



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

# SOUČINITEL PŘEPADU ŠTĚRBINOVÝCH PŘELIVŮ

DISCHARGE COEFFICIENT OF SLIT WEIRS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Havran

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZBYNĚK ZACHOVAL, Ph.D.

BRNO 2019



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	David Havran
Název	Součinitel přepadu štěrbinových přelivů
Vedoucí práce	doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Aydin, I., Altan-Sakarya, A. B., Ger, A. M., 2006. Performance of slit weir. Journal of Hydraulic Engineering, 132, 2, 987-989.

Aydin, I., Ger, M., 2002. Measurement of small discharges in open channels by slit weir. Journal of Hydraulic Engineering, 128, 2, 234-237.

ČSN ISO 1438, 2012. Hydrometrie - Měření průtoku vody v otevřených korytech pomocí tenkostěnných přelivů. Praha: ÚNMZ.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Štěrbinové přelivy se používají pro stanovení malých průtoků. Jejich zásadní nevýhodou je vliv tření a povrchového napětí na hodnotu součinitele přepadu.

Cílem práce je stanovení součinitele přepadu štěrbinových přelivů.

Student provede literární rešerši, soupis možných vlivů na průtočnost štěrbinových přelivů a ověřovací měření na konkrétním případě štěrbinového přelivu při dokonalém přepadu. Výsledkem práce bude doporučení pro stanovení součinitele přepadu.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá stanovením součinitele přepadu šterbinového přelivu na základě experimentálního výzkumu. Zároveň sleduje možné vlivy na průtočnost a uvádí porovnání dosažených dat s již existujícími. Práce taktéž poskytuje přehled a seznámení s významem šterbinových přelivů. Výsledkem bude doporučení pro stanovení součinitele přepadu.

## **ABSTRACT**

This work deals with experimental research, with outcomes of design and recommendation for determination of the discharge coefficient of the slit weir. At the same time states the possible effects on capacity. Then comparing the data with already existing ones. The thesis provides an overview and insight into the meaning of slit weirs as well. The goal is to propose a determination of the discharge coefficient.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Šterbinový přeliv, průtok, povrchové napětí, tření, součinitel přepadu, Reynoldsovo číslo, Weberovo číslo

## **KEYWORDS**

Slit weir, discharge, surface tension, friction, discharge coefficient, Reynolds number, Weber number

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

David Havran *Součinitel přepadu štěrbinových přelivů*. Brno, 2019. 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Zbyněk Zachoval, Ph.

# PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Zbyňku Zachovalovi, Ph. D. za odborné vedení, trpělivost, ochotu a cenné rady. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu a motivaci při studiu.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL A METODA ŘEŠENÍ .....</b>	<b>3</b>
2.1	Cíl .....	3
2.2	Metoda .....	3
<b>3</b>	<b>ŠTĚRBINOVÝ PŘELIV.....</b>	<b>5</b>
3.1	Popis štěrbinových přelivů .....	5
3.2	Použití štěrbinových přelivů.....	5
3.3	Experimentální výzkum na univerzitě METU .....	5
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM.....</b>	<b>9</b>
4.1	Experimentální zařízení.....	9
4.2	Měřidla .....	12
4.2.1	Měření geometrických charakteristik .....	12
4.2.2	Měření průtoku .....	14
4.3	Rozsah parametrů .....	15
4.4	Měření .....	15
4.5	Změřená data a výpočty .....	15
4.5.1	Štěrbina šířky 0,050 m.....	16
4.5.2	Štěrbina šířky 0,020 m.....	17
4.5.3	Štěrbina šířky 0,010 m.....	19
4.5.4	Štěrbina šířky 0,005 m.....	22
4.5.5	Štěrbina šířky 0,002 m.....	24
4.5.6	Štěrbina šířky 0,001 m.....	26
4.6	Vyhodnocení dat.....	28
<b>5</b>	<b>POROVNÁNÍ .....</b>	<b>31</b>
5.1	Porovnání s již dostupnými daty .....	31
<b>6</b>	<b>DOPORUČENÍ PRO VÝPOČET.....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>36</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAMY .....</b>	<b>37</b>
9.1	Veličin .....	37
9.2	Zkratek.....	37
9.3	Obrázků .....	37
9.4	Tabulek.....	39

# 1 ÚVOD

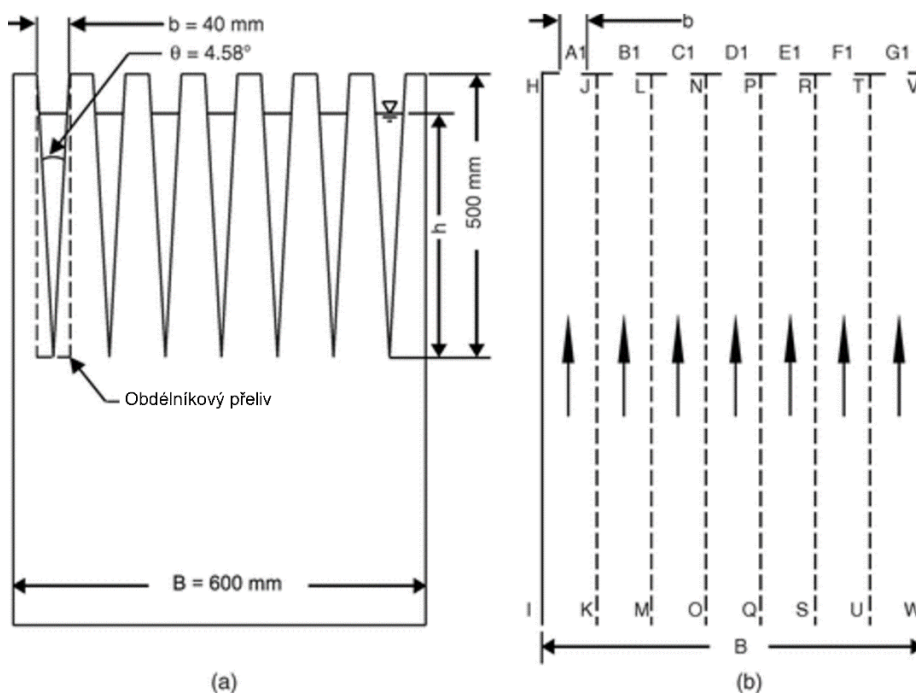
Ostrohranné přelivy jsou velmi vhodným nástrojem pro měření relativně malých průtoků v otevřených korytech [1]. Přesto rovnici pro výpočet součinitele přepadu nelze odvodit obecně, protože je ovlivněn viskozitou, povrchovým napětím, geometrií přelivu a drsností povrchu. Typy a rozměry přelivů jsou proto standardizovány. Experimentální vztahy a součinitelé jsou určeny na základě experimentálních dat. Známé typy ostrohranných přelivů jsou klasifikovány podle tvaru výřezu (Obr. 1) např.: obdélníkové, lichoběžníkové, trojúhelníkové a parabolické, případně složené. Součinitel přepadu představuje kombinaci účinků všech parametrů, které negativně ovlivňují průtočnost. Přesnost stanovení průtoku závisí na přesnosti stanovení součinitele přepadu a přesnosti měření.



Obr. 1 Typy šterbinových přelivů

Přelivy obdélníkového (např. Ponceletův přeliv), lichoběžníkového, trojúhelníkového (např. Thomsonův přeliv) a parabolického tvaru se tradičně používají jako zařízení pro relativně přesné laboratorní stanovení průtoku, zejména v oblastech s malým průtokem. Pro měření v širokých kanálech, žlebech a nádržích se používá mnohonásobných šterbinových přelivů, které umožňují stanovit průtok při malých přepadových výškách bez výrazného koncentrování proudu, v některých případech i s použitím šterbinových přelivů (Obr. 2).





Obr. 2 Mnohonásobný štěrbinový přeliv [2]

Štěrbínový přeliv má obdélníkový (pravoúhlý) výřez s tak malou šířkou, že je průtočnost přelivu šířkou ovlivněna. Vzhledem k malé šířce výřezu se nazývá štěrbinový přeliv. Štěrbínové přelivy jsou vhodné ke stanovení velmi malých průtoků relativně čisté vody. Na štěrbinovém přelivu, který je předmětem práce, byly sledovány vlivy hodnot šířky štěrbin, přepadové výšky, výšky přelivu, šířky přítokového žlabu, Reynoldsova čísla a Weberova čísla na součinitel přepadu.

Součinitel přepadu je vyjádřen jako poměr změřeného reálného průtoku a průtoku ideální kapaliny.

## 2 CÍL A METODA ŘEŠENÍ

### 2.1 Cíl

Cílem této práce je experimentální stanovení součinitele přepadu šterbinových přelivů a doporučení pro jeho výpočet.

### 2.2 Metoda

Průtok ideální kapaliny  $Q_i$  při přepadu přes šterbinový přeliv šířky  $b$  a výšky  $P$  umístěný v korytě pravoúhlého příčného profilu s šířkou  $B$  se vypočítá z rovnice [1]

$$Q_i = \frac{2}{3} \sqrt{2gb} h^{\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

kde  $g$  je tíhové zrychlení a  $h$  je přepadová výška.

Průtok reálné kapaliny při přepadu je

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2gb} h^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

kde  $C_d$  je součinitel přepadu. Součinitel přepadu se vypočítá úpravou rovnice (2)

$$C_d = \frac{3Q}{2\sqrt{2gb} h^{\frac{3}{2}}}, \quad (3)$$

a je závislý na bezrozměrných kritériích a geometrických poměrech [1]

$$C_d = f_1 \left( Re, We, \frac{h}{b}, \frac{b}{B}, \frac{h}{P} \right). \quad (4)$$

Ve funkčním vztahu (4) je  $Re$  Reynoldsovo číslo (kritérium)

$$Re = \frac{vL}{\nu} = \frac{\sqrt{2ghb}}{\nu}, \quad (5)$$

s charakteristickou rychlostí  $v$  vyjádřenou

$$v = \sqrt{2gh} \quad (6)$$

a charakteristickou délkou  $L$  vyjádřenou šířkou přelivu  $L = b$ .

$We$  je Weberovo číslo (kritérium)

$$We = \frac{\rho v L}{\sigma} = \frac{2\rho ghb}{\sigma}, \quad (7)$$

kde  $\rho$  je hustota a  $\sigma$  je povrchové napětí.

Řešení funkční závislosti (4) by vyžadovalo provedení značného množství měření, což by přesahovalo časové možnosti vytyčené pro vyhotovení této bakalářské práce. Z tohoto

důvodu byla využita informace, z již provedených experimentů [1], kde bylo prokázáno, že ovlivnění proudu není znatelné při  $P > 0,04$  m a  $b/B \leq 0,25$ .

V okamžiku, kdy relativní výška přelivu  $h/P$  neovlivňuje součinitel přepadu, se jedná o tzv. vysoký přeliv [3].

Při dodržení výše uvedeného má funkční zavislost (4) tvar

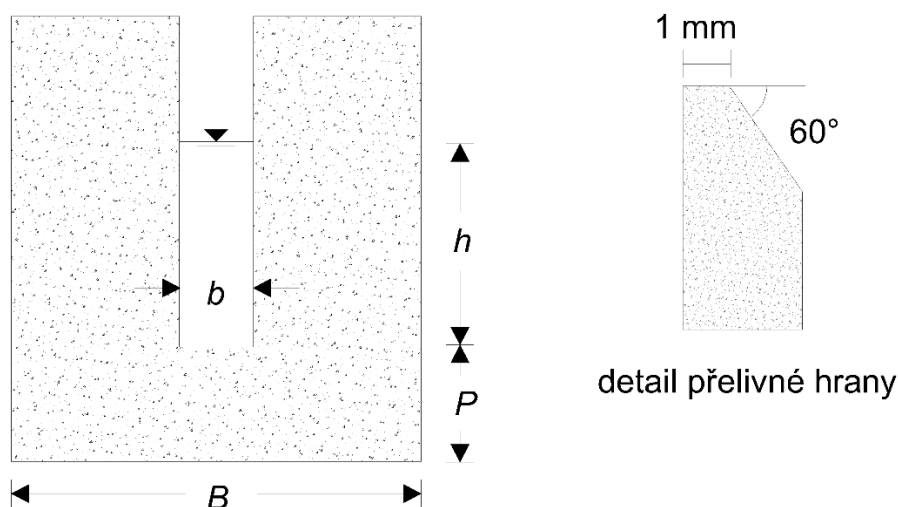
$$C_d = f_2 \left( Re, We, \frac{h}{b} \right). \quad (8)$$

Při různých šířkách štěrbin a přepadových výškách se projevují jinak jak účinky tření ( $Re$ ), tak účinky povrchového napětí ( $We$ ). Tyto účinky jsou zohledněny v součiniteli přepadu. Kvůli proměnlivosti těchto hodnot je potřeba provést měření průtoků při všech možných kombinacích šířek štěrbin přelivu a přepadových výšek, zvláště pak s důrazem na jejich malé hodnoty.

## 3 ŠTĚRBINOVÝ PŘELIV

### 3.1 Popis štěrbinových přelivů

Štěrbínové přelivy jsou vhodná zařízení pro měření malých průtoků. Stanovení průtoku probíhá pomocí měření úrovně hladiny, která je měřena buďto mechanicky, nebo pomocí ultrazvuku, známých rozměrů přelivu a úrovně koruny přelivu. Schéma štěrbinového přelivu je uvedeno na (Obr. 3).



Obr. 3 Ostrohranný obdélníkový přeliv s popisem veličin

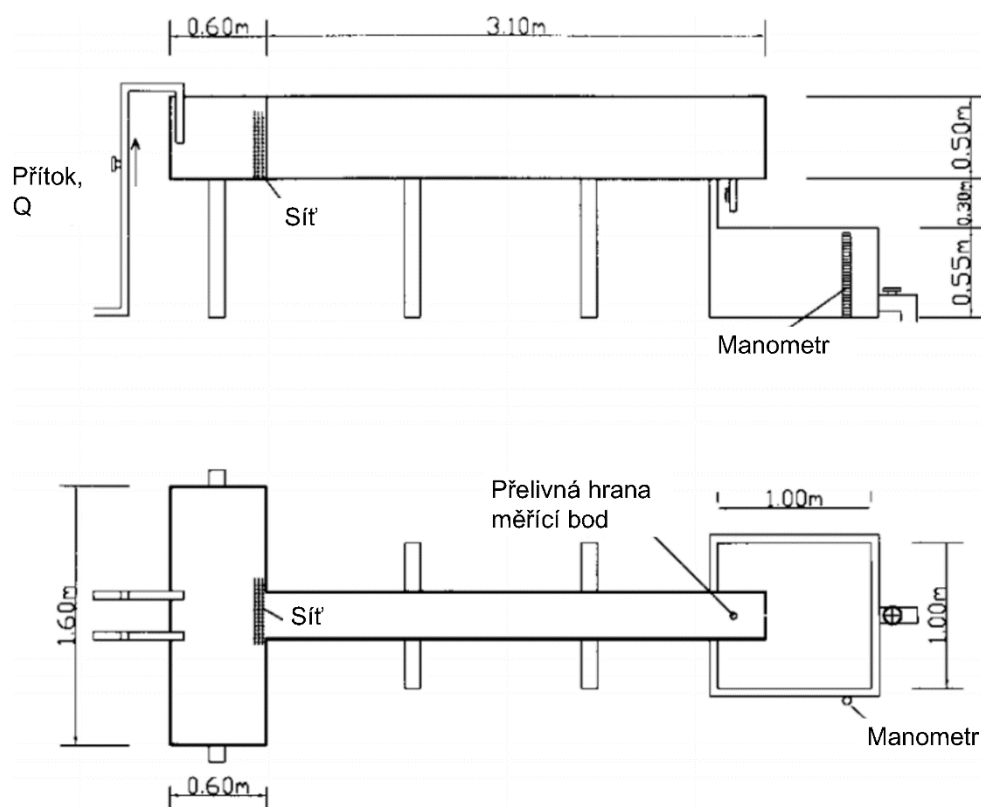
### 3.2 Použití štěrbinových přelivů

Štěrbínové přelivy se používají pro měření malých průtoků při proudění vody s volnou hladinou [4]. Jejich uplatnění je například při měření průsaků hrázemi přehrad, laboratorním měření, měření průtoků u fontán atd. Instalují se také do malých toků, přičemž se použijí mnohonásobné přelivy.

### 3.3 Experimentální výzkum na univerzitě METU

Výzkum se uskutečnil na Středozápadní Technické Univerzitě v Ankaře [1]. Experiment (Obr. 4) byl prováděn v pravoúhlém kanálu z desek ze sklolaminátu. Měření byla provedena pro šířky štěrbin  $b = 0,005, 0,0075, 0,010, 0,015, 0,020, 0,030, 0,040, 0,050, 0,060$  a  $0,075$  m v kanále s šířkou  $B = 0,300$  m a s výškou přelivu  $P = 0,040, 0,080$  a  $0,160$  m. Minimální a maximální hodnoty  $h$  naměřené pro všechny šířky přelivů a odpovídající hodnoty  $h/b$  jsou uvedeny v Tab. 1. Experimentální data z deseti různých šířek štěrbin pokrývají rozsah 0,28

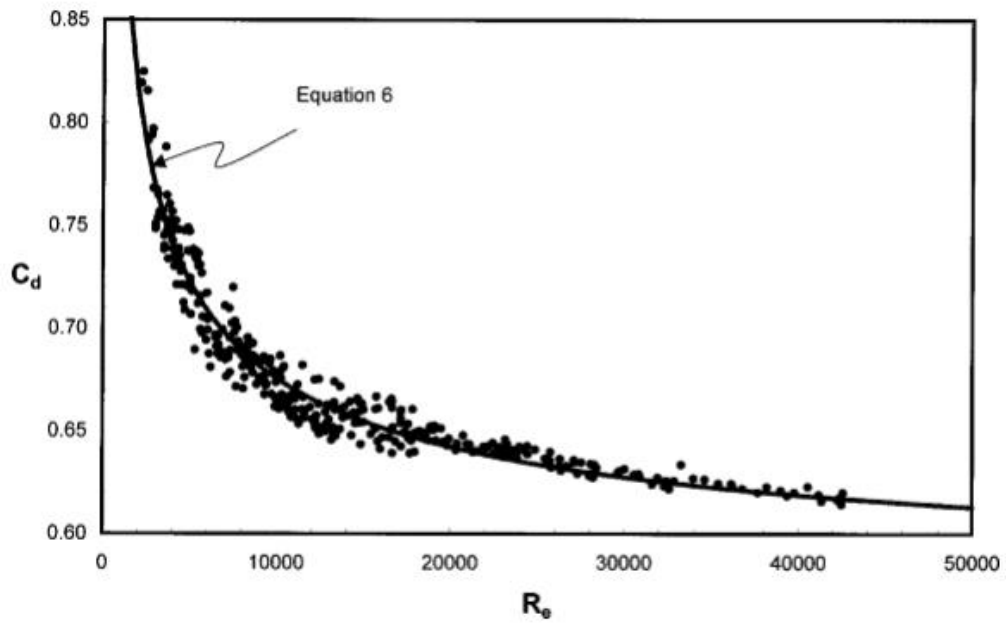
$\leq h/b \leq 55,80$ . Minimální a maximální naměřené průtoky byly 0,03 l/s a 5,00 l/s. Výška hladiny nad přelivem byla stanovena jako průměr souběžných měření bodovým měřidlem a hákem s rozlišovací schopností 0,0001 m, čímž se eliminovaly chyby způsobené zvyšováním nebo snižováním hladiny. Vodní víry nebo proudy způsobené čerpáním vody do kanálu byly zanedbatelné. Přítoková hadice byla umístěna do samostatné nádrže o velikosti 0,6 m × 1,6 m z důvodu tlumení proudu vytékajícího z hadice. Průtok byl měřen objemovou metodou, aby se dosáhlo vysoké přesnosti. Teplota byla kolem 20 °C během experimentů. Kinematická viskozita vody byla  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .



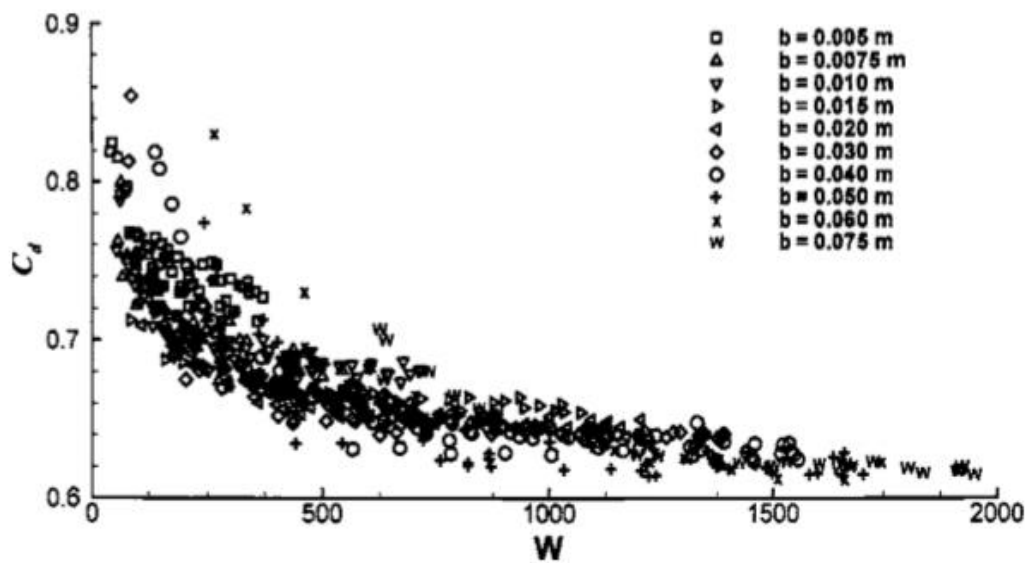
Obr. 4 Schéma experimentálního zařízení v Hydromechanické laboratoři Fakulty stavební  
Středovýchodní Technické Univerzity [5]

Výsledná závislost Reynoldsova čísla a přepadového součinitele je zobrazena na (Obr.5) a popsána rovnicí

$$C_d = 0,562 + 11,354/Re^{0,5} \quad (9)$$



Obr. 5 Závislost součinitele přepadu na Reynoldsově číslu profesury ze Středozápadní Technické univerzity ( $R_e = Re$ ) [4]



Obr. 6 Závislost Přepadového koeficientu na Weberovu číslu profesury ze Středozápadní Technické univerzity ( $W = We$ ) [1]

Tab. 1 Rozsah měřených parametrů [1]

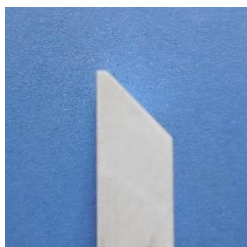
$b$ (m)	$h_{\min}$ (m)	$h_{\max}$ (m)	$h_{\min}/b$	$h_{\max}/b$
0.0050	0.0320	0.2790	6.40	55.80
0.0075	0.0294	0.3018	3.92	40.24
0.0100	0.0209	0.2682	2.09	26.82
0.0150	0.0441	0.2779	2.94	18.53
0.0200	0.0196	0.2260	0.98	11.30
0.0300	0.0103	0.1738	0.34	5.79
0.0400	0.0132	0.1460	0.33	3.65
0.0500	0.0184	0.1259	0.37	2.52
0.0600	0.0166	0.1092	0.28	1.82
0.0750	0.0313	0.0975	0.42	1.30

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

### 4.1 Experimentální zařízení

Experimentální zařízení bylo navrženo a zrealizováno v laboratořích na Fakultě stavební pod vedením doc. Ing. Zbyňka Zachovala, Ph.D., s inspirací modelu vytvořeného v Hydromechanické laboratoři Fakulty stavební Středovýchodní Technické University (Obr. 4). Žlab, ve kterém byl umístěn štěrbinový přeliv, byl široký  $B = 0,5$  m a dlouhý  $L = 1,5$  m. Žlab musel být dostatečně široký, aby bylo možné zanedbat přítokovou rychlost a aby relativní šířka žlabu neovlivňovala přepad. Minimální hodnota relativní šířky žlabu neovlivňující přepad je vyjádřena jako poměr šířky štěrbiny k šířce žlabu  $b/B \leq 0,25$  [1]. Výška přelivu zvolena v tomto experimentu byla  $P = 0,18$  m. Žlab byl zhotoven z vodovzdorné překližky s hladkou povrchovou úpravou. Bylo také potřeba zjistit, zda se nevytváří vodní víry či proudy způsobené přítokem vody při větších průtocích, tato skutečnost byla, alespoň při šířkách štěrbin od 0,001 m do 0,020 m, eliminována omotáním přítokové hadice síťovinou, hladina byla opatřena plovoucí polystyrenovou deskou na uklidnění jejího rozkmitu a do příčného profilu byl vložen usměrňovač proudu. Šířka přelivu byla nastavitelné velikosti  $b = 0,001$  m, 0,002 m, 0,005 m, 0,01 m, 0,02 m, 0,05 m. Výška hladiny nad přelivem bude prověřovaná v  $h = 0,04$  m, 0,06 m, 0,08 m, 0,10 m, 0,12 m, 0,14 m, 0,16 m, 0,18 m. Rozlišovací schopnost měřidla byla 0,000 01 m. Dosáhlo se prověřované oblasti v rozsahu  $0,86 \leq h/b \leq 179,09$ . Nebylo potřeba zavzdušňujícího potrubí pro přepadový paprsek k zabránění přísátí přepadového paprsku. Použitá voda byla z poloviny objemu destilovaná, z druhé poloviny byla z vodovodního řadu. Teplota při experimentu byla od 16,9 °C do 18,5 °C. Pro úplné vypuštění žlabu se využilo vyvrtané díry ve dně žlabu s napojenou hadičkou vedoucí do odtokové nádrže. Přelivná hrana je vyrobena z PVC a do finálního tvaru byla zhotovována. Šířka koruny byla 1 mm a zkosení pod úhlem 45°. Tvar koruny přelivu je vyzobrazeno na Obr. 7. Pro materiál přelivu byly zkoušeny i plechy z bronzu a nerezové oceli, avšak u nich se nepodařilo vyrobit (stříh, řez, broušení, vypalování) návodní hranu koruny přelivu dostatečně ostrou a podélně rovnou.

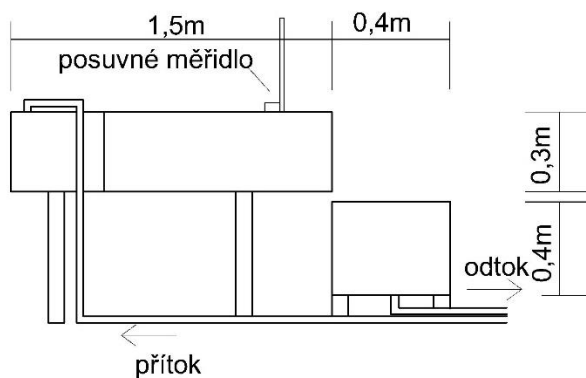
Cirkulační oběh je zajištěn odtokovým potrubím vedoucím z odtokové nádrže a následně k čerpadlu (Obr. 7), které čerpá vodu zpět do žlabu.



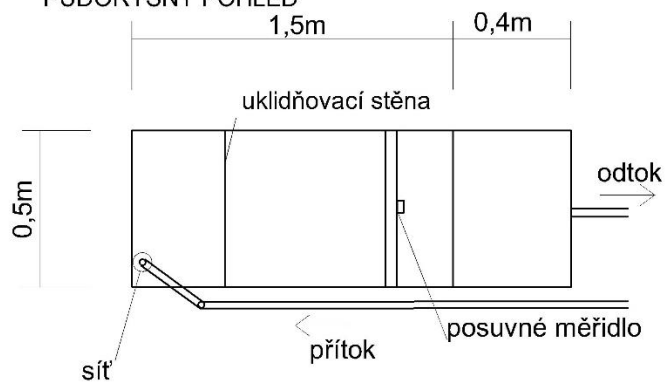
Obr. 7 Detail koruny přelivu



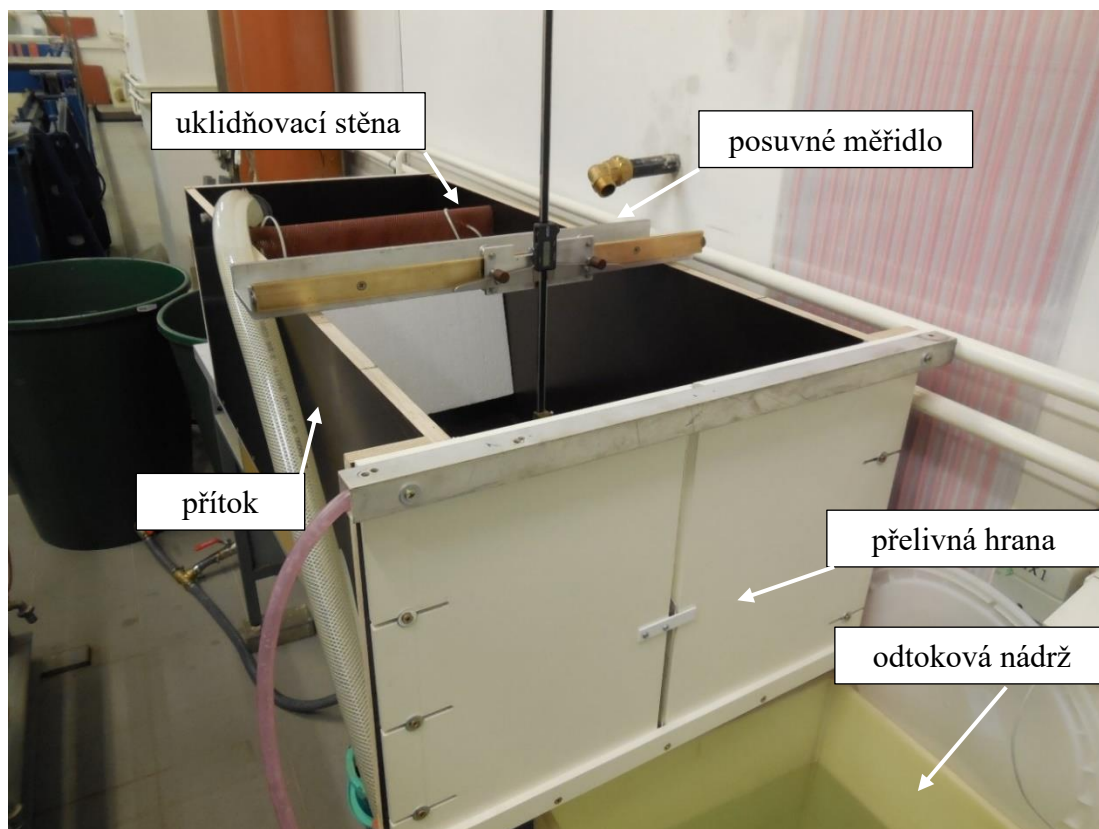
BOČNÍ POHLED



PŮDORYSNÝ POHLED



Obr. 8 Schéma experimentálního zařízení



Obr. 9 Experimentální zařízení s osazenou štěrbinou 0,001 m



Obr. 10 Čerpací systém Vogel s regulačními jednotkami

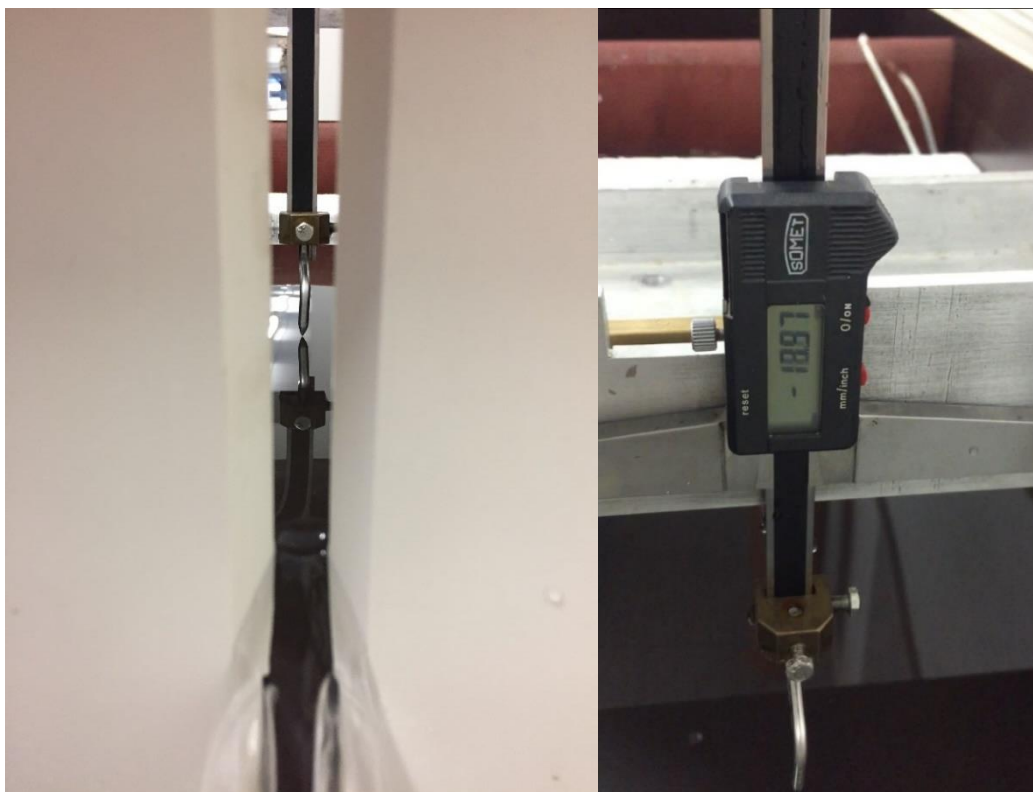


Obr. 11 Vyhodnocovací jednotka indukčního průtokoměru

## 4.2 Měřidla

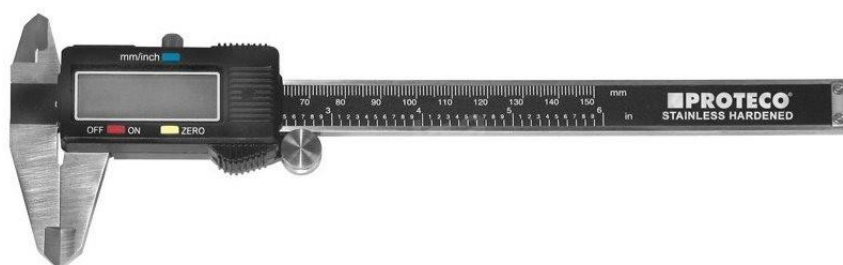
### 4.2.1 Měření geometrických charakteristik

**Digitální hrotové měřidlo** bylo přichyceno na horizontálním ocelovém U profilu pro měření výšky hladiny nad přelivem. Vycentrované a s nastavenou nulou na návodní hraně přelivu se umístilo do vzdálenosti  $3,5h_{max}$  před přelivnou hranou. Měření se při každé přepadové výšce a šířce přelivu opakovalo 10krát, kvůli přesnosti. Rozlišovací schopnost měřidla byla  $0,000\ 01$  m. Hladina byla vždy velmi klidná.



Obr. 12 Hrotové měřidlo

**Digitální posuvné měřidlo** bylo použito pro měření šířky přelivu v 10 úrovních od koruny přelivu po výškách 0,02 m. Rozlišovací schopnost měřidla byla 0,000 01 m.



Obr. 13 Digitální posuvné měřidlo Proteco [6]

**Vodováha** byla použita pro zajištění vodorovnosti nádrže a svislosti hrotového měřidla.



Obr. 14 Vodováha [7]

## 4.2.2 Měření průtoku

**Měření průtoku** bylo provedeno dvěma způsoby, aby byl s dostatečnou přesností pokryt celý rozsah průtoků. První způsob využíval stanovení průtoku elektromagnetickým indukčním průtokoměrem typu VDH 2. Průtokoměr byl použit pro velké hodnoty průtoku od 0,33 l/s až do 3,3 l/s. Druhý způsob využíval objemovou metodu, byla nutná pro určení malých průtoků pod 0,33 l/s. U této metody se voda jímala po dobu od 30 s do 60 s.



Obr. 15 Odměrný válec [8]

### 4.3 Rozsah parametrů

Rozsah parametrů při měření je uveden v Tab. 2.

Tab. 2 Rozsah parametrů

Proměnná	Minimální hodnota	Maximální hodnota
$Re$	837	75356
$We$	11	1835
$h/b$	0,86	179,09
$b/B$	0,002	0,1
$h/P$	0,20	1,01

### 4.4 Měření

Měření bylo rozděleno na měřicí dny. V každém z nich se měřily všechny parametry při jedné šířce přelivu.

Na začátku měření byly zjištěny a zapsány hodnoty teploty, šířky přítokového koryta, šířky šterbiny  $b_i$  v 10 úrovních  $z_i$  po 0,02 m a výšky přelivné hrany nade dnem přítokového koryta. Vycentroval se hrot posuvného měřidla a nastavila se nulová hodnota odpovídající úrovni koruny přelivu. Přesnost stanovení úrovně hladiny byla zajištěna průměrem deseti změřených hodnot.

Měřeno bylo 8 průtokových stavů při každé šířce šterbiny, vyjma šterbiny o šířce 0,05 m, kde bylo dosaženo z technických důvodů jen 6 průtokových stavů. Celkový počet měření byl 46.

Přepadová výška byla v rozsahu od 0,04 m do 0,18 m. Menší hodnota než 0,04 m nebyla pro měření zvolena z důvodu obtížného měření průtoků objemovou metodou minimálních průtoků při šterbině šířky 0,001 m. Maximální hodnota byla zvolena s ohledem na výšku žlabu.

### 4.5 Změřená data a výpočty

Změřená data jsou níže uvedena v podkapitolách seřazených dle šířky šterbiny přelivu. Součinitel přepadu  $C_d$  byl vypočítán z rovnice (3), Reynoldsovo číslo z rovnice (5), Weberovo číslo z rovnice (7) a průtok byl změřen buďto odečtem z elektromagnetického indukčního průtokoměru, nebo objemovou metodou. Šířka šterbiny  $b$  byla aritmetickým průměrem měřených šířek šterbiny  $b_i$  po výšce šterbiny  $z_i$ .

#### 4.5.1 Štěrbina šířky 0,050 m

Přepad přes přeliv se štěrbinou šířky 0,050 m a přepadovou výškou 0,12 m je na Obr. 15. Přepadový paprsek je volný s projevem kontrakce po celé výšce štěrbiny. Ve vrchní části, z důvodu malé hodnoty hydrostatického tlaku, přepadá pomaleji. Pomalejší proud v horní části paprsku dopadá na rychlejší proud ve spodní části paprsku a tím se vyváří rozlítí paprsku do obou stran. Změřená a vypočtená data jsou uvedena v Tab. 3 až Tab. 5.



Obr. 16 Přepadový paprsek, šířka štěrbiny 0,050 m, přepadová výška 0,12 m

Tab. 3 Stálé hodnoty

$T$ [°C]	$P$ [m]	$B$ [m]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
17,1	0,180	0,501	9,81	1000

Tab. 4 Závislost šířky šterbiny na výšce šterbiny

$z_i$ [m]	$b_i$ [m]	$b$ [m]
0,00	0,04997	0,04996
0,02	0,04998	
0,04	0,04994	
0,06	0,04993	
0,08	0,04996	
0,10	0,04994	
0,12	0,04995	
0,14	0,04995	
0,16	0,04998	
0,18	0,04999	

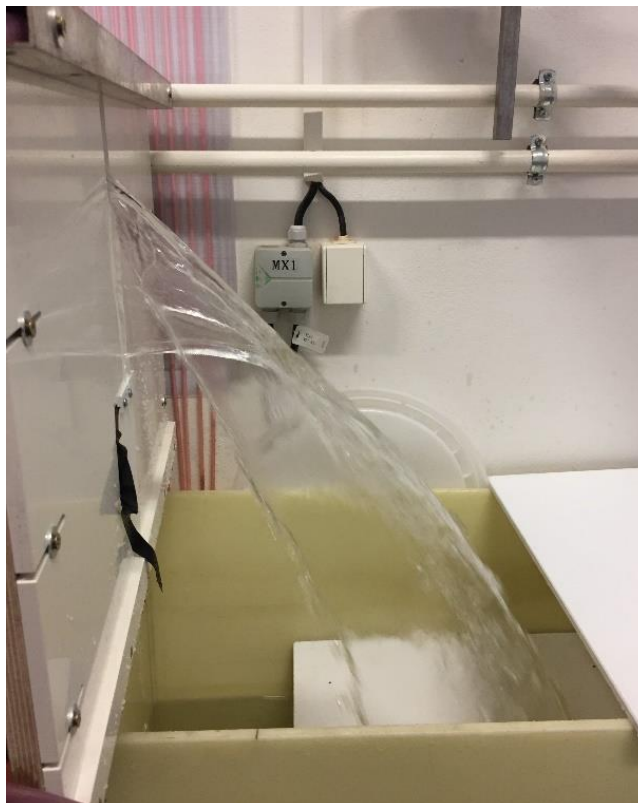
Tab. 5 Změřená a vypočítaná data pro šířku šterbiny 0,05 m

$h$ [m]	$t$ [s]	$V_1$ [m <sup>3</sup> ]	$V_2$ [m <sup>3</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$C_d$ [-]	$Re$ [-]	$We$ [-]
0,043	171	88,153	88,288	0,00079	0,599	42035	571
0,060	164	88,868	89,081	0,00130	0,594	49758	800
0,081	157	89,870	90,192	0,00205	0,604	57608	1072
0,101	137	91,020	91,412	0,00286	0,607	64218	1332
0,118	133	95,334	95,821	0,00366	0,611	69576	1564
0,138	132	94,385	94,867	0,00464	0,611	75356	1835

#### 4.5.2 Šterbina šířky 0,020 m

Přepad přes přeliv se šterbinou šířky 0,020 m a přepadovou výškou 0,16 m je na Obr. 16. Paprsek je volný. Kontrakce je stále patrná, ale rozšíření přepadajícího pomalejšího paprsku z vrchní části je výraznější než u předchozí šířky přelivu. Změřená a vypočtená data jsou uvedena v Tab. 6 až Tab. 8.





Obr. 17 Přepadový paprsek, šířka štěrbinu 0,020 m, přepadová výška 0,16m.

Tab. 6 Stálé hodnoty

$T$ [°C]	$P$ [m]	$B$ [m]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
18,5	0,180	0,501	9,81	1000

Tab. 7 Závislost výšky štěrbinu na výšce, reprezentativní hodnota šířky

$z_i$ [m]	$b_i$ [m]	$b$ [m]
0,00	0,02006	0,02008
0,02	0,02007	
0,04	0,02007	
0,06	0,02007	
0,08	0,02008	
0,10	0,02010	
0,12	0,02007	
0,14	0,02008	
0,16	0,02009	
0,18	0,02012	

Tab. 8 Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,02 m

$h$ [m]	$t$ [s]	$V_1$ [m <sup>3</sup> ]	$V_2$ [m <sup>3</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$C_d$ [-]	$Re$ [-]	$We$ [-]
0,036	30	0,000	0,008	0,000265	0,657	15956	191
0,056	211	70,021	70,129	0,000512	0,646	20005	300
0,079	199	69,675	69,844	0,000851	0,643	23741	422
0,099	224	69,147	69,412	0,001185	0,638	26583	529
0,121	219	68,531	68,880	0,001594	0,637	29351	645
0,141	231	67,674	68,134	0,001994	0,636	31648	750
0,162	224	66,742	67,290	0,002448	0,633	33942	863
0,181	271	65,367	66,152	0,002900	0,634	35885	965

### 4.5.3 Štěrbina šířky 0,010 m

Přepad přes přeliv se štěrbinou šířky 0,010 m a přepadovou výškou 0,12 m je na Obr. 17. Přepadový paprsek je volný. Kontrakce proudu probíhá při většině výšky profilu a vrchní část proudu se kvůli nižší výtokové rychlosti rozšiřuje a přelévá bočními dílčími paprsky. Změřená a vypočtená data jsou uvedena v Tab. 9 až Tab. 11.



Obr. 18 Přepadový paprsek, šířka štěrbiny 0,01 m, přepadová výška 0,12 m.

Tab. 9 Stálé hodnoty

$T$ [°C]	$P$ [m]	$B$ [m]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
16,9	0,180	0,501	9,81	1000

Tab. 10 Závislost výšky šterbiny na výšce, reprezentativní hodnota šířky

$z_i$ [m]	$b_i$ [m]	$b$ [m]
0,00	0,00991	0,00991
0,02	0,00989	
0,04	0,00990	
0,06	0,00989	
0,08	0,00990	
0,10	0,00989	
0,12	0,00990	
0,14	0,00995	
0,16	0,00994	
0,18	0,00992	

Tab. 11 Změřená a vypočítaná data pro šířku šterbiny 0,01 m

$h$ [m]	$t$ [s]	$V_1$ [m <sup>3</sup> ]	$V_2$ [m <sup>3</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$C_d$ [-]	$Re$ [-]	$We$ [-]
0,040	30	0,0000	0,00538	0,000179	0,757	8023	106
0,063	292	77,0797	77,1777	0,000336	0,721	10062	166
0,081	386	76,6731	76,8584	0,000480	0,709	11397	213
0,103	354	76,1377	76,3779	0,000679	0,698	12858	272
0,117	479	75,3199	75,7092	0,000813	0,693	13688	308
0,142	442	74,3123	74,7861	0,001072	0,682	15093	374
0,161	320	73,0189	73,4300	0,001285	0,678	16068	424
0,181	354	71,8210	72,3606	0,001524	0,672	17055	478

#### 4.5.4 Štěrbina šířky 0,005 m

Přepad přes přeliv se štěrbinou šířky 0,005 m a přepadovou výškou 0,12 m je na Obr. 18. Paprsek je teď při určitých průtocích částečně lpící. Vrchní část s menšími výtokovými rychlostmi se rozlévá o spodní rychlejší paprsek. Změřená a vypočtená data jsou uvedena v Tab. 12 až Tab. 14.



Obr. 19 Přepadový paprsek, šířka štěrbinu 0,005 m, přepadová výška 0,12 m.

Tab. 12 Stálé hodnoty

$T$ [°C]	$P$ [m]	$B$ [m]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
17,3	0,180	0,501	9,81	1000

Tab. 13 Závislost výšky šterbiny na výšce, reprezentativní hodnota šířky

$z_i$ [m]	$b_i$ [m]	$b$ [m]
0,00	0,00511	0,00513
0,02	0,00511	
0,04	0,00510	
0,06	0,00512	
0,08	0,00512	
0,10	0,00513	
0,12	0,00513	
0,14	0,00515	
0,16	0,00516	
0,18	0,00515	

Tab. 14 Změřená a vypočítaná data pro šířku šterbiny 0,005 m

$h$ [m]	$t$ [s]	$V_1$ [m <sup>3</sup> ]	$V_2$ [m <sup>3</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$C_d$ [-]	$Re$ [-]	$We$ [-]
0,039	30	0,0000	0,0029	0,000096	0,832	4114	53
0,060	30	0,0000	0,0052	0,000172	0,775	5131	82
0,079	30	0,0000	0,0078	0,000259	0,759	5916	109
0,099	182	81,5244	81,5888	0,000354	0,751	6591	135
0,119	173	81,1514	81,2309	0,000460	0,735	7245	163
0,142	193	80,7245	80,8385	0,000591	0,722	7922	195
0,158	270	80,1459	80,3305	0,000684	0,715	8343	216
0,181	203	79,6371	79,8049	0,000827	0,705	8931	247

#### 4.5.5 Štěrbina šířky 0,002 m

Přepad přes přeliv se štěrbinou šířky 0,002 m a přepadovou výškou 0,12 m je na Obr. 19. Přepadový paprsek je lpící při malých průtocích. Paprsek již není zúžený a lpí z větší části na vnější desce přelivu. Při maximálním průtoku je však stále odtržený. Změřená a vypočtená data jsou uvedena v Tab. 15 až Tab. 17.



Obr. 20 Přepadový paprsek, šířka štěrbinu 0,002 m, přepadová výška 0,12 m.

Tab. 15 Stálé hodnoty

$T$ [°C]	$P$ [m]	$B$ [m]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
17,0	0,180	0,501	9,81	1000

Tab. 16 Závislost výšky štěrbině na výšce, reprezentativní hodnota šířky

$z_i$ [m]	$b_i$ [m]	$b$ [m]
0,00	0,00235	0,00232
0,02	0,00234	
0,04	0,00234	
0,06	0,00234	
0,08	0,00232	
0,10	0,00227	
0,12	0,00230	
0,14	0,00231	
0,16	0,00231	
0,18	0,00231	

Tab. 17 Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbině 0,002 m

$h$ [m]	$t$ [s]	$V_1$ [m <sup>3</sup> ]	$V_2$ [m <sup>3</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$C_d$ [-]	$Re$ [-]	$We$ [-]
0,041	30	0,0000	0,0015	0,000049	0,853	1904	25
0,062	30	0,0000	0,0026	0,000086	0,814	2330	38
0,083	30	0,0000	0,0040	0,000134	0,817	2697	51
0,102	30	0,0000	0,0055	0,000182	0,815	2989	63
0,122	30	0,0000	0,0070	0,000235	0,812	3255	74
0,139	30	0,0000	0,0085	0,000283	0,802	3480	85
0,160	192	84,0112	84,0801	0,000359	0,819	3739	98
0,181	186	84,3457	84,4251	0,000427	0,815	3968	111



#### 4.5.6 Štěrbina šířky 0,001 m

Přepad přes přeliv se štěrbinou šířky 0,001 m a přepadovou výškou 0,12 m je na Obr. 20. Paprsek je plně lpící. Odtržení se projeví pouze při maximálním průtoku. V tomto případě se mohou projevit nepřesnosti měření způsobené ztíženým odběrem vody pro stanovení průtoku objemovou metodou. Změřená a vypočtená data jsou uvedena v Tab. 18 až Tab. 20.



Obr. 21 Přepadový paprsek, šířka štěrbinu 0,001 m, přepadová výška 0,12 m.

Tab. 18 Stálé hodnoty

$T$ [°C]	$P$ [m]	$B$ [m]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]
17,1	0,180	0,501	9,81	1000

Tab. 19 Závislost výšky šterbiny na výšce, reprezentativní hodnota šířky

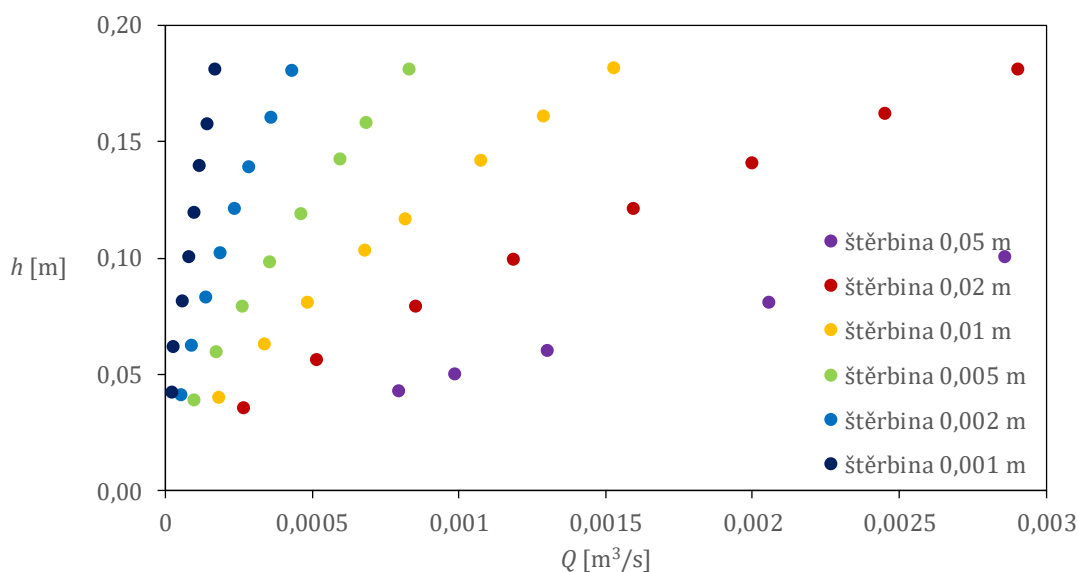
$z_i$ [m]	$b_i$ [m]	$b$ [m]
0,00	0,00100	0,00100
0,02	0,00101	
0,04	0,00100	
0,06	0,00099	
0,08	0,00101	
0,10	0,00100	
0,12	0,00098	
0,14	0,00100	
0,16	0,00100	
0,18	0,00102	

Tab. 20 Změřená a vypočítaná data pro šířku šterbiny 0,001 m

$h$ [m]	$t$ [s]	$V_1$ [m <sup>3</sup> ]	$V_2$ [m <sup>3</sup> ]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$C_d$ [-]	$Re$ [-]	$We$ [-]
0,043	60	0,0000	0,0013	0,000022	0,840	837	11
0,062	60	0,0000	0,0014	0,000023	0,486	1018	17
0,081	60	0,0000	0,0033	0,000054	0,786	1164	22
0,100	60	0,0000	0,0046	0,000077	0,815	1293	27
0,119	60	0,0000	0,0057	0,000095	0,772	1411	32
0,140	60	0,0000	0,0067	0,000112	0,721	1525	37
0,158	60	0,0000	0,0084	0,000141	0,752	1622	42
0,181	42	0,0000	0,0070	0,000167	0,728	1736	48

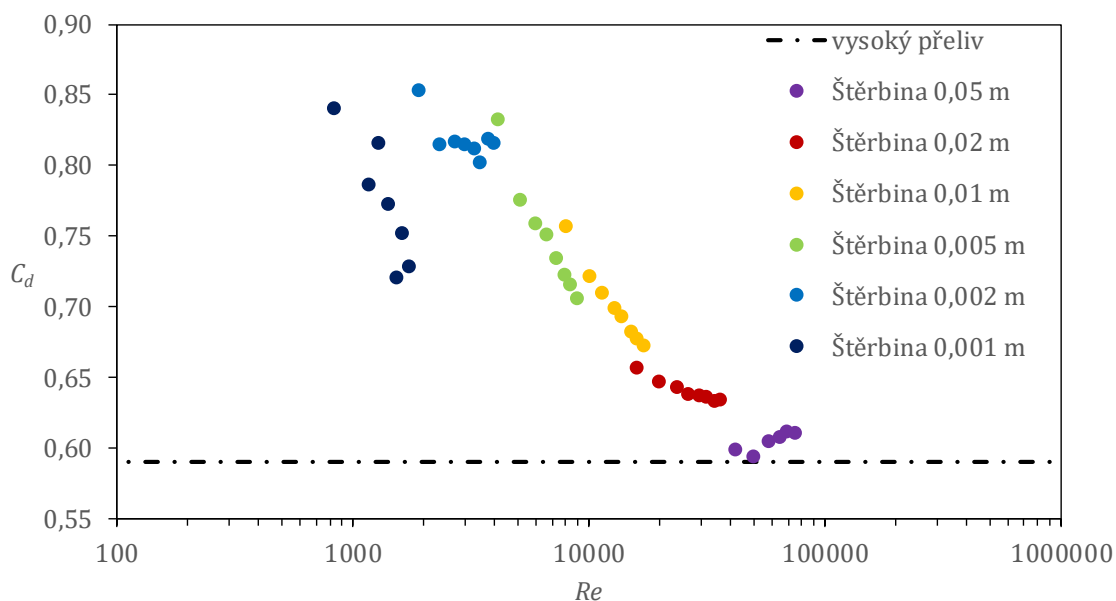
## 4.6 Vyhodnocení dat

Vyhodnocení dat je uvedeno v grafech na Obr. 21 až Obr. 24.



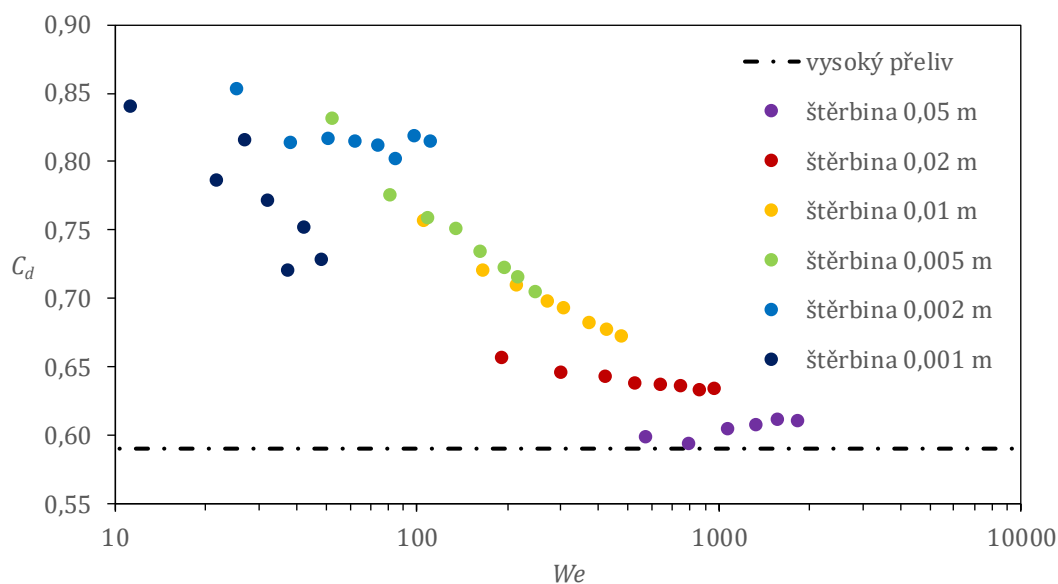
Obr. 22 Měrné křivky

Graf na Obr. 21 zobrazuje rozsah měřených dat ve formě závislosti přepadové výšky na průtoku. Z obrázku vyplývá, že se zvětšující se přepadovou výškou se zvětšuje průtok. Oblast změřených dat přepadové výšky  $h$  je od 0,04 m do 0,18 m a průtoku  $Q$  od hodnot  $0,00002 \text{ m}^3/\text{s}$  do  $0,00464 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pokrytí oblasti bylo rovnoměrné po přepadové výšce, ale nerovnoměrné po průtoku z důvodu pokrytí malých hodnot šířek přelivu. Rozsah je dostatečný pro ověření měření publikovaného Aydinem a kol. [1].



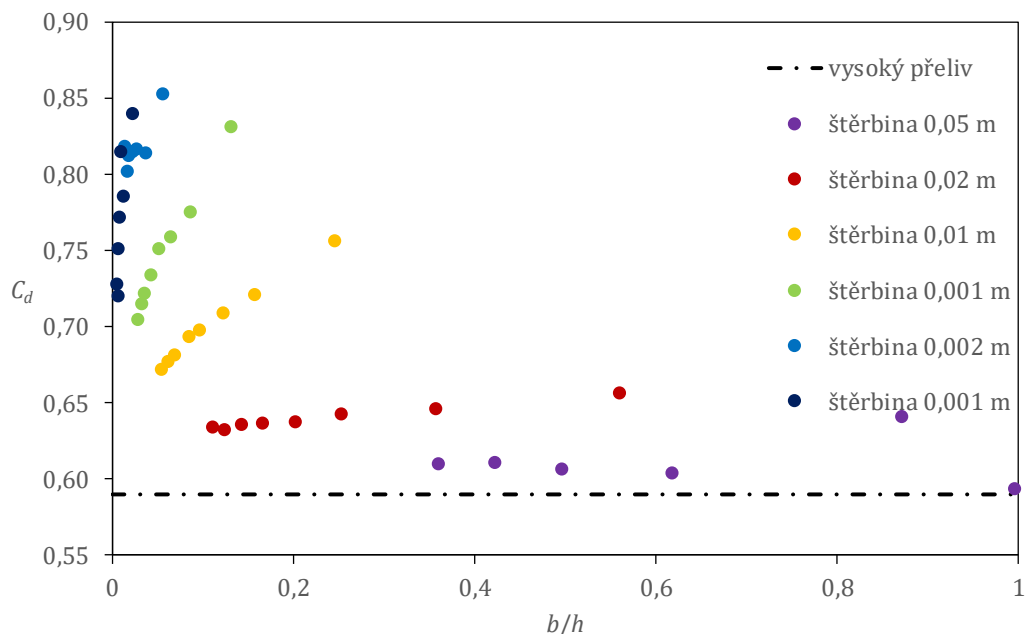
Obr. 23 Závislost součinitele přepadu na Reynoldsově čísle

Graf na Obr. 22 zobrazuje, že se při zmenšování hodnoty Reynoldsova čísla v rozsahu šířky štěrbin  $0.002 \text{ m} \leq b \leq 0.02 \text{ m}$  zvětšuje hodnota přepadového součinitele. Z uvedeného plyne, že se zvětšuje průtočnost. Rozsah hodnot jednoznačně definovatelné závislosti na Reynoldsovu číslu v tomto měření je  $1900 \leq Re \leq 75400$ . Čerchovaná čára v grafu označuje hydraulicky vysoký přeliv s šířkou tak velkou, že neovlivňuje přepad – hydraulicky vysoký a široký přeliv. Hodnoty součinitele přepadu s šířkou štěrbin  $0,05 \text{ m}$  se k hodnotě součinitele hydraulicky vysokého a širokého přelivu přibližují. Hodnoty součinitele přepadu pro štěrbinu šířky  $0,001 \text{ m}$  jsou ve značném rozptylu.



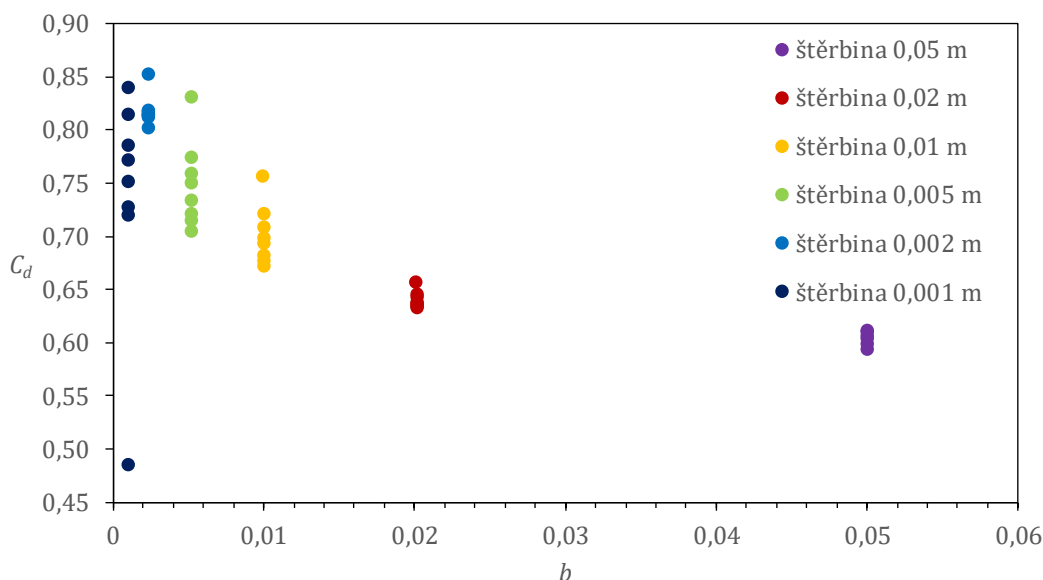
Obr. 24 Závislost součinitele přepadu na Weberově čísle

Z grafu závislosti součinitele přepadu na Weberově čísle uvedeném na Obr. 23 plyne, že závislost má obdobný charakter jako závislost uvedená v grafu na Obr. 22. Rozdílnost je však ve větším rozptylu dat. Z uvedeného vyplývá, že Reynoldsovo číslo je významnější pro určení závislosti.



Obr. 25 Závislost součinitele přepadu na poměru šířky štěrbiný přelivu k přepadové výšce

Z grafu na Obr. 24 vyplývá, že pro každou šířku štěrbiný má závislost součinitele přepadu na poměru  $b/h$  jiný charakter. Poměr  $b/h$  tedy nemá dominantní vliv na hodnotu součinitele přepadu.



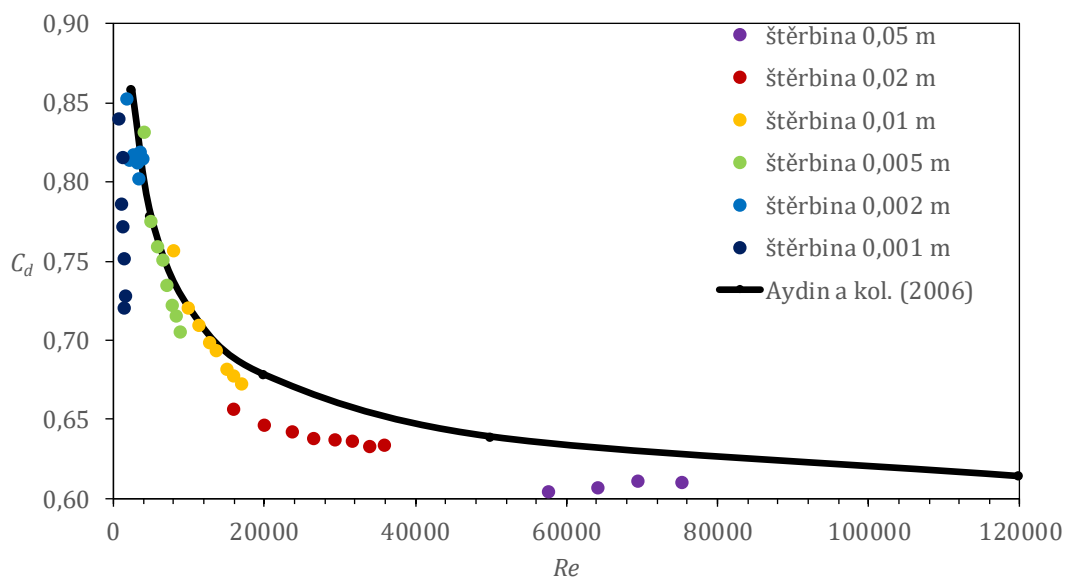
Obr. 26 Závislost součinitele přepadu na šířce přelivu

Na grafech (Obr. 24) a (Obr. 25) lze vidět, že při snižování šířky se hodnota součinitele přepadu zvyšuje a při dosažení šířky štěrbiný 0,002 m se rapidně změní trend dosavadního stoupání. Minimální neovlivněná průtočná šířka tímto profilem je tedy 0,002 m.

## 5 POROVNÁNÍ

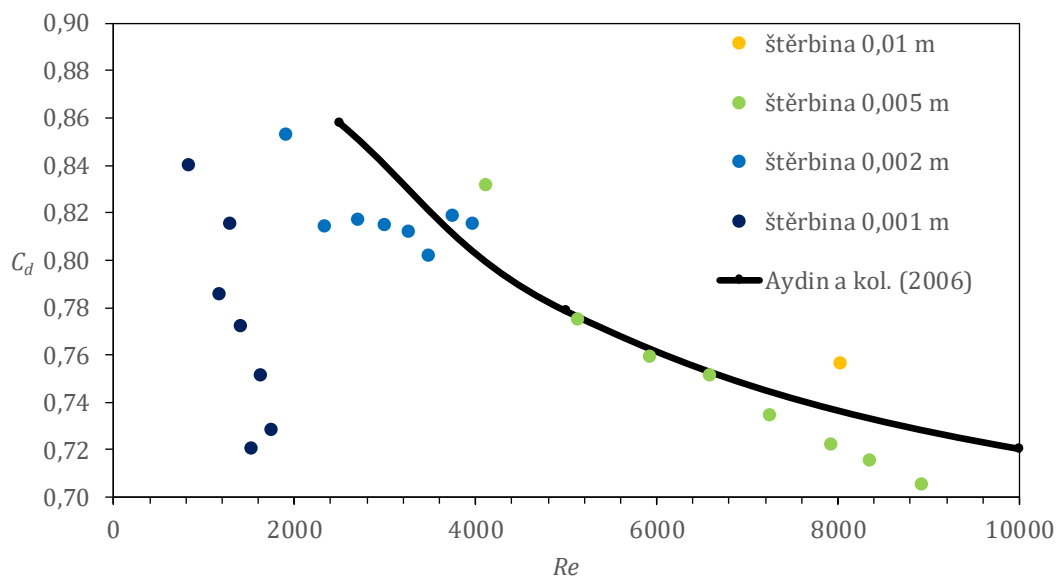
### 5.1 Porovnání s již dostupnými daty

Z dostupných dat Aydina a kol. [1] je znám průběh součinitele přepadu v závislosti na hodnotách Reynoldsova čísla. Na Obr. 26 lze vidět průběh a korespondování výsledků mého měření s křivkou z experimentu provedeného Aydinem a kol. [1].



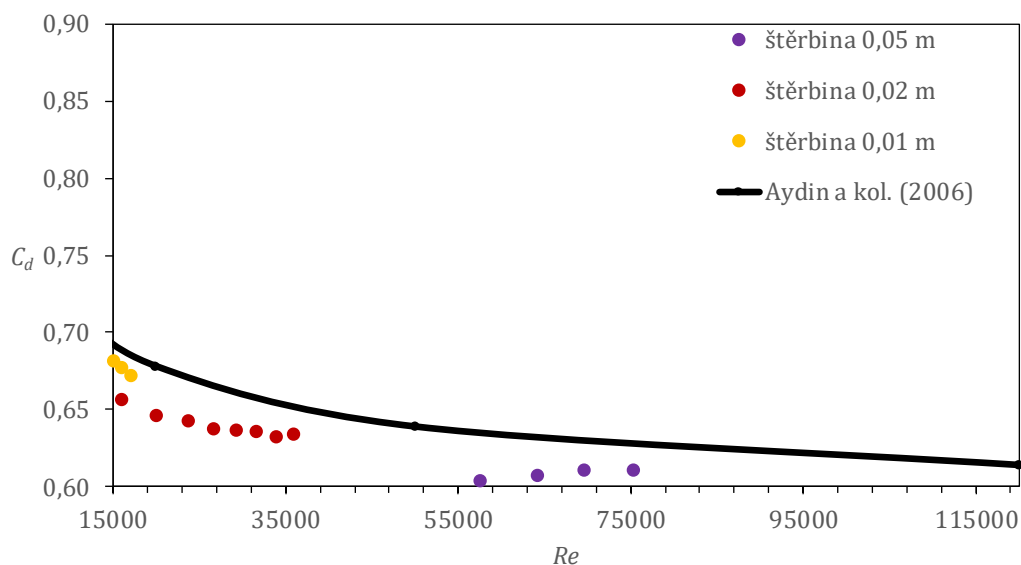
Obr. 27 Data získané experimentálním výzkumem.

Z grafu na Obr. 25 vyplývá, že v oblasti  $4000 < Re < 15000$  mé měření odpovídá křivce stanovené Aydinem a kol. [1]. V rozsahu  $Re < 4000$  a  $Re > 15000$  mé měření již neodpovídá dostatečně přesně.



Obr. 28 Detailní pohled grafu v oblasti  $Re < 10000$

Při detailním pohledu na oblast s malými hodnotami  $Re$  vyobrazenou v grafu na Obr. 27 se ukazuje, že výsledky experimentu přesahující rozsah Aydinova měření jsou výrazně rozptýlené a mají klesající trend se zmenšující se hodnotou  $Re$ .



Obr. 29 Detailní pohled grafu v oblasti  $Re > 15000$

Odchylna změřených hodnot  $C_d$  při  $Re > 15000$  od křivky Aydina a kol. [1] vyobrazená na Obr. 28 je pravděpodobně způsobena kombinací těchto příčin:

- rozdílnou smáčivostí povrchů přelivu u mého měření (PVC) a měření Aydina a kol. (sklolaminát) [1],
- rozdílným povrchovým napětím použité vody mého měření (1/2 destilovaná voda, 1/2 voda z vodovodního řádu) a měření Aydina a kol. (nebyla specifikována) [1],

- odlišnostmi v provedení koruny mého přelivu (úhel zkosení, drsnost přelivné hrany) a přelivu Aydína a kol. ( $60^\circ$ ) [1],
- jinou výškou mého přelivu ( $P = 0,18$  m) a Aydinova a kol. ( $P \leq 0,16$  m) [1].



## 6 DOPORUČENÍ PRO VÝPOČET

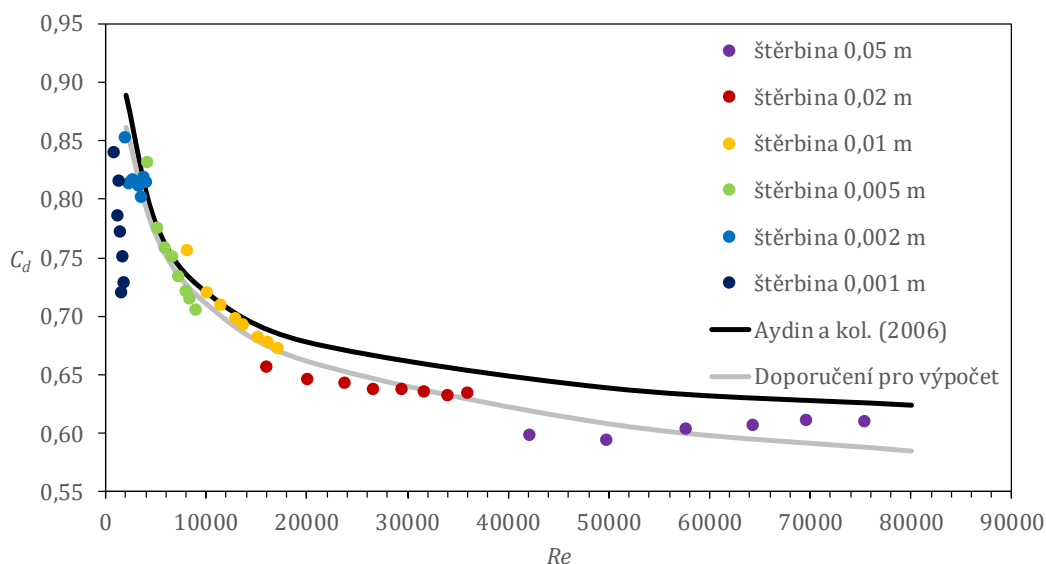
Experimentálním měřením jsem se snažil vyvrátit, či potvrdit platnost měření Aydina a kol. [1] v oblasti Reynoldsova čísla jím zkoumané a rozšířit vyšetřovanou oblast o minimální hodnoty Reynoldsova čísla. Aydin a kol. [1] navrhl následující rovnici pro výpočet součinitele přepadu, která je určena pro poměr  $h/b > 2$ , [1] (obdobná rovnici (9) [4])

$$C_d = 0,562 + \frac{10}{Re^{0,5}} \quad (10)$$

Z porovnání dat z mého měření a dat z měření Aydina a kol. [1], vyplývá, jak bylo uvedeno výše, že se mé hodnoty přibližně shodují s křivkou popsanou rovnicí (10) jen v oblasti  $4000 < Re < 15000$ . Rozhodl jsem se tedy tuto rovnici upravit, aby lépe popisovala mnou získaná data v celém rozsahu změřených hodnot Reynoldsova čísla

$$C_d = 0,39 + \frac{2,92}{Re^{0,24}} \quad (11)$$

s koeficientem determinace  $R^2 = 0,96$ , což značí dobrou shodu.



Obr. 30 Průběh závislosti doporučené rovnice výpočtu součinitele přepadu

Obě rovnice, spolu s mnou získanými daty, jsou vyobrazeny na Obr. 29. Z grafu jednoznačně vyplývá, že pro podmínky mého měření lépe vyhovuje mnou upravená rovnice.

Pro stanovení součinitele přepadu doporučuji volit takovou rovnici, která byla odvozena za podmínek, které blíže odpovídají podmínkám, za nichž bude určován průtok.

## 7 ZÁVĚR A ZHODNOCENÍ

Cílem bakalářské práce bylo stanovení součinitele přepadu  $C_d$  šterbinových přelivů a doporučení pro jeho výpočet.

Pro splnění cíle byla provedena rešerše současného stavu poznání, kdy bylo zjištěno pouze jediné měření publikované v článcích Aydin a kol. [4] a Aydin a kol. [1], na základě něhož byla stanovena závislost součinitele přepadu na Reynoldsově čísle. Z jejich měření vyplývá, že závislost na  $Re$  je oproti  $We$  výraznější. Autoři nevysvětlili důvod zvětšení součinitele přepadu. Ověřovací měření dosud nebylo provedeno. Z toho důvodu bylo provedeno rozsáhlé měření kombinací přepadových výšek  $0,04 \text{ m} \leq h \leq 0,18 \text{ m}$  a šířek přelivu  $0,001 \text{ m} \leq b \leq 0,05 \text{ m}$ .

Výsledky z experimentálního výzkumu potvrdily průběh  $C_d$  na  $Re$  v oblasti  $4000 < Re < 15000$ . Mimo uvedený rozsah jsou mnou obdržené hodnoty jiné.

Z důvodu odchýlení mých výsledků od rovnice Aydina a kol. [1], jsem se tedy rozhodl rovnici upravit, aby lépe odpovídala mým výsledkům.

Pro stanovení součinitele přepadu doporučuji volit takovou rovnici, která byla odvozena za podmínek, které blíže odpovídají podmínkám, za nichž bude určován průtok. [Výsledky objasnily důvod zvětšení součinitele přepadu. Zjistilo se, že při šterbinách a přepadových výškách, při kterých je výtokový paprsek odtržený (volný), se součinitel přepadu výrazně nemění. Změny přichází s paprskem lpícím nebo částečně lpícím. Při těchto podmínkách se hodnoty součinitele přepadu výrazně zvyšují. Důvodem stálých hodnot součinitele přepadu při průtocích s paprskem volným je stálá kontrakce paprsku, která mizí při paprscích lpících a částečně lpících. Závislost součinitele přepadu na Reynoldsově čísle ukazuje, že se snižující se hodnotou  $Re$  se zvětšuje hodnota  $C_d$ , z čehož plyne lpící efekt paprsku a mizí kontrakce proudu. Nesoulad s průběhem  $C_d$  při hodnotách  $15000 < Re < 80000$  může být dán rozdílnou smáčivostí povrchů přelivu u mého měření (PVC) a měření Aydina a kol. (sklolaminát), případně rozdílným povrchovým napětím použité vody, nebo případně odlišnostmi v provedení koruny přelivu a jinou výškou přelivu.]

V rozsahu  $Re < 4000$  jsou hodnoty součinitele přepadu ve značném rozptylu, což je dáno způsobem lpění proudu na přelivu. Se změnou způsobu lpění se změní i hodnota součinitele přepadu. Uvedené proudění tedy výrazně ovlivňuje účinek povrchového napětí.

Při měření s ještě menší šířkou šterbiny by bylo možné určit, zdali se přepadový součinitel bude dále snižovat až na nulovou hodnotu a jak. Tento poznatek by si žádal další měření.

Změny výše uvedeného chování kapaliny se může dosáhnout buďto změnou povrchového napětí kapaliny pomocí přidáním povrchově aktivních látek, nebo změnou viskozity. Proto je třeba zdůraznit, že mnou uvedené závěry platí pouze pro podmínky, za kterých bylo provedeno měření.

## 8 LITERATURA

- [1] I. Aydin, A. B. Altan-Sakarya and G. A. M., "Performance of Slit Weir," *JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING*, vol. 132, no. 9, pp. 987-989, 2006.
- [2] M. M. Ibrahim, "Bed profile downstream compound sharp crested V-notch weir," *ALEXANDRIA ENGINEERING JOURNAL*, vol. 54, pp. 607-613, 2015.
- [3] V. Kolář, P. C. a B. J., *Hydraulika*, Praha: SNTL Praha, 1983.
- [4] I. Aydin, A. M. Ger and O. Hincal, "Measurement of Small Discharges in Open Channels by Slit Weir," *JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING*, vol. 2, no. 128, pp. 234-237, 2002.
- [5] V. Ferro and I. Aydin, "Testing the outflow theory of Malcherek by slit weir data," *FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION*, vol. 59, pp. 114-117, 2018.
- [6] N. Doležalova, „Narex-Makita,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.narex-makita.cz>.
- [7] STANLEY, „Dilna Zahrada,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.dilna-zahrada.cz>.
- [8] S. Verkon, „Verkon,“ 2019. [Online]. Available: <https://www.verkon.cz>.
- [9] I. J. Kaisler, *Hydrometrie - Měření průtoku vody v otevřených korytech pomocí tenkostěnných přelivů*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

## 9 SEZNAMY

### 9.1 Veličin

$t$	čas	s
$\rho$	hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
$V$	objem	$\text{m}^3$
$Q$	průtok	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$h$	přepadová výška	m
$Re$	Reynoldovo číslo	1
$C_d$	součinitel přepadu	1
$b$	šířka štěrbin	m
$B$	šířka přítokového žlabu	m
$T$	teplota	$^{\circ}\text{C}$
$g$	tíhové zrychlení	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
$v$	vztažná rychlost	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
$P$	výška přelivu	m
$\nu$	viskozita	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
$We$	Weberovo číslo	1

### 9.2 Zkratky

FAST	Fakulta stavební
METU	Middle East Technical University
PVC	Polyvinylchlorid
VUT	Vysoké učení technické

### 9.3 Obrázků

Obr. 1	Typy štěrbinových přelivů .....	1
Obr. 2	Mnohonásobný štěrbinový přeliv [2].....	2
Obr. 3	Ostrohranný obdélníkový přeliv s popisem veličin .....	5

Obr. 4	Schéma experimentálního zařízení v Hydromechanické laboratoři Fakulty stavební Středovýchodní Technické Univerzity [5] .....	6
Obr. 5	Závislost součinitele přepadu na Reynoldsově číslu profesory ze Středozápadní Technické univerzity ( $Re = Re$ ) [4].....	7
Obr. 6	Závislost Přepadového koeficientu na Weberovu číslu profesory ze Středozápadní Technické univerzity ( $W = We$ ) [1].....	7
Obr. 7	Detail koruny přelivu .....	9
Obr. 8	Schéma experimentálního zařízení .....	10
Obr. 9	Experimentální zařízení s osazenou štěrbinou 0,001 m.....	11
Obr. 10	Čerpací systém Vogel s regulačními jednotkami.....	11
Obr. 11	Vyhodnocovací jednotka indukčního průtokoměru .....	12
Obr. 12	Hrotové měřidlo .....	13
Obr. 13	Digitální posuvné měřidlo Proteco [6].....	13
Obr. 14	Vodováha [7].....	13
Obr. 15	Odměrný válec [8].....	14
Obr. 16	Přepadový paprsek, šířka štěrbin 0,050 m, přepadová výška 0,12 m .....	16
Obr. 17	Přepadový paprsek, šířka štěrbin 0,020 m, přepadová výška 0,16m. ....	18
Obr. 18	Přepadový paprsek, šířka štěrbin 0,01 m, přepadová výška 0,12 m. ....	20
Obr. 19	Přepadový paprsek, šířka štěrbin 0,005 m, přepadová výška 0,12 m. ....	22
Obr. 20	Přepadový paprsek, šířka štěrbin 0,002 m, přepadová výška 0,12 m. ....	24
Obr. 21	Přepadový paprsek, šířka štěrbin 0,001 m, přepadová výška 0,12 m. ....	26
Obr. 22	Měrné křivky .....	28
Obr. 23	Závislost součinitele přepadu na Reynoldsově čísle .....	28
Obr. 24	Závislost součinitele přepadu na Weberově čísle .....	29
Obr. 25	Závislost součinitele přepadu na poměru šířky štěrbin přelivu k přepadové výšce .....	30
Obr. 26	Závislost součinitele přepadu na šířce přelivu .....	30
Obr. 27	Data získané experimentálním výzkumem. ....	31
Obr. 28	Detailní pohled grafu v oblasti $Re < 10000$ .....	32
Obr. 29	Detailní pohled grafu v oblasti $Re > 15000$ .....	32
Obr. 30	Průběh závislosti doporučené rovnice výpočtu součinitele přepadu.....	34

## 9.4 Tabulek

Tab. 1	Rozsah měřených parametrů [1].....	8
Tab. 2	Rozsah parametrů .....	15
Tab. 3	Stálé hodnoty .....	16
Tab. 4	Závislost šířky štěrbin na výšce štěrbin.....	17
Tab. 5	Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,05 m .....	17
Tab. 6	Stálé hodnoty .....	18
Tab. 7	Závislost výšky štěrbin na výšce, reprezentativní hodnota šířky .....	18
Tab. 8	Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,02 m .....	19
Tab. 9	Stálé hodnoty .....	20
Tab. 10	Závislost výšky štěrbin na výšce, reprezentativní hodnota šířky .....	21
Tab. 11	Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,01 m .....	21
Tab. 12	Stálé hodnoty .....	22
Tab. 13	Závislost výšky štěrbin na výšce, reprezentativní hodnota šířky .....	23
Tab. 14	Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,005 m .....	23
Tab. 15	Stálé hodnoty .....	24
Tab. 16	Závislost výšky štěrbin na výšce, reprezentativní hodnota šířky .....	25
Tab. 17	Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,002 m .....	25
Tab. 18	Stálé hodnoty .....	26
Tab. 19	Závislost výšky štěrbin na výšce, reprezentativní hodnota šířky .....	27
Tab. 20	Změřená a vypočítaná data pro šířku štěrbin 0,001 m .....	27