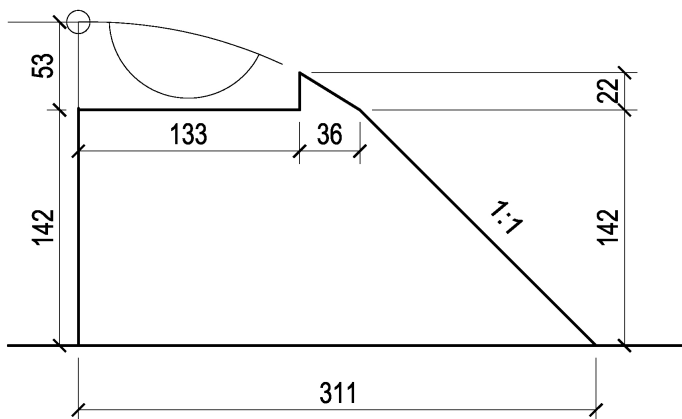
U naměřených tlaků vodního sloupce v mm bylo zjištěna silná závislost úhlu sklopení uzávěru  $\alpha$  na výsledných hodnotách zatížení.



obr. 9 – rozmístění piezodoběrů při měření vlivu  $h_d$  na zatížení klapky

#### 4.5.1 Vliv tvaru podjezí na zatěžovací charakteristiky

Jak je uvedeno v odstavci 2.2.2, je dokázáno, že tvar podjezí má velký vliv na dílčí zatížení od  $h_d$ . Na modelu M 1:1 byl pokusně umístěn tvar podjezí, který je často používán u již realizovaných klapkových konstrukcích (viz obr. 10,11). Cílem pokusů bylo posoudit vliv podjezí na změnu hodnot zatížení na návodním a vzdušném líci uzávěru.



obr. 10,11 – schéma s rozměry instalovaného podjezí a průběh  $h_d = 1,0H$  při  $\alpha = 0^\circ$

#### 4.6 Prezentace výsledků výzkumu

Dosud realizované výsledky výzkumu:

- Šulc J., Šafář R., Picka D.: *Meze podobnosti přepadu přes přeliv se zaoblenou korunou*, konference k výročí vzniku 110 let Vysokého učení technického v Brně, 2009

- Picka D.: *Meze modelové podobnosti u hladinového klapkového uzávěru*, konference Juniorstav, Vysoké učení technické v Brně, 2010

## 5 Literatura

- [1] Čábelka J.: *Hydraulický výzkum podpírané duté jezové klapky*. Povodí Vltavy 2/81
- [2] *Navrhování a výpočet klapkových hradicích konstrukcí*, Typizační směrnice, Hydroprojekt Praha, 1980
- [3] Čábelka J., Novák P.: *Hydrotechnický výzkum 1*. Praha: SNTL, 1964
- [4] Čábelka J., Gabriel P.: *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*, Academia Praha, 1987
- [5] Smetana, J.: *Meze modelového výzkumnictví v hydrotechnice*. Sborník České akademie technické. ročník XVII, sešit 7, Praha, 1943. s. 615-630.
- [6] Šulc J., Šafář R., Picka D.: *Meze podobnosti přepadu přes přeliv se zaoblenou korunou*, konference k výročí vzniku 110 let Vysokého učení technického v Brně, 2009
- [7] Šulc J., Haluza M.: *Stanovení hydrodynamického účinku proudu na klapkový hladinový uzávěr*, Výzkumná zpráva, VVUVSH – VUT v Brně, 1990
- [8] Skalička J.: *Výpočet průtoku přes jez při vysokém stupni zatopení dolní vodou*. Vodní hospodářství – řada A, č.9, 1981, str. 237 – 242
- [9] Šulc J., Haluza M.: *Vliv dolní vody a tvaru návodního líce na hydrodynamické zatížení hladinové klapky*. Výzkumná zpráva VUT Brno, 1991
- [10] Průcha M.: *Výzkum zatížení duté klapky*, ČVUT – Fakulta stavební, Praha 1986
- [11] Wickert G., Schmausser G.: *Stahlwasserbau*, Springer, Heidelberg, 1971
- [12] Čábelka J. a kol.: *Novodobé jezové uzávěry a hydraulické podmínky bezpečnosti jejich provozu*, závěrečná zpráva výzkumného úkolu 114 F 71-73, ČVUT Praha 1974
- [13] Levin L.: *Formulaire des conduites loraés oléoducs et conduits d'aeration*, Dudod Paris, 1968

V Brně dne 25.2.2010

.....  
Ing. Daniel Picka