



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

URČENÍ BEZPEČNÉ HLOUBKY PONORU VTOKU MVE VYDRA 2

SAFETY SUBMERSION DEPTH OF SMALL HYDRO-POWER PLANT VYDRA2 INLET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

STANISLAV JOBÁNEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN ŠULC, CSc.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

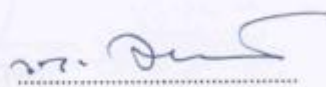
Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Stanislav Jobánek
Název	Určení bezpečné hloubky ponoru vtoku MVE Vydra 2
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2011
Datum odevzdání bakalářské práce	25. 5. 2012
V Brně dne 30. 11. 2011	


prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] MVE Vydra 2 – Dokumentace objektů. Technická zpráva. Pöyry Environment a. s., Brno, 2007
- [2] Šulc, J.: Minimální bezpečná hloubka ponoru vtoku MVE Vydra II pro provoz vodní turbíny
- [3] Šulc, J.: Studie vlivu tvarového řešení, situování a ponoru vtoku na energetickou účinnost a provozní bezpečnost přivaděče hydroenergetického díla. Zpráva, ÚVST FAST VUT v Brně, 2010
- [4] Skalička, J.: Výzkum proudění s vtokovými víry na zmenšených fyzikálních modelech. Vodní hospodářství A 33, 1983, č. 1, str. 5 – 11
- [5] Šulc, J.: Poznatky z modelového výzkumu vtokových vírů u vtoků vodních elektráren. Vodní hospodářství 1990, č. 3, str. 102 – 107
- [6] Gordon, J. L.: Vortices at Intakes. Water Power, 22, 1970, č. 4, str. 137 – 138
- [7] Gulliver, J. S.; Rindels, A. J.; Lindblom, K. C.: Designing intakes to avoid free – surface vortices. Water Power and Dam Constructions, September 1986, str. 24 – 28

Zásady pro vypracování

Z výsledků měření na modelu vyhodnotit vliv tvaru a polohy vtoku do tlakového projektovaného přivaděče MVE Vydra 2 na hladinové poměry v jeho předpolí. Současně zhodnotit možné použití sekundárních úprav pro omezení vzniku vírů vyšších intenzit. Porovnat výsledky měření po přepočtu na dílo se závěry dostupných používaných kritérií pro bezpečnou hloubku ponoru vtoku.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací


prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá zpracováním výsledků měření na fyzikálním modelu vtokové části objektu MVE Vydra 2. Je vyhodnocen vliv tvaru a polohy vtoku do tlakového přivaděče MVE Vydra 2 na hladinové poměry v jeho předpolí. Práce řeší i možnosti využití prostředků pro eliminaci vzniku hladinových vírů vyšších intenzit.

Klíčová slova

Fyzikální model, hladinový vír, vtok, proudění, malá vodní elektrárna

Abstract

The thesis deals the measurement results on a physical model of the inlet part of the small hydro-power plant Vydra 2. The influence of the shape and location of the intake into the pressure pipe of small hydro-power Vydra 2 wiht respect to the water surface state was analysed. The work also deals with possibilities of using devices to eliminate the generation of vortex of higher intensities.

Keywords

Psysical model, vortex, intake, flow, small hydro-power plant.

Bibliografická citace VŠKP

JOBÁNEK, Stanislav. *Určení bezpečné hloubky ponoru vtoku MVE Vydra 2*. Brno, 2011. 69 s Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Šulc, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2.5.2012

.....

Stanislav JOBÁNEK

Poděkování

Děkuji panu prof. Ing. Janu Šulcovi, CSc. za pomoc a cenné připomínky, se kterými mě vedl během měření na fyzikálním modelu a následně během zpracovávání mé bakalářské práce.

Děkuji kolektivu technických pracovníků Laboratoře vodohospodářského výzkumu za okamžitou a precizní práci při výměnách a zdokonalování jednotlivých částí modelu.

Děkuji panu Ing. Zdeňku Mištovi z ČEZ a. s., Vodní elektrárny, že mi vždy poskytl informace a materiály, které jsem potřeboval.

Děkuji panu Josefu Mojžíšovi, že mi věnoval svůj čas a seznámil mě s provozováním MVE Katovice a s dalšími provozovateli MVE v povodí řeky Vltavy.

Moje velké poděkování patří mým rodičům, že mi poskytli vhodné podmínky pro studium na Vysoké škole.

OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Historie využití hydroenergetického potenciálu řeky Vydry	4
2.1 Šumava a plavení dřeva	4
2.2 Vchynicko - Tetovský plavební kanál	6
2.3 Ing. Josef Rosenauer	7
2.4 Elektrárna Vydra	8
2.5 Fotografie objektů tvořících hydraulickou část systému MVE Vydra	11
3. MVE Vydra 2.....	15
3.1 Základní údaje o díle a vtokovém objektu.....	15
3.2 Výkresové podklady	17
4. Hladinové víry.....	21
4.1 Klasifikace vtokových vírů	21
4.2 Kritéria určení kritické hloubky ponoru vtoku dle různých autorů	22
5. Mechanická podobnost v hydraulice.....	24
5.1 Zákony modelové podobnosti	24
5.1.1 Geometrická podobnost.....	24
5.1.2 Kinematická podobnost.....	25
5.1.3 Dynamická podobnost.....	26
6. Zkušební hydraulický model.....	28
7. Experimentální část.....	32
7.1 Kritická hloubka ponoru vtoku	32
7.2 Fotografie konfigurací vtoku	33
7.3 Schémata jednotlivých zkoušených konfigurací.....	35
8. Vyhodnocení měření	36
8.1 Hladina na úrovni přelivné hrany – projektovaná úroveň hladiny.....	36
8.1.1 Vtok lícující s boční stěnou kanálu	36
8.1.2 Vtok zasahující do kanálu	38
8.1.3 Vtok s nasazeným 90° kolenem	41
8.2 Hledání kritické hloubky ponoru vtoku	43
8.2.1 Vtok lícující s boční stěnou kanálu	43
8.2.2 Vtok zasahující do kanálu	45
8.2.3 Vtok s nasazeným 90° kolenem	47
9. Vyhodnocení měření	49
9.1 Výpočet hloubky ponoru vtoku	50
9.2 Relativní hloubky ponoru vtoku k těžišti vztažného profilu.....	51
10. Prostředky pro eliminaci vtokových vírů.....	55
10.1 Rošt umístěný na hladině	55
10.2 Vyhodnocení zkoušek hladinových roštů (po přepočtu na dílo).....	57
10.3 Deflektor (usměrňovací deska).....	60
10.4 Mírné přelévání hladiny přes čelní přeliv	62
11. Závěr	63
12. Seznam použitých zdrojů	64
13. Seznam použitých zkratk a symbolů	66

15. Seznam obrázků	67
16. Seznam tabulek	69

1. Úvod

Získávání elektrické energie z obnovitelných zdrojů je v dnešní době velice upřednostňované. Energie dodávaná z vodních elektráren je jedna z nejčistších a nejšetrnějších k životnímu prostředí.

Skupina ČEZ se rozhodla ještě více zefektivnit výrobu elektrické energie v MVE Vydra¹. Způsobem, kdy zbytkový spád hydroenergeticky využitě vody odcházející odpadním kanálem z MVE Vydra bude využit v budoucí MVE Vydra 2². Díky stísněným prostorovým podmínkám byl návrh jak celé stavby, tak zejména vtoku do MVE Vydra 2 volen oproti obvykle používaným způsobům. Při posuzování projektu MVE Vydra 2 byla konstatována možnost nebezpečí tvorby vodních vírů v předpolí turbínového vtoku.

Pro posouzení tvorby vírů a případných opatření a konstrukcí, které tvorbě budou zabraňovat, byl sestaven hydraulický model. Popis a zhodnocení zkoušek jsou náplní této práce.

¹ V této práci je používáno pojmenování MVE Vydra – označující současnou elektrárnu uvedenou do provozu roku 1939

² MVE Vydra 2 – označující budoucí hydroenergetické dílo

2. Historie využití hydroenergetického potenciálu řeky Vydry

Historické údaje o plavení dřeva na Šumavě Vchynicko -Tetovském plavebním kanálu a jeho staviteli jsou převzaty z videa [1]. Technické informace a popis díla MVE Vydra ze zdrojů [2], [4].

2.1 Šumava a plavení dřeva

Před 300 lety byla Šumava porostlá téměř souvislou plochou nedotčených pralesů. Tvořila hraniční neprostupný val, zvaný Královský hvozd. V okolí řeky Vydry a Křemelné vznikaly první osady na počátku 18. století. V řekách Vydra a Křemelná a v potocích do nich ústících se plavilo dříví od nepaměti. Avšak to bylo možné



Obrázek 1 – Koryto řeky Vydry

jen v dobách jarního tání, kdy měly vodní toky vyšší stavy vody. V kamenitých potocích se plavilo zejména polenové dříví. Dříví se však často tříštilo o kameny, čím vznikaly jeho velké ztráty. Proto bylo nutné upravovat řečiště toku. Upravovalo se dno, odstraňovaly se velké kameny, někdy se zpevňovaly břehy. I přes tato všechna opatření bylo plavení dřeva neefektivní a lesy tedy nevýnosné. První zprávy o plavení dříví pochází z 16. století. Roku 1584, kdy císař Rudolf II. prodal městu Kašperské hory panství hradu Kašperka, je v dokumentech uvedena zmínka o plavení dříví z Královských lesů.

Koncem 18. století kdy v Praze a Středních Čechách byl velký nedostatek palivového i stavebního dříví, přišel komisař Prácheňského kraje Payerweg s návrhem na efektivnější využití vodních toků v Povydří. Spolu s ředitelem Prášílského panství

Václavem Radnickým předložili roku 1795 Českému guberniu návrh na splavnění horního toku Otavy a jejích přítoků. Projekt se však kvůli nedostatku kapitálu neuskutečnil.

Na počátku října roku 1788 se do děje zapojuje uznávaný stavitel vodních děl Ing. Josef Rosenauer, ředitel Schwarzenberské vodní plavby.

Po stavbě Schwarzenberského plavebního kanálu se Josef Rosenauer začal zabývat splavněním toků v Povydrí a následným využitím zásob dřeva, které se v oblasti nacházely. Navrhl tedy knížeti Josefu Schwarzenbergovi, aby odkoupil Prášílské panství, jejímž majitelem byl hrabě Kinský. Rozloha panství činila téměř 13 000 ha, většinou neprostupných hvozďů. Hrabě Filip Kinský neviděl v zásobách dřeva velice slibný zisk, tedy roku 1799 Prášílské panství prodal za 400 000 zlatých.

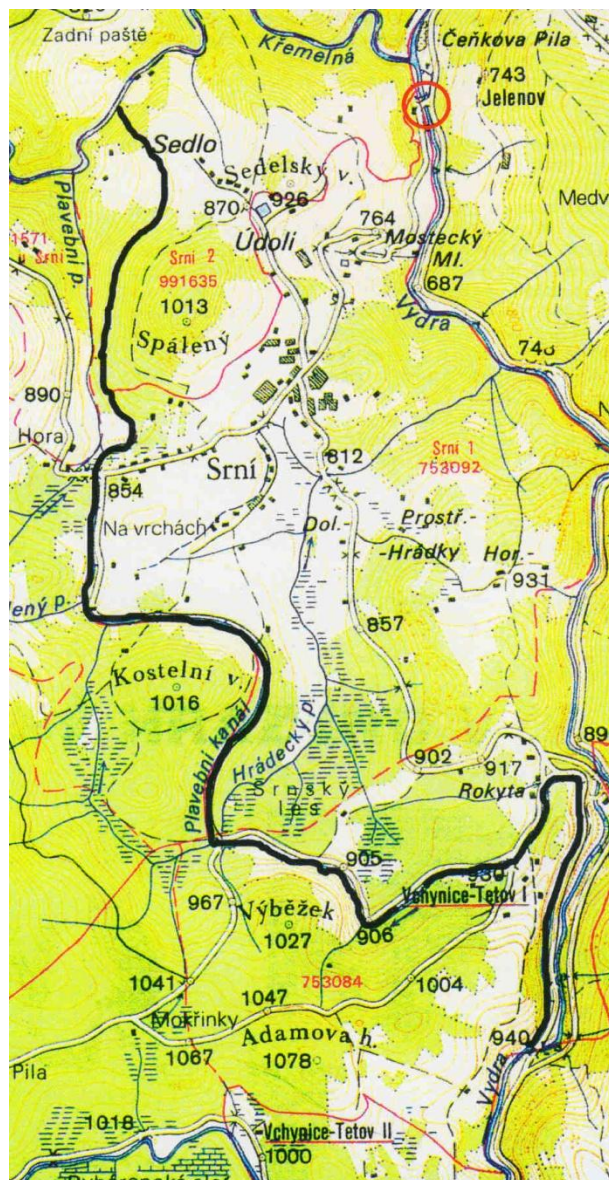
Podrobný plán o stavbě kanálu a těžbě dřeva podal Rosenauer na počátku roku 1799. Po prohlídce vodních toků, které měly být k plavení využity, dospěl k závěru, že ani po zamýšlených úpravách se nebude moci řádně a bezpečně plavit dříví, pro velké množství kamenů, peřejí, prudkých spádů. Ještě téhož roku vymyslel plán, kdy v horní části řeky Vydry bude napojen kanál, který bude ústít do řeky Křemelné. Tato stavba umožnila využít pro těžbu dřeva i oblasti, se kterými se vůbec nepočítalo. Stavbou tohoto díla se mělo zamezit ztrátám vody a mohlo se plavit i při nízké hladině vody v řece Vydře. Po předložení plánu se za tři týdny rozhodl majitel panství plán uskutečnit. Všechna potřebná povolení získal Rosenauer ve Vídni za pouhých 6 měsíců. Vybudovaný plavební kanál se stal páteří plavebního systému, umožňující dopravu mnoha tisíců metrů dřeva z lesů Prášílských, Roklanských a Kašperských do Středních Čech, zejména do Prahy. Tato stavební dílo změnilo tvářnost krajiny a životy obyvatel tohoto koutu Šumavy.

2.2 Vchynicko - Tetovský plavební kanál

Roku 1799, kdy započala výstavba tohoto díla, bylo velmi špatné počasí, dle záznamů v létě nepršelo pouhých 20 dní a sníh napadl již v polovině října. Práce tedy bylo nutné zastavit. Ve snaze dokončit dílo na sklonku příštího roku, Rosenauer požadoval do práce zapojit téměř 1500 lidí. Většinu z nich musela na práci uvolnit všechna panství knížete Schwarzenberga. A tak 1. září roku 1800 píše Rosenauer knížeti Schwarzenbergovi, že stavba bude do 6 týdnů téměř hotova a na jaře bude možno plavit dříví na pražské trhy. Po sečtení všech nákladů, včetně ceny panství, dostaneme částku 1 200 000 zlatých (přibližný přepočet na dnešní měnu je několik set miliónů korun).

Délka původního plavebního kanálu byla téměř 16 km, se třemi skluzy o celkové délce 2 km. Počátek kanálu začíná v místě zvaném Rechle (viz obr. 5). Řeka Vydra je zde přehrazena dnes již znovuobnoveným hradlovým mostem. Zde dřevo začíná svoji

cestu kanálem. Plavební kanál je veden téměř v nulovém spádu. Po délce umělého toku jsou umístěna odlehčovací stavidla. Břehy kanálu jsou lemovány kamennými zdmi, tok je v několika místech překlenut kamennými můstky. Původní skluz do řeky Křemelné byl v horní části tvořen z kamenných kvádrů a v dolní části byl tvořen dřevěným korytem, umístěným na dřevěné konstrukci. Avšak toto řešení nebylo moc šťastné, protože konstrukce byla velice namáhána vahou vody a pohybem dřeva. Tento skluz se tedy přestal využívat. Asi kilometr proti proudu kanálu byl postaven krátký v celé délce



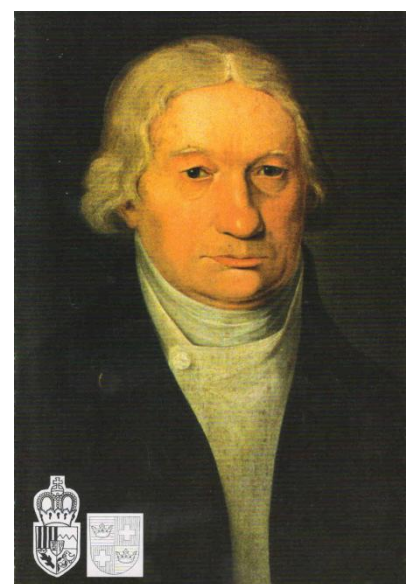
Obrázek 2 – Schéma vedení Vchynicko-Tetovského plavebního kanálu [15]

kamenný skluz. Ten ústí do Sekerského (Plavebního) potoka, kterým dřevo plulo do řeky Křemelné. Koncem 30. let byla Rosenauerova původní verze obnovena a navíc prodloužena o několik set metrů. Tento nový a zároveň poslední skluz je tvořen betonovým potrubím. Úsek je před ústím umístěn na betonových sloupcích.

Od počátku 40. let minulého století je voda z Vchynicko – Tetovského plavebního kanálu využívána pro výrobu elektrické energie v MVE Vydra.

2.3 Ing. Josef Rosenauer

Josef Rosenauer se narodil 26. 2. 1735 ve Chvalšínách na Českokrumlovsku. Narodil se svobodné matce Voršule Trakslerové a Antonínu Rosenauerovi. Antonín se k otcovství nepřiznal, ale dítěti však příjmení zůstalo. Mladý Josef se vyučil bažantníkem a díky svému talentu byl přijat ve svých 24 letech jako lesní adjunkt do Schwarzenberského lesního úřadu v Českém Krumlově. Odtud byl nadaný mladík poslán na studia do Vídně a po návratu zpět byl v roce 1771 jmenován Knížecím lesním inženýrem. Po dvaceti letech výjimečné tvůrčí práce se stal



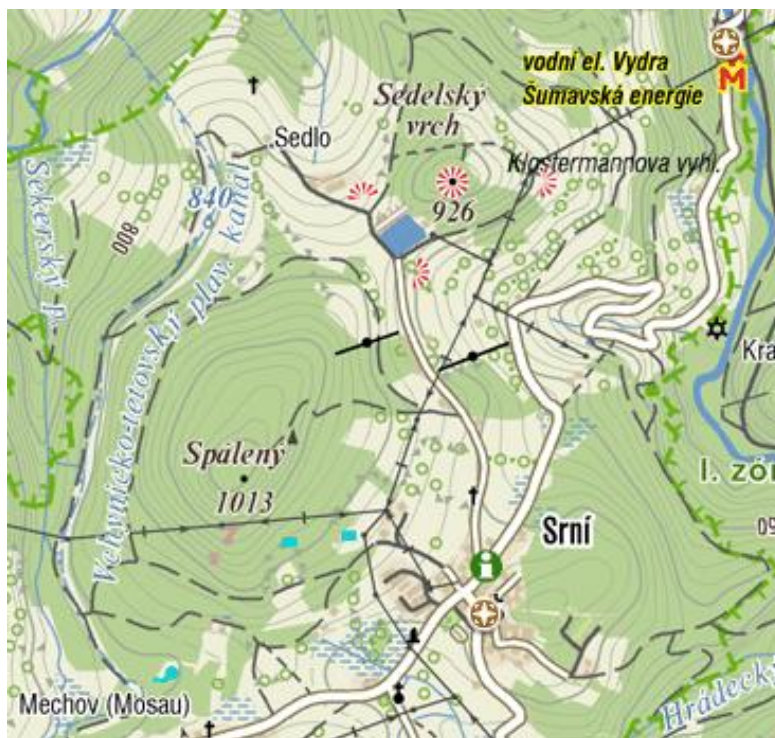
Obrázek 3 Ing. Josef Rosenauer [16]

ředitelem Schwarzenberské vodní dopravy. Nejprve pracoval na odvodnění panství Třeboň a Hluboká, uplatnil se jako projektant zámeckých zahrad, ale také silnic. Skutečný věhlas mu však získala stavba Schwarzenberského plavebního kanálu, kterým bylo dřevo plaveno do Vídně. Další jeho významnou stavbou bylo vybudování Vchynicko – Tetovského plavebního kanálu. Za dostatečné zásobování Prahy palivovým a stavebním dřívím mu byl udělen titul Čestného občana města Prahy.

Josef Rosenauer zemřel 10. 3. 1804 v Českém Krumlově.

2.4 Elektrárna Vydra

Koncem 30. let 20. století byl vypracován projekt na využití Vchynicko-Tetovského plavebního kanálu pro vodní elektrárnu Vydra. Výstavba elektrárny a některých částí systému byla započata 29. 4. 1937. Projekt byl vypracován Zemským úřadem v Praze, podle studie Ing. Karla Koseka (1882-1960). Do provozu byla uvedena roku 1939.



Elektrárna Vydra se nachází **Obrázek 4 - Situace MVE Vydra [17]**

mezi Modravou a Čeňkovou pilou. Objekt elektrárny je situován na levém břehu řeky Vydry. Voda proudící Vchynicko – Tetovským plavebním kanálem ústí přibližně na 9. km, v místě zvaném Mosau.

Mosau

Je objektem přechodu otevřeného přivaděče v zakrytý (podzemní) přivaděč, akumulační nádrže. Objekt tvoří zděná stavba s dřevěnou střešní konstrukcí (viz obr. 6). Uvnitř voda prochází přes jemné česle, odkalovací a usazovací nádrže. Pročištěná voda je jímána do 3 podzemních přivaděčů. Každý vtok je hrazen stavidlovou tabulí s elektrickým pohonem. V objektu je umístěn také odtok, který slouží pro odvod jalové vody zpět do plavebního kanálu. Část trasy podzemního přivaděče je tvořena betonovým potrubím DN 1500, část ze zděného kanálu. Původní část potrubí, provedena z modřínového dřeva, klesá ve druhé shybce téměř o 30 m a následně protéká zděným kanálem nad

obcí Srní a vytéká v akumulární nádrži pod Sedelským vrchem. Mezi vtokovým objektem Mosau a nádrží (položeno 3,3 km potrubí) klesne hladina vody za tuto vzdálenost o 15,74 m.

Akumulační nádrž

Akumulační nádrž (viz obr. 7) je vybavena vtokovým a odběrným objektem, objektem výpustí a bezpečnostním přelivem. Nádrž má obdélníkový půdorys. V části obvodu je v zářezu a z části obvodu je ohrázovaná zemní sypanou hrází s těsnícím jílovým jádrem. Návodní svahy jsou ve sklonu 1:2 a jsou opevněny převážně kamennou dlažbou. Při maximální hladině činí zatopená plocha 16 946 m². Využitelný objem nádrže činí 63 760 m³ vody. Na stavbu této nádrže bylo roku 1940 povoláno 150 francouzských válečných zajatců a 70 dělníků z Protektorátu Čechy a Morava. Stavba nádrže byla nejobtížnější částí z celého systému elektrárny.

Bezpečnostní objekt je řešen jako šachtový. Tvoří jej zděná kruhová věž s vnějším průměrem 5,5 m, minimální vnitřní průměr je 3,5 m. Přelivná hrana je délky 13,2 m a vtok do šachty je chráněn cca 1 m vysokými česlemi. Odtok ze šachty tvoří betonové potrubí DN 1000, ústící skluzem do řeky Křemelné. Přístup na bezpečnostní objekt je umožněn po ocelové lávce. Bezpečnostní objekt je sdružený s výpustným objektem. Vtok do šachty je tvořen potrubím DN 800 a hrazen tabulí, ovládanou táhlem z dřevěné paluby objektu.

Odběrný objekt se nachází ve východním rohu nádrže, úhlopříčně od bezpečnostního objektu. Je to železobetonový objekt se šikmou návodní stranou, osazenou strojově stíranými jemnými česlemi. Z tohoto objektu vychází betonové potrubí DN 1000 k šoupátkovému domku (viz obr. 8). V úseku šoupátkového domku je ocelové potrubí DN 1100, vybaveno klapkou na elektrický pohon. Odsud dále pokračuje betonové potrubí DN 1000 k vyrovnávací komoře – Vodní zámek (nádrž → Vodní zámek = 546 m položeného potrubí).

Vodní zámek

Vodní zámek je železobetonová stavba kruhového půdorysu (viz obr. 9). Vnitřní průměr komory je 6,5 m, vnější 15,9 m. Objekt zahrnuje i armaturní domek, vybavený šoupětem a rychlouzávěrnou klapkou. Zámek je vybaven tabulovým rychlouzávěrem se signalizací a dálkovým ovládáním. Při poruše v elektrárně dojde k jeho uzavření a tím k vyrovnání hladiny vody v zámku, s hladinou vody v akumulární nádrži. Vzdálenost mezi vyrovnávací komorou a elektrárnou je 904 m, výškový rozdíl 240 m. Z vodního zámku proudí voda v ocelovém tlakovém potrubí DN 1000 a je jištěno betonovými bloky. Před elektrárnou se přívodní potrubí větví do dvou potrubí DN 700, z nichž každé je vedeno na svoji Francisovu turbínu.

Popis strojovny MVE Vydra

Uzávěry před turbínami jsou kulové DN 550. Ve strojovně elektrárny jsou dvě shodná soustrojí s horizontální osou (viz obr. 11), skládají se z generátoru, setrvačníku a turbíny. Obě horizontální Francisovy turbíny byly vyrobeny v ČKD Blansko. Každá o hltnosti necelých 2 m³/s, dodávají při 1000 otáčkách za minutu, celkový výkon 6,4 MW. Synchronní generátory, jeden dodaný z ČKD Praha, druhý ze Škodových závodů v Plzni vyrábějí každý elektrickou energii o výkonu 3,2 MW, jejich společný využitelný výkon je však pouze 5,4 MW.

Z počátku, kdy nebyla vystavěna akumulární nádrž, byla elektrárna provozována jako průtočná. Od vystavění nádrže je elektrárna vedena jako akumulární, kdy dodává elektrickou energii během denních energetických špiček. V plném provozu je elektrárna od 4. 1. 1942. Dle informací Skupiny ČEZ, a. s. [11] představuje MVE Vydra 3. nejvyšší instalovaný výkon, v rámci jimi provozovaných malých vodních elektráren.

V letech 1989 až 1994 proběhla celková rekonstrukce elektrárny, včetně řídicího systému elektrárny.

2.5 Fotografie objektů tvořících hydraulickou část systému MVE Vydra



Obrázek 5 - Hradlový most Rechle - začátek Vchynicko-Tetovského plavebního kanálu



Obrázek 6 - Mosau, začátek přivaděče MVE Vydra [3]



Obrázek 7 - Akumulační nádrž MVE Vydra, se šachtovým bezpečnostním přelivem



Obrázek 8 - „Šoupátkový domek“ pod akumulací nádrží



Obrázek 9 - Vyrovnávací komora „Vodní zámek" MVE Vydra, vpravo armaturní „domek“



Obrázek 10 - Budova MVE Vydra, protiproudňí pohled



Obrázek 11 - Strojovna MVE Vydra



Obrázek 12 - Oběžné kolo Francisovy turbíny

3. MVE Vydra 2

3.1 Základní údaje o díle a vtokovém objektu

Bude zde instalována Kaplanova turbína typu KRT s kuželovým převodem. Průměr OK 900 mm, $Q_T = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_N = 2,45 \text{ m}$. Předpokládaný rozsah spádů $H = (2,2 \div 2,7 \text{ m})$. Osa krátkého přivaděče i OK má kótu 639,15 m n. m. (v celém následujícím textu bude uváděn výškový systém Balt p. v.), úroveň provozní hladiny v kanálu stávajícího výtoku turbín MVE Vydra činí 640 m n. m. Za konfuzorem je instalována klapka DN 1200 osově montážní délky 0,63 m. Vstupní profil vtokového objektu do krátkého přivaděče MVE Vydra 2 je řešen jako „lícující“ s boční svislou stěnou (viz obr. 15). Osa vtoku turbíny je odkloněna od roviny svislé boční stěny o 43° . Vtok má horizontální osu.

Vtokový díl krátkého přivaděče osově délky 2,6 m má velmi mírný konfuzorový charakter $D_{\text{vstupní}} = 1,34 \text{ m}$, $D_{\text{výstupní}} = 1,2 \text{ m}$. Za konfuzorem je instalována klapka DN 1200 osově montážní délky 0,63 m.

Vtok do turbíny má vzhledem k svislé boční stěně půdorysně šikmou osu, eliptický vstupní profil „lícující“ s rovinou stěny, bude vybaven provizorním hrazením umístěným v kotveném rámu.

Vtokové potrubí je zaústěno do poproudě levé svislé boční stěny odpadního kanálu (viz obr. 15) šířky 5,6 m a délky 14,5 m (obdélníkový půdorys). Na konci kanálu s prizmatickým průtočným profilem je umístěn pevný přeliv vybavený na koruně hradicí klapkou. Koruna pevného přelivu je na kótě 639,86 m n. m. Výše uvedená hladinová úroveň ve výtokovém kanálu savek dvou turbín typu Francis MVE Vydra je zajištělná manipulovatelnou úrovní klapky na kótě 640,60 m n. m.

Při úrovni dna výtokového kanálu na kótě 636,75 m n. m. činí osově převýšení vtoku 2,4 m. Projektovaná hloubka ponoru osy vtoku pod úrovní provozní hladiny činí 1,45 m.

Poproudě pravá okrajová proudnice, pokud voda nepřepadá přes přeliv (což je v provozních podmínkách očekáváno a rovněž i hladinovou regulací ve vazbě na

regulační systém zaručeno), natéká do profilu vtoku protiproudě směřem od přelivné konstrukce. V předpolí vtoku dojde ke změně směru této proudnice o cca až 135° . Z důvodu setrvačnosti proudu a lokálních tlakových rozdílů dojde v prostoru s intenzivním ohybem proudu k jeho odtržení od obtékaného povrchu a vzniku úplavové zóny s oblastí zpětného proudění. Právě v tomto „válci“ lze očekávat vznik hladinových vírů vyšších intenzit s vertikální osou, které mohou být zdrojem přísávání vzduchu do přivaděče.

Pro posouzení nebezpečí tvorby vírů v předpolí vtoků je vztažný profil zvolen souhlasně s profilem, který je situován na počátku prizmatického úseku ($D = 1,2 \text{ m}$).

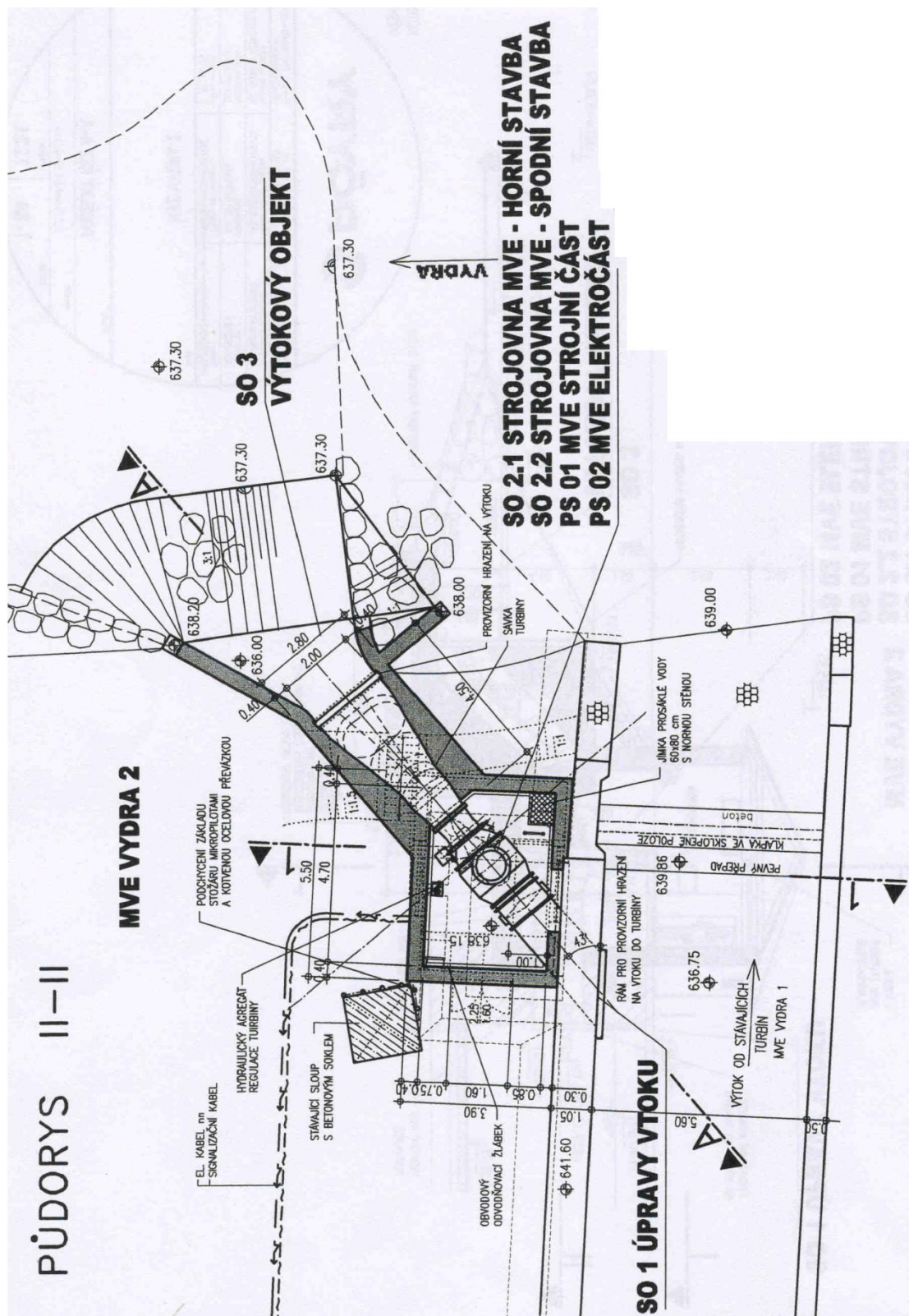
3.2 Výkresové podklady



Obrázek 13 - Situace MVE Vydra 2 [17]

[illegible]

18



Obrázek 15 - Půdorys MVE Vydra 2 [5]

Stav v září 2011



Obrázek 16 - Budoucí lokalita MVE Vydra 2, již zabudovaný vtok, hladinová klapka (poproudí pohled)



Obrázek 17 - Savka Francisovy turbíny MVE Vydra

4. Hladinové víry

Studiem hladinových vírů se zabýval Šulc v publikaci [6]. Charakteristiky uvedené v této kapitole byly čerpány z této publikace.

Vodní vír vznikne, jestliže je proudění vody, díky zakřivení proudových vláken, uvedeno do otáčivého pohybu. Hladinový vír může mít rozličné formy, ve vodním stavitelství a hydroenergetice zasluhuje největší pozornost úplný nálevkovitý vír se vzduchovým jádrem, vznikající u vtoků do přivaděčů. Výskyt tohoto stádia víru může vyvolat komplikace při provozování zejména hydroenergetických děl.

Tyto komplikace se nejčastěji projevují ve zvýšení náchylnosti některých částí hydraulických okruhů a staveb k vibracím a kavitační korozi => snížení životnosti díla. Během provozování hydroenergetických staveb může dojít k případu, kdy výskyt mohutného hladinového víru může mít za následek snížení průtočné kapacity přivaděče, snížení účinnosti vodních turbín. V tlakových přivaděčích dochází ke stlačování vírem strhávaného vzduchu a tím vznikají rázy, rychlostní a tlakové pulsace.

Důvody vnikání vzduchu do přivaděčů vodních děl můžeme rozdělit na 3 skupiny:

- nejčastější důvod – strhávání vzduchu úplnými nálevkovitými víry,
- provzdušnění, zejména nadkritického, proudu před vtoky a tím vnik vzduchu do přivaděčů (např. změna sklonu dna před zahloubeným vtokem),
- ostatní důvody – přisávání vzduchu zavzdušňovacím potrubím, pokles hladiny vody v přivaděčích a vtocích.

4.1 Klasifikace vtokových vírů

Klasifikaci vtokových vírů podle intenzity provedl Skalička [7], v této zprávě se bude užívat jeho klasifikace.

Pozorování vývojových stádií víru je náročná činnost. Označení konkrétního vírového jevu může být zatíženo subjektivním činitelem, tedy je vhodné provádět sledování dějů a jejich vzájemné porovnávání jednou osobou.

Vtokový vír se neobjeví okamžitě. Vyvíjí se zpočátku jemnými vibracemi hladiny, následně dojde k vytvoření důlku na hladině, jeho prohlubováním nakonec vznikne vyvinutý vír, který zasahuje až do vtoku. Některá vývojová stadia víru jsou pozorovatelná velmi obtížně. Prakticky lze bezpečně určit počáteční a konečné stádium, které je charakteristické vnikáním vzduchu do přivaděče vodního díla. Tento stav je mnohdy doprovázen velmi silným zvukovým vjemem.

Výzkumem tvorby vodních vírů se zabývala řada autorů např. Gordon [8], Gulliver [9], Skalička [7], Šulc [6;10].

4.2 Kritéria určení kritické hloubky ponoru vtoku dle různých autorů

V publikaci [13] jsou charakterizovány jednotlivé způsoby výpočtů dle uvedených autorů takto:

Gordon – určení bezpečné hloubky ponoru vtoku (viz rovnice 1) je závislé na rychlosti proudění, průměru potrubí a součiniteli a , který zahrnuje podmínky přítoku ke vtoku (zda se jedná o symetrický nebo nesymetrický přítok). Určení bezpečné hloubky ponoru vtoku podle Gordona není zatíženo modelovou chybou – autor jej popsal na základě pozorování 29 již provozovaných vodních elektráren.

Gulliver – na základě pozorování provozovaných 66 vodních děl a fyzikálních modelů vtoku stanovil bezrozměrný vztah (viz rovnice 2), kde poměr hloubky ponoru h a průměru potrubí D je závislý na Froudovu kritériu. Při $Fr > 0,5$ neexistuje při jakkoliv velkém ponoru vtoku jistota, že nevzniknou vtokové víry.

Šulc – díky rozsáhlému výzkumu tvorby hladinových vírů před vtokem tlakových přivaděčů, stanovil závislost (viz rovnice 3), kdy poměr kritické hloubky ponoru vtoku a průměru potrubí D jsou závislé na druhé mocnině Froudova kritéria (viz rovnice 4).

Kritéria pro stanovení hloubek :

$$\text{Gordon: } h_b = a \cdot v \cdot D^{0.5} \quad (1)$$

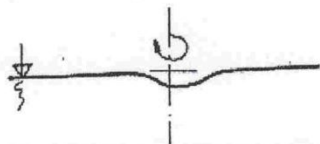
$$\text{Gulliver: } h/D = 0.5 + (0.4 \cdot Fr) \quad (2)$$

$$\text{Šulc: } H_T/D = 1.95 + (0.55 \cdot Fr^2) \quad (3)$$

Froudovo kritérium :

$$Fr = v/(g \cdot D)^{0.5} \quad (4)$$

1. Hladinový vír



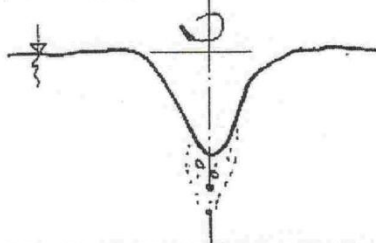
Projevuje se krouživým pohybem kapaliny zvláště u hladiny a jejím částečným zvlňením. V ose víru se někdy u hladiny objeví malé vzduchové bubliny.

2. Vírový důlek



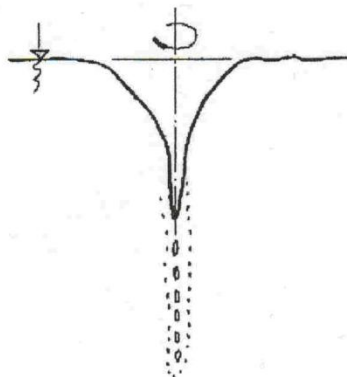
Při krouživém pohybu vody se na hladině občas vytváří malý kuželový vírový důlek. Strhávání vzduchových bublin z hladiny do hloubky je nepatrné a bubliny se vracejí zpět k hladině.

3. Neúplný nálevkovitý vír



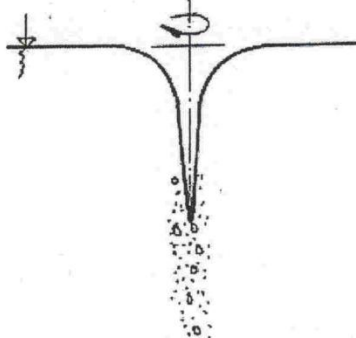
Vytváří se nálevka se vzduchovým jádrem. Vzduch je strháván ve formě bublinek, které se směrem do hloubky zmenšují. Bublínky vzduchu se vracejí zpět k hladině.

4. Soustředěný vláknový vír



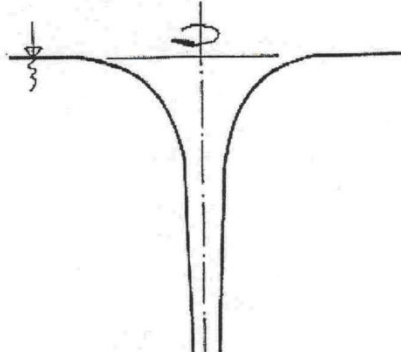
Vytvoří se úzká hlubší nálevka se vzduchovým jádrem. Vzduchové bubliny pod ní vytváří tenký vláknový řetězec. Převážná část bublin je strhávána do vtoku, jen malá jejich část se vrací ve formě mlhy k hladině.

5. Rozptýlený vláknový vír



Nálevka se vzduchovým jádrem je stejná jako při soustředěném vláknovém víru. Vzduchové bubliny se dostávají do větší hloubky, zde tvoří jemnou rozptýlenou mlhu, jejíž velká část je strhávána do vtoku.

6. Úplný vír



Vytváří se hluboká nálevka se souvislým vzduchovým jádrem, kterým je vzduch intenzivně strháván do vtoku.

Obrázek 17 - Klasifikace vtokových vírů podle intenzity, dle Skaličky [7]

5. Mechanická podobnost v hydraulice

Vzhledem ke komplikaci sledovaného jevu a nižší spolehlivosti numerického modelování, kdy se jedná o dvoufázové proudění mnohdy s odtržením tranzitního proudu s rozsáhlými vírovými strukturami, bylo využito hydraulického modelu.

5.1 Zákony modelové podobnosti

V této kapitole budou uvedeny základní vztahy užívané při modelování hydraulických jevů. Podrobné komentáře a odvození výpočetních vztahů a zákonů jsou uvedeny v publikaci [12].

Abychom mohli z pozorování a měření na modelu usuzovat na hydraulické jevy, které vzniknou na skutečné stavbě, musí být proudění na modelu a ve skutečnosti navzájem podobné.

Dva jevy jsou si mechanicky podobné, jsou-li splněny podmínky:

- geometrické podobnosti,
- kinematické podobnosti,
- dynamické podobnosti.

Hydraulické veličiny na zmenšeném modelu označíme indexem 1, na skutečném objektu indexem 2.

5.1.1 Geometrická podobnost

Geometrická podobnost vyžaduje, aby pro libovolné dva sobě odpovídající rozměry byl zachován stálý poměr, který nazýváme délkové měřítko M_L :

$$M_L = \frac{L_2}{L_1}; L_2 = M_L L_1 \quad (5)$$

Pro měřítka ploch platí:

$$M_S = \frac{S_2}{S_1}; M_S = M_L^2 \quad (6)$$

a pro měřítka objemů platí:

$$M_V = \frac{V_2}{V_1}; M_V = M_L^3 \quad (7)$$

5.1.2 *Kinematická podobnost*

Dráhy, které opisují sobě odpovídající částice proudu v úměrně odpovídajících si dobách, jsou navzájem podobné. K měřítku délek přistupuje měřítko času:

$$M_t = \frac{t_2}{t_1}; t_2 = M_t t_1 \quad (8)$$

Odvozená měřítka jsou:

-rychlostní měřítko:

$$M_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{L_2/t_2}{L_1/t_1} = \frac{L_2/L_1}{t_2/t_1} = \frac{M_L}{M_t}; v_2 = M_v v_1 \quad (9)$$

-měřítko zrychlení:

$$M_a = \frac{a_2}{a_1} = \frac{L_2/t_2^2}{L_1/t_1^2} = \frac{L_2/L_1}{t_2^2/t_1^2} = \frac{M_L}{M_t^2} \quad (10)$$

-měřítko průtoků:

$$M_Q = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{V_2/t_2}{V_1/t_1} = \frac{V_2/V_1}{t_2/t_1} = \frac{M_L^3}{M_t} \quad (11)$$

5.1.3 Dynamická podobnost

Dynamická podobnost vyžaduje, aby poměr sil na objektu a jeho modelu byl stálý a určen měřítkem sil:

$$M_F = \frac{F_2}{F_1}; F_2 = M_F F_1. \quad (12)$$

Pro hmotnost proudící kapaliny definujeme měřítko hmotnosti:

$$M_m = \frac{m_2}{m_1}; m_2 = M_m m_1. \quad (13)$$

Dále se zavádí měřítko měrných hmotností:

$$M_\rho = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (14)$$

Po aplikaci uvedených poměrů v silové rovnici $F = m a$ (15), (pozn. a = zrychlení), obdržíme bezrozměrné Newtonovo kritérium, zároveň vyjadřuje obecný zákon podobnosti:

$$\frac{F}{\rho v^2 L^2} = \text{idem} . \quad (16)$$

Mají-li být dvě proudění mechanicky podobná, musí mít poměr (16) pro obě stejnou hodnotu.

Víme, že při proudění kapalin se uplatňují hlavně síly tíže, tření a povrchového napětí. Z obecného Newtonova kritéria lze odvodit další zákony za zjednodušujícího předpokladu, že působí jen jeden druh sil (nebo nad ostatními dominuje).

Při převažujícím účinku síly tíže vyplývá:

$$\frac{gL}{v^2} = \text{idem} , \text{ což musí platit i pro převrácenou hodnotu}$$
$$\frac{v^2}{gL} = Fr = \text{idem} . \quad (17)$$

Rovnice (17) vyjadřuje Froudovo kritérium podobnosti. Převažují-li síly tíže, je podmínkou podobnosti na modelu a ve skutečnosti, aby hodnota Froudova kritéria pro model i pro skutečnost byla shodná. Froudovo kritérium podobnosti se aplikuje vždy při

modelování proudění s volnou hladinou (vodní stavby jako jsou přelivy a jezy, při proudění v řekách, ale i při proudění vodními turbínami a čerpadly, účinky vln apod.).

Při převažujícím účinku sil tření platí:

$$\frac{vL}{\nu} = Re = \text{idem} . \quad (18)$$

Rovnice (18) vyjadřuje Reynoldsovo kritérium podobnosti. Převažují-li síly tření, je podmínkou podobnosti na modelu a ve skutečnosti, aby hodnota Reynoldsova kritéria pro model i pro skutečnost byla shodná. Reynoldsovo kritérium podobnosti se zohledňuje vždy při modelování jevů neovlivněných existencí volné hladiny: tlakové proudění v potrubí, obtékání ponořených těles či částí staveb apod.

Při převažujícím účinku sil povrchového napětí platí:

$$\frac{\rho v^2 L}{\sigma} = We = \text{idem} . \quad (19)$$

Bezrozměrné Weberovo kritérium se aplikuje při převaze sil povrchového napětí, je podmínkou podobnosti na modelu a ve skutečnosti, aby hodnota Weberova kritéria pro model i skutečnost byla shodná.

Mezi další kritéria patří:

- Cauchyho kritérium – pro objemovou stlačitelnost,
- Strouhalovo kritérium – pro podobnost dvou neustálených jevů,
- Karmánovo kritérium – pro podobnost dvou turbulentních jevů.

6. Zkušební hydraulický model

Při našem modelovém výzkumu se řídíme Froudovým kritériem mechanické podobnosti (17). Díky požadavkům modelové podobnosti hladinových vírových jevů k možnosti spolehlivého přepočtu výsledků na dílo, které jsou popsány v [18], vychází dolní hranice průměru vtokového potrubí se zvoleným vztažným profilem $D = (80 \div 100)$ mm. Dle dostupného potrubí a tvarovek na trhu byl zvolen vnitřní průměr $D = 103$ mm. Z poměrů průměrů 1200/103 vychází měřítko délkové podobnosti $M_L = 11,65$.

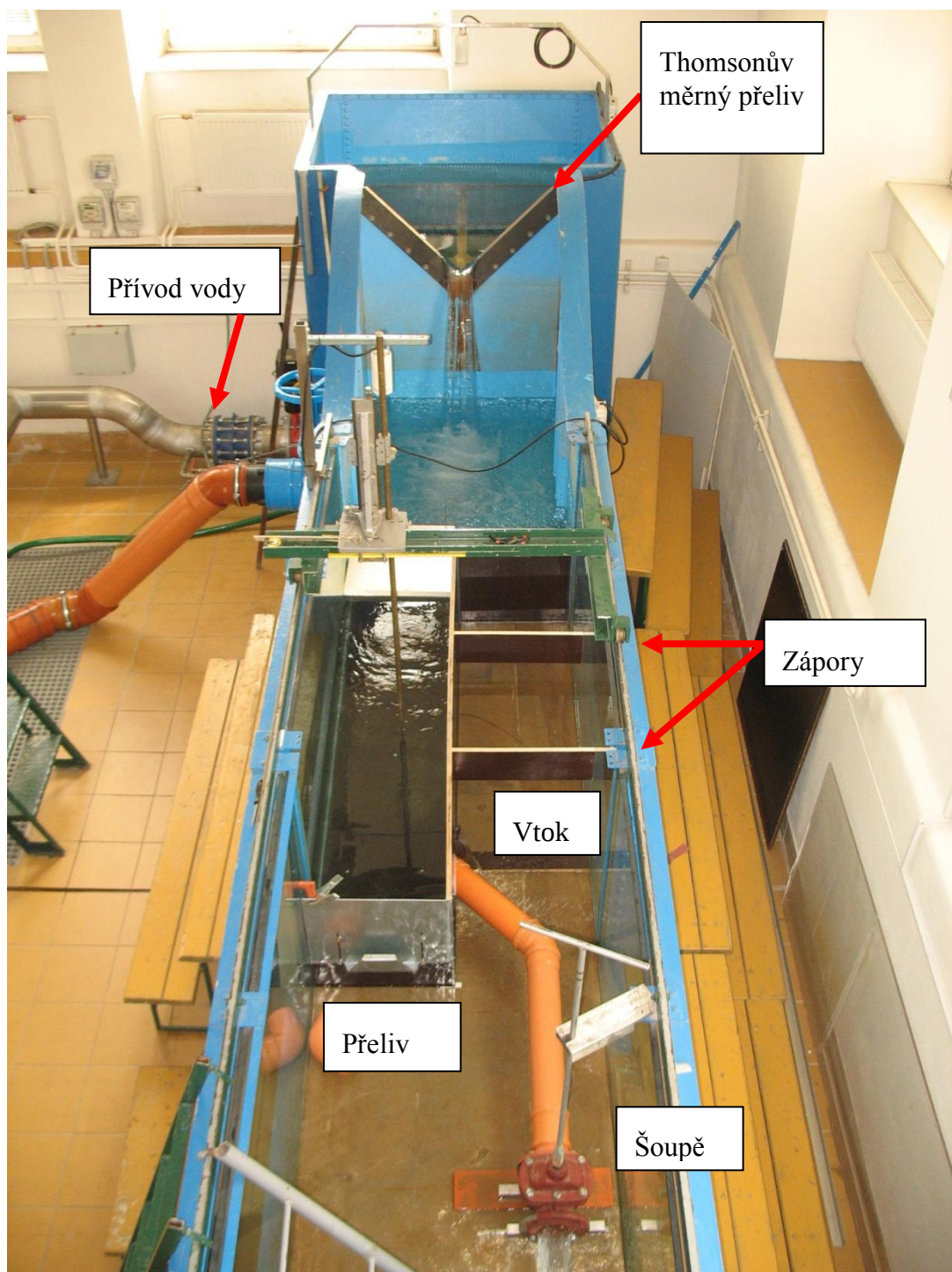
Model zájmové části objektu v měřítku 1:11,65 byl zhotoven a umístěn v prostorách Laboratoře vodohospodářského výzkumu FAST VUT v Brně, ve zkušebním žlabu. $Q_{\text{MODEL}} = 6,9 \text{ l/s} \Rightarrow Q_{\text{DÍLO}} = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Zkušební žlab je 4 m dlouhý, 1 m vysoký a široký. Boční stěny jsou tvořeny skleněnými tabulemi, které jsou zasazeny v železných rámech. Na začátku je umístěn měrný Thomsonův měrný přeliv, opatřený ultrazvukovým měřidlem (dále jen UZV), které udává výšku přepadového paprsku, z níž se stanovuje aktuální průtok. Na konci žlabu je umístěn odtok i s bezpečnostním kašnovým přelivem. Horní hrana žlabu byla opatřena pojízdným hrotovým měřidlem a UZV měřidlem pro měření výšky hladiny. Voda je čerpána do žlabu z podzemních nádrží pomocí ponorných čerpadel, ovládaných z řídicí jednotky.

Model byl tvořen vodovzdornou překližkou tl. 18 mm, vtok byl představován plastovou trubicí Js 103 (přodorysně odkloněnou o 43° od směru proudění), plastovým kolenem, odvodním potrubím na konci s osazeným šoupětem DN 100. Kapacita odběru na turbínu činila po přepočtu na dílo v závislosti na úrovni hladiny v kanálu a otevření šoupěte $Q = (2,3 \div 6,0) \text{ m}^3/\text{s}$.

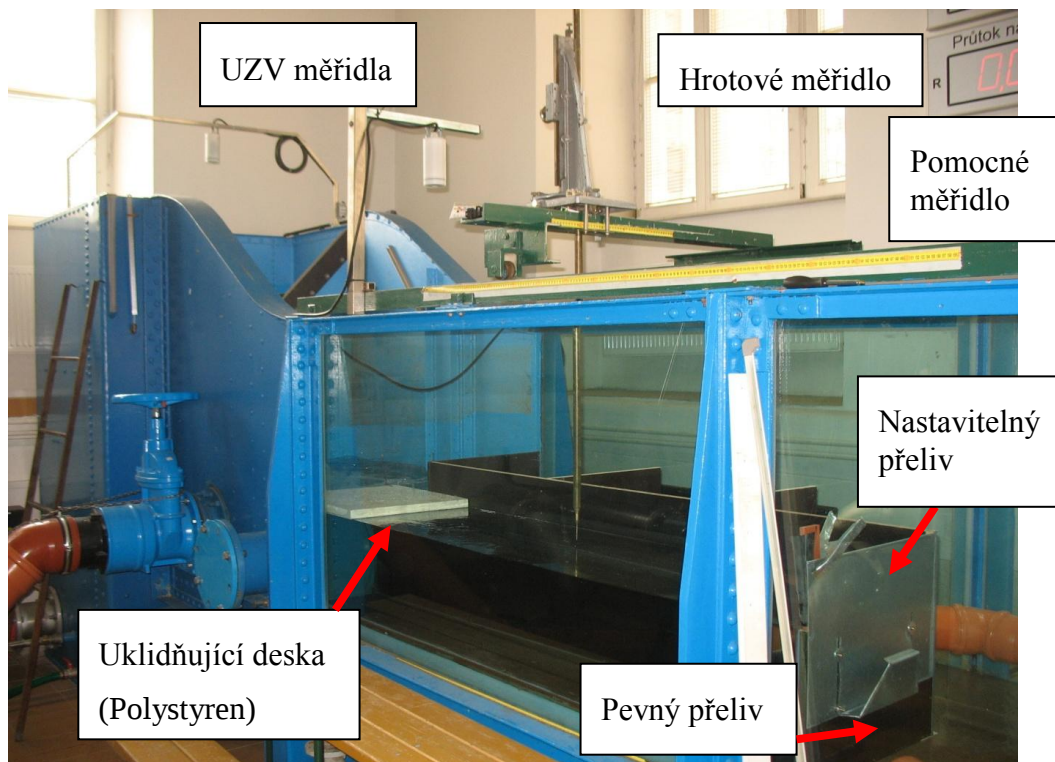
V délkovém měřítku byl zhotoven s odpovídajícími vnitřními rozměry protékaných prostorů model odpadního kanálu MVE Vydra se zaústěným potrubím se třemi dále uvedenými konfiguracemi vtokových částí. Přeliv se stavitelnou úrovní hradítka na konci modelu kanálu umožnil dosáhnout úrovní hladin v rozsahu odpovídajících na díle 640,60 m n. m. (minimální hladina) až 642,18 m n. m. (úroveň maximální hladiny), dle dokumentace [5].

Pravý poproudň břeh tvořila skleněná stěna, což bylo velice výhodné při pozorování hladinových vířů. Čelo modelu představoval pevný přeliv, s plechovým vertikálně posuvným ostrohranným přelivem pro zvyšování úrovně hladiny nad úroveň současného (pevného) přeliv. Protože zkušební model nezasahoval přes celou šířku žlabu, bylo nutné zapřít stěny modelu proti vyvrácení (způsobeným tlakem vody).

Přestože na díle je dle dokumentace [5] uvažováno s konfuzorovým přechodem 1340/1200 na délce 2,6 m, použili jsme na modelu potrubí konstantního průměru po přepočtu na dílo 1,2 m. Toto zjednodušení je ve prospěch bezpečnosti tvorby vírových struktur po přepočtu na situaci na díle.



Obrázek 18 - Zkušební model, pohled shora



Obrázek 19 - Zkušební model, pohled z pravé strany



Obrázek 20 – Digitální ukazatelé průtoků

7. Experimentální část

7.1 Kritická hloubka ponoru vtoku

Kritická hloubka ponoru vtoku H_T je uvažována jako svislá odlehlost hladiny od těžiště vztažného průřezu, některými autory bývá označována hloubka ponoru h nebo bezpečná hloubka ponoru vtoku h_b jako odlehlost hladiny od horní (stropní) hrany vztažného průřezu [13].

Zkoušky se prováděly pro různé konfigurace vtoku:

- vtok zasahující do kanálu,
- vtok s nasazeným 90° kolenem,
- vtok lícující s boční stěnou kanálu.

Výskyt vírů při udržování hladiny na úrovni pevného přelivu

Zkouška se prováděla při konstantní úrovni hladiny pro 5 různých průtoků ($Q = 5,0; 6,0; 6,9; 8,0; 9,0$ l/s). Poloha hladiny se ovládala pomocí šoupěte, tak aby úroveň hladiny byla konstantní ($Q_{\text{přítok}} = Q_{\text{odtok}}$). Při výskytu víru bylo zaznamenáno jeho stádium, zaznamenání polohy do schématu a v některých případech byl vír i vyfotografován.

Hledání hloubky ponoru vtoku, při které dojde k výskytu víru

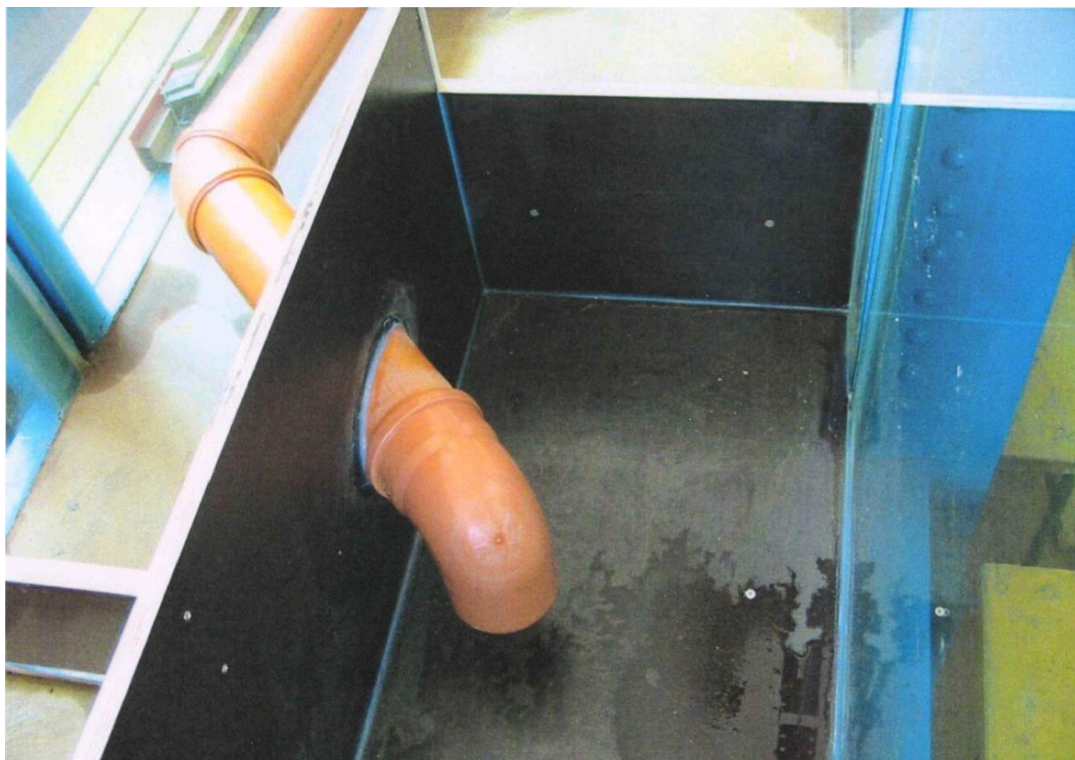
Zkouška se prováděla minimálně pro pět různých průtoků ($Q = 5,0; 6,0; 6,9; 8,0; 9,0$ l/s).

Při této zkoušce se plechový pohyblivý přeliv vysunul do stejné úrovně odpovídající úrovni boční stěny odtokového kanálu MVE Vydra. Manipulací šoupětem se zaplavil celý kanál až po okraj (aniž by přetékal). Po ustálení hladiny bylo v intervalu (přibližně 2 min.) otvíráno šoupě při sledování hladiny, zda nevznikne vír. Takto realizované změny poměrů v zájmové oblasti, při jejich mírné neustálenosti, umožní označit mezní stádia hladinového víru ve prospěch bezpečnosti při jejich aplikaci na díle. Při jeho vzniku byla pomocí hrotového měřidla změřena úroveň hladiny. Změřená hodnota byla zaznamenána, rovněž se stádiem a polohou víru.

7.2 Fotografie konfigurací vtoku



Obrázek 21 - Vtok zasahující do kanálu



Obrázek 22 - Vtok s nasazeným 90° kolenem

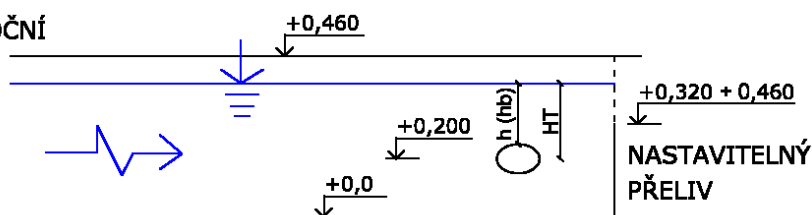


Obrázek 23 - Vtok líčující s boční stěnou kanálu

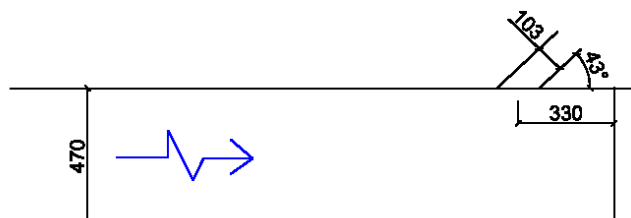
7.3 Schémata jednotlivých zkoušených konfigurací

VTOK LÍCUJÍCÍ S BOČNÍ
STĚNOU KANÁLU

POHLED

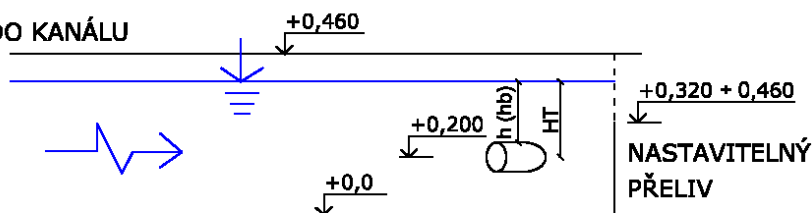


PŮDORYS

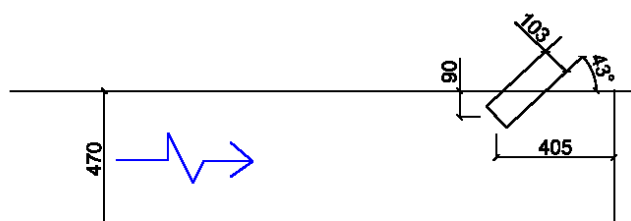


VTOK ZASAHOJÍCÍ DO KANÁLU

POHLED

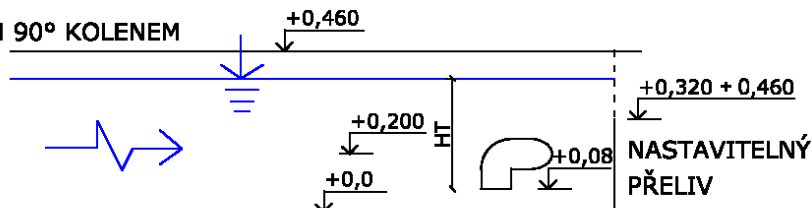


PŮDORYS

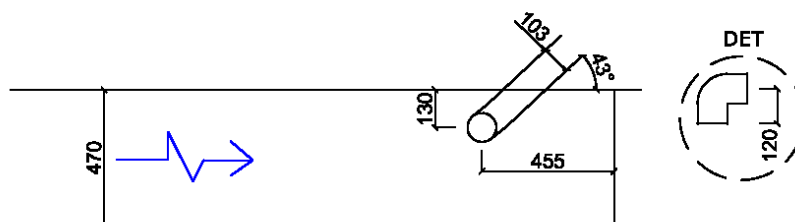


VTOK S NAsAZENÝM 90° KOLENEM

POHLED



PŮDORYS



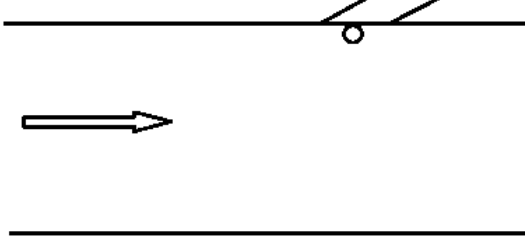
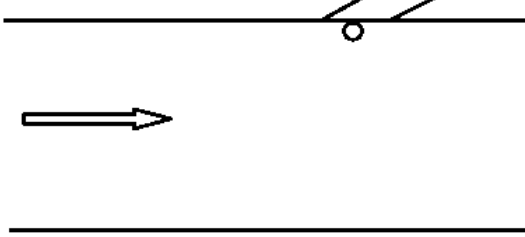
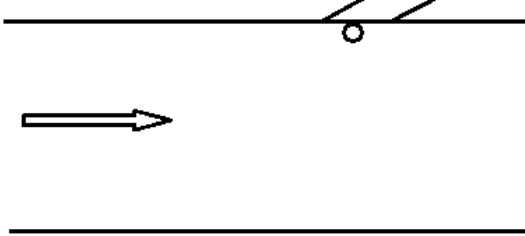
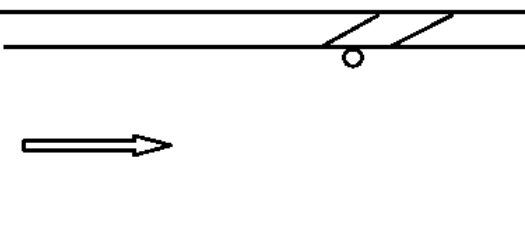
POZN. VÝŠKOVÉ KÓTY (m), DÉLKOVÉ KÓTY (mm)

Obrázek 24 - Schémata jednotlivých zkoušených konfigurací

8. Vyhodnocení měření

8.1 Hladina na úrovni přelivné hrany – projektovaná úroveň hladiny

8.1.1 Vtok lícující s boční stěnou kanálu

Q (l/s)	Schéma polohy víru na hladině	Klasifikace vtokových vírů dle Skaličky
5,0		vír nevznikl
6,0		Vírový důlek
6,9		Neúplný nálevkovitý až Soustředný vláknový (minimální)
8,0		Neúplný nálevkovitý až Soustředný vláknový (minimální)
9,0		Neúplný nálevkovitý až Soustředný vláknový (minimální)

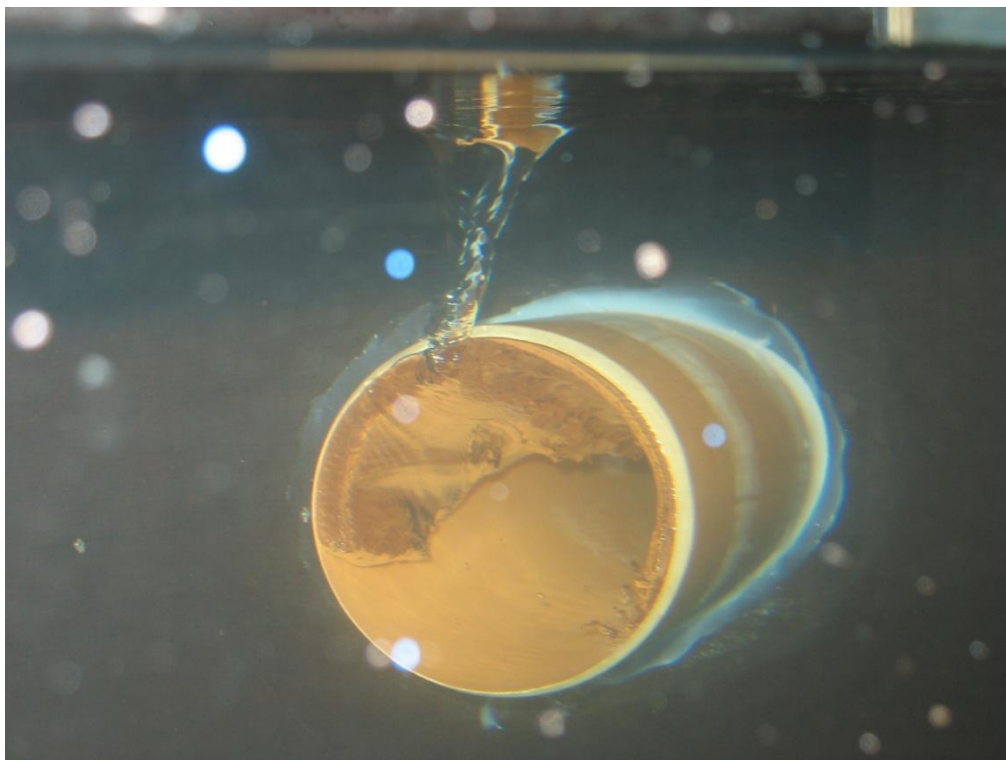
Při použití této konfigurace jsme během pozorování nezaznamenali rozvinutí víru až do jeho úplného stádia. Od hodnoty $Q = 6,9 \text{ l/s}$ jsme mohli pozorovat strhávání malých vzduchových bublinek do vtoku. Při hodnotě $Q = 8 \text{ l/s}$ jsme zaznamenali, v pravém horním kvadrantu vtoku, vznik malého úplavu. Víry se vyskytovaly v těsné blízkosti stěny, ve které byl umístěn vtok.

8.1.2 Vtok zasahující do kanálu

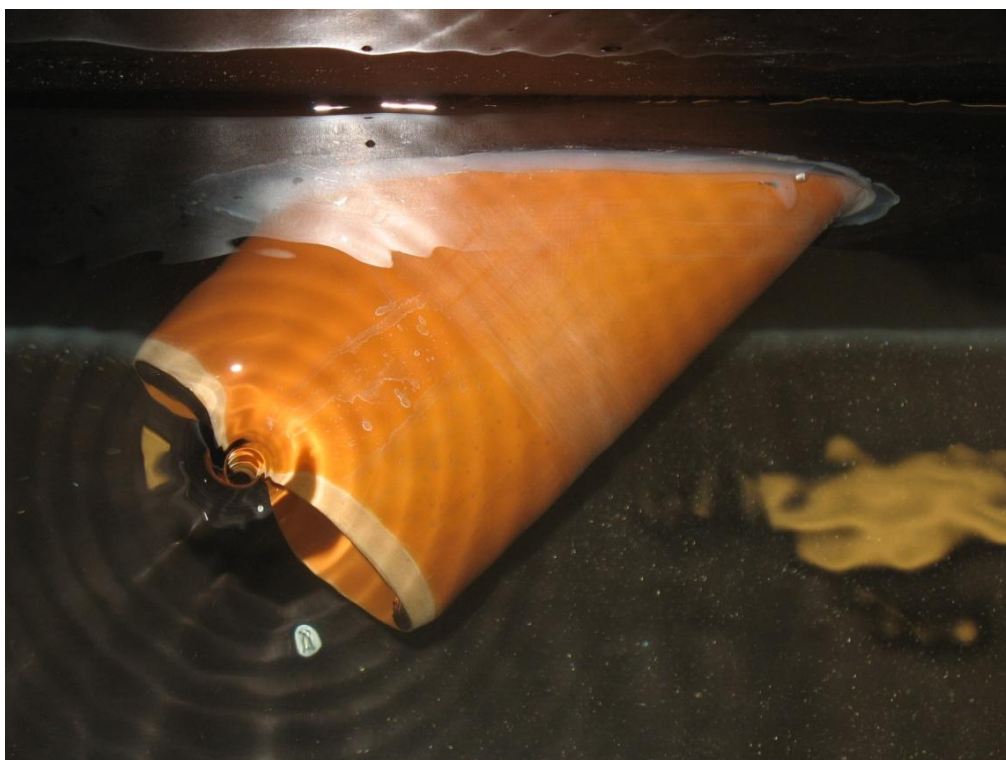
Hladina na úrovni přelivné hrany – projektovaná úroveň hladiny

Q (l/s)	Schéma polohy víru na hladině	Klasifikace vtokových vírů dle Skaličky
5,0		Úplný
6,0		Úplný
6,9		Úplný (viz obr. 25, 26)
8,0		Úplný
9,0		Úplný (viz obr 27, 28)

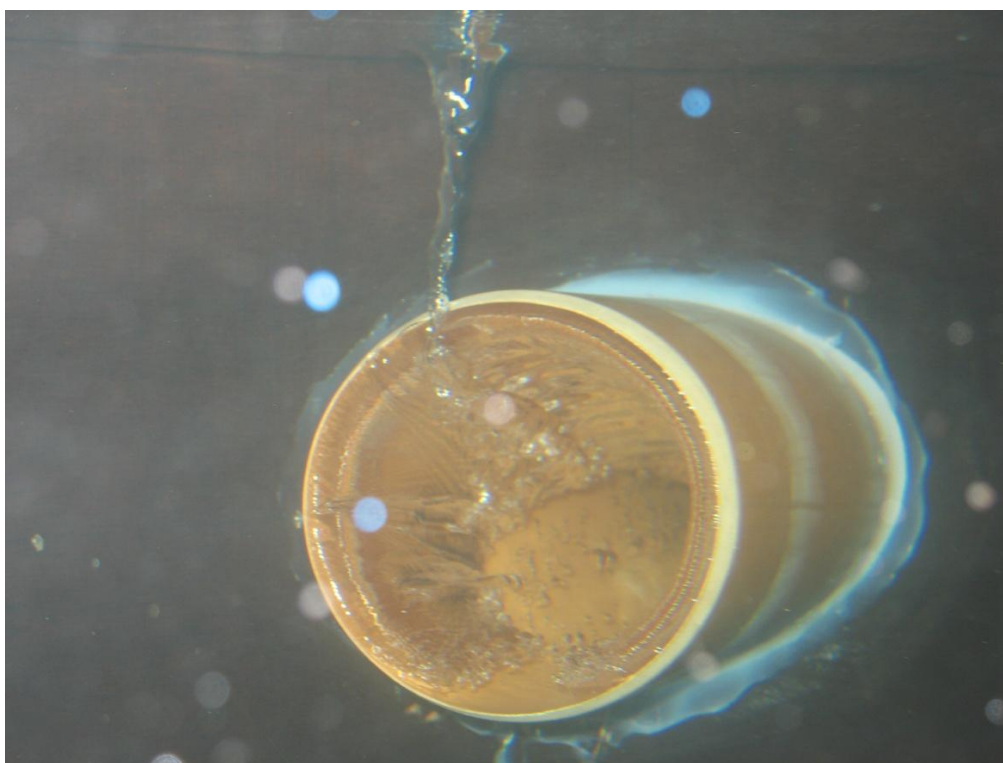
Při této konfiguraci vtoku se ve všech hodnotách průtoků Q vyskytly úplné víry. Víry se pohybovaly jen v blízkosti vtokového otvoru, aniž by byly odnášeny proudem vody.



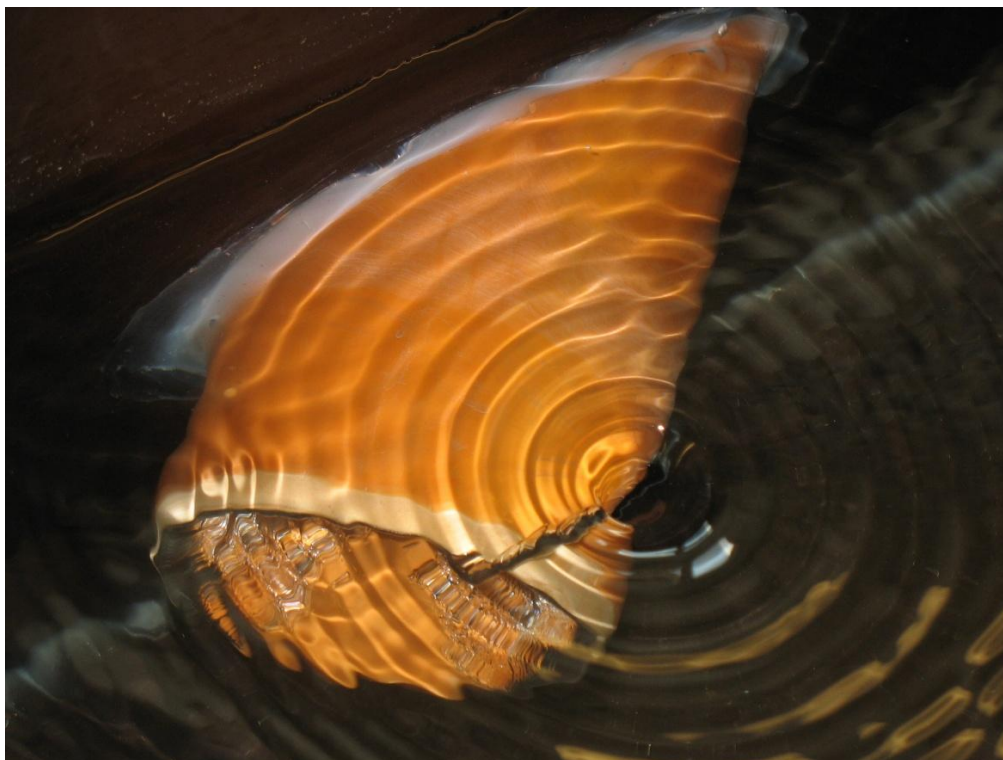
Obrázek 25 – $Q = 6,9$ l/s, čelní pohled



Obrázek 26 – $Q = 6,9$ l/s, pohled shora



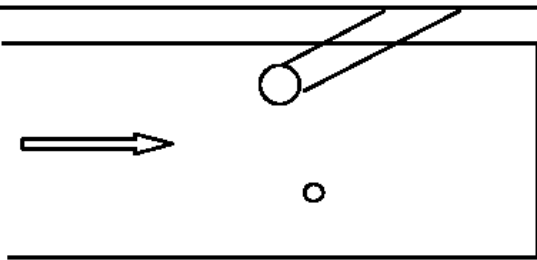
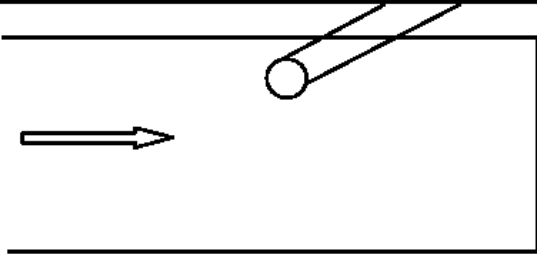
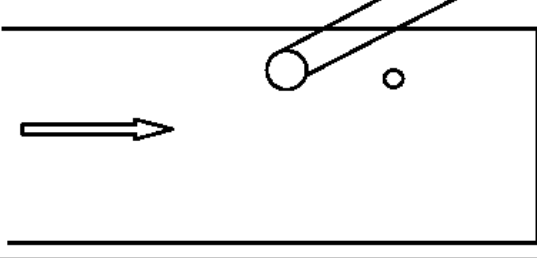
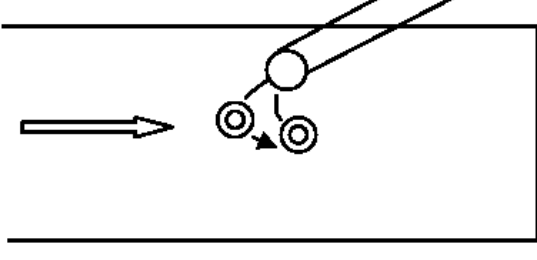
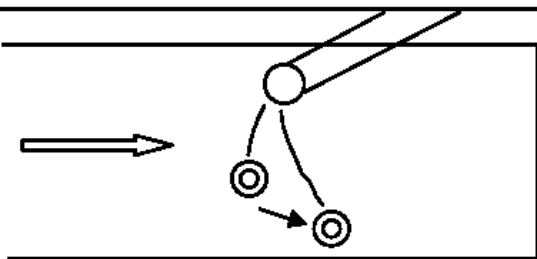
Obrázek 27 – $Q = 9 \text{ l/s}$, čelní pohled



Obrázek 28 – $Q = 9 \text{ l/s}$, pohled shora

8.1.3 Vtok s nasazeným 90° kolenem

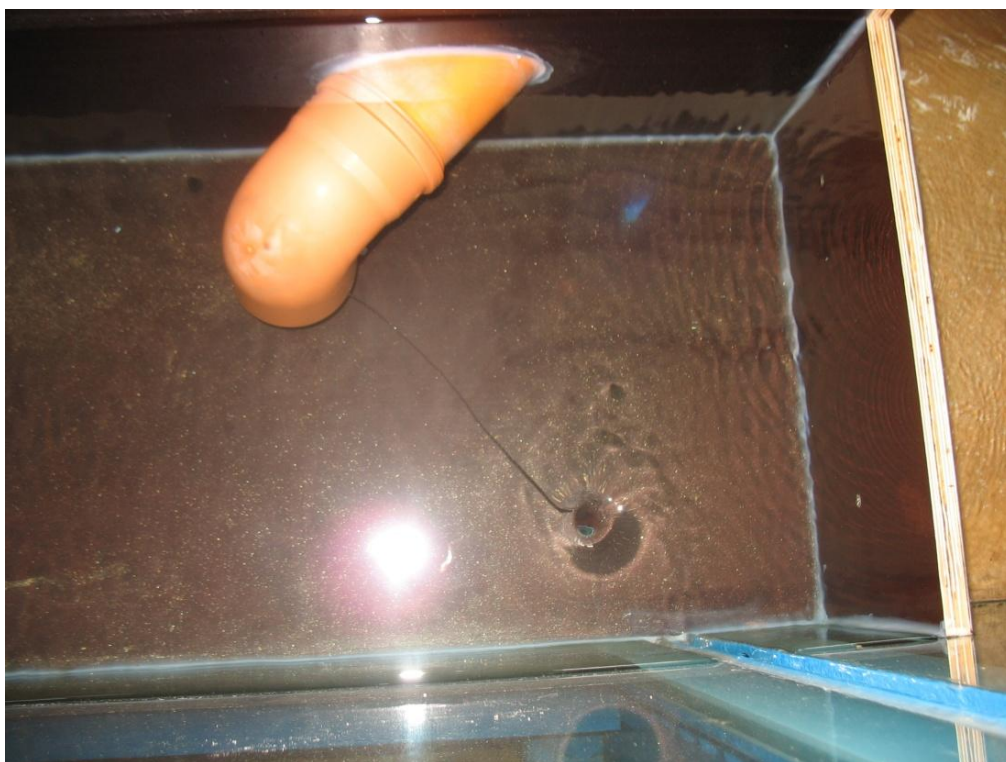
Hladina na úrovni přelivné hrany – projektovaná úroveň hladiny

Q (l/s)	Schéma polohy víru na hladině	Klasifikace vtokových vírů dle Skaličky
5,0		Soustředný vláknový
6,0		nevznikl
6,9		Vírový důlek
8,0		Úplný (viz obr. 29, 30)
9,0		Úplný

Plného rozvinutí víru nebylo dosaženo při průtocích nižších než $Q = 6,9$ l/s (včetně). Úplné víry byly s velmi výrazným vzduchovým jádrem a „fotogenické“. Trajektorie víru je znázorněna šipkami ve schématu.



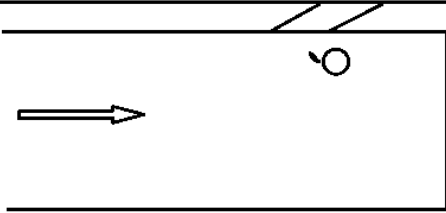
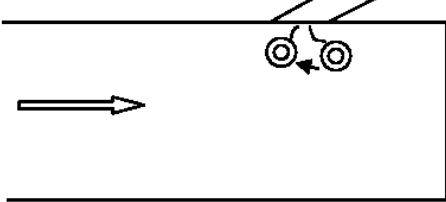
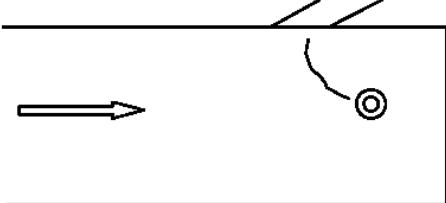
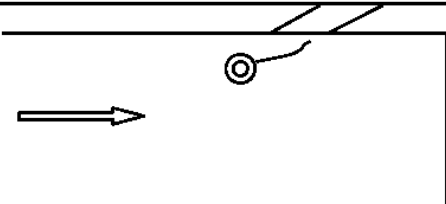
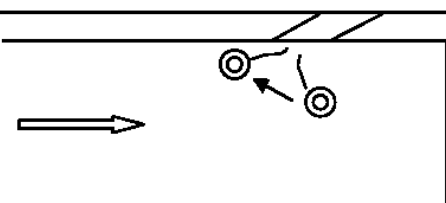
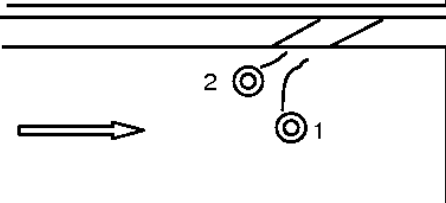
Obrázek 29 – $Q = 8 \text{ l/s}$, čelní pohled



Obrázek 30 – $Q = 8 \text{ l/s}$, pohled shora

8.2 Hledání kritické hloubky ponoru vtoku

8.2.1 Vtok lícující s boční stěnou kanálu

Q (l/s)	Schéma polohy víru na hladině	Klasifikace vtokových vírů dle Skaličky	H_T/D
5,0		Soustředný vláknový (malý okamžik)	-
6,0		Soustředný vláknový	2,51
6,9		Úplný (viz obr. 31, 32)	2,39
8,0		Úplný	2,26
9,0		Úplný	2,18
10,0		Úplný	2,26
13,0		Úplný	2,16

Při pozorování u této konfigurace vtoku jsme mohli vidět všechna stadia vývoje vodního víru. Vír dospěl až do svého úplného stadia se souvislým vzduchovým jádrem. Případné unášení víru je znázorněno šipkami ve schématu. Při $Q = 13$ l/s vznikly krátce za sebou dva úplné víry s odlišnou polohou.



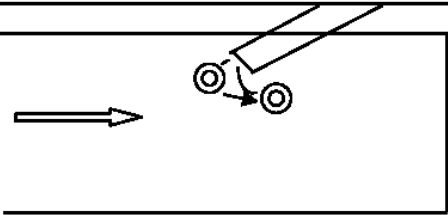
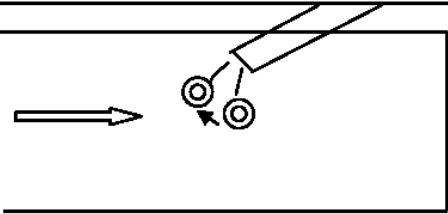
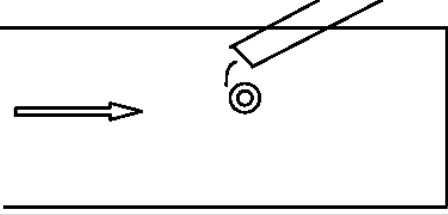
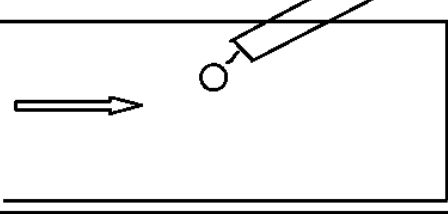
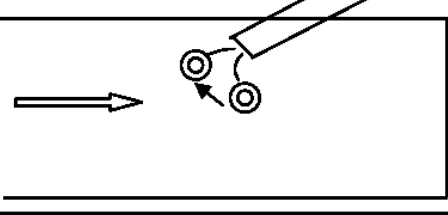
Obrázek 31 – $Q = 6,9$ l/s, čelní pohled



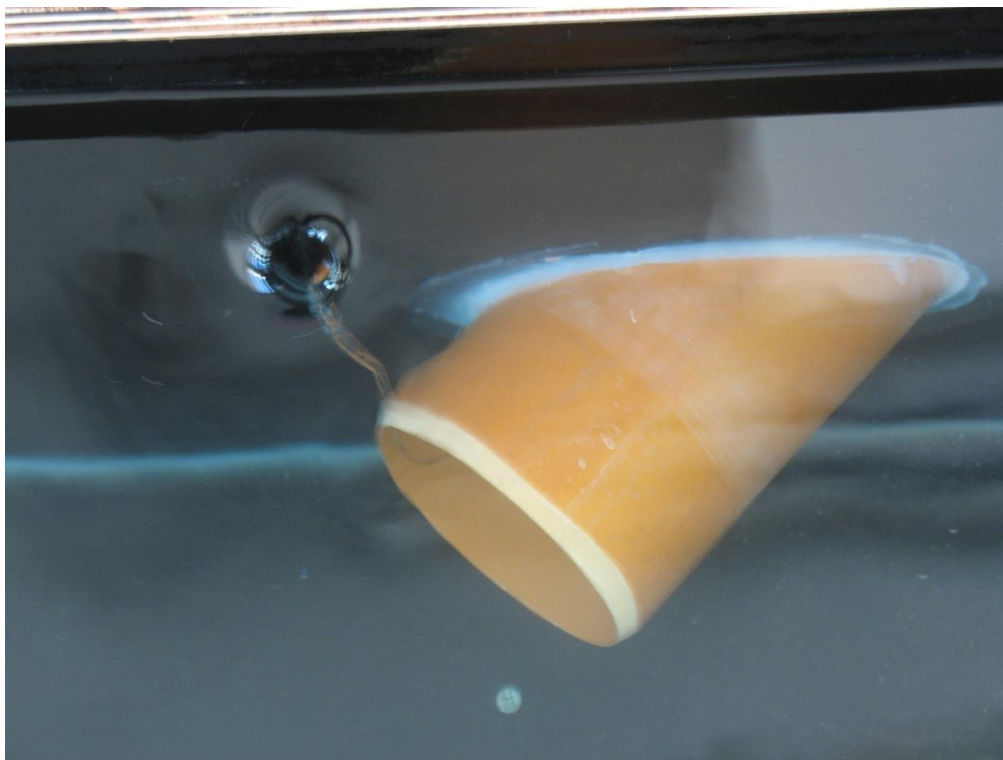
Obrázek 32 – $Q = 6,9$ l/s, pohled shora

8.2.2 Vtok zasahující do kanálu

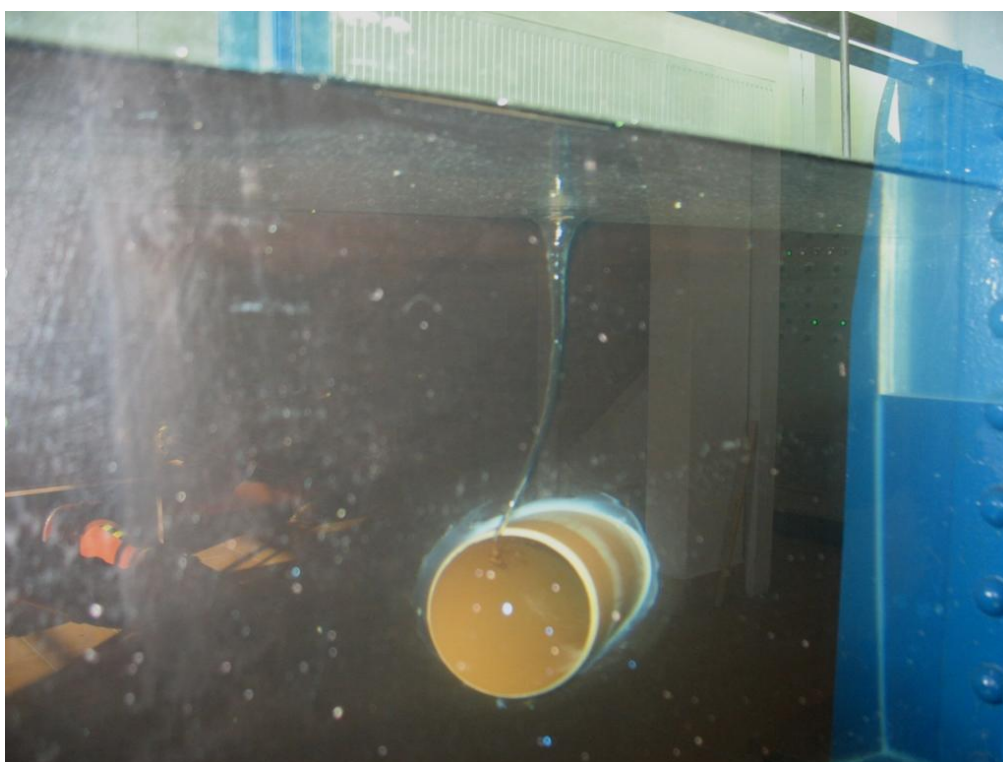
Hledání kritické hloubky ponoru vtoku

Q (l/s)	Schéma polohy víru na hladině	Klasifikace vtokových vírů dle Skaličky	H_T/D
5,0		Úplný	1,94
6,0		Úplný	2,12
6,9		Úplný (viz. obr. 33, 34)	2,49
8,0		Rozptýlený vláknový	2,48
9,0		Úplný	2,50

Při této konfiguraci bylo, až na případ $Q = 8$ l/s, pozorováno stádium úplného hladinového víru, který byl doprovázen silným akustickým jevem a odtržením proudu po obvodu vtokového otvoru. Tento jev byl velmi fotogenický a zaznamenám pomocí digitálního fotoaparátu. Pohyb víru po hladině je znázorněn ve schématu pomocí šipek.



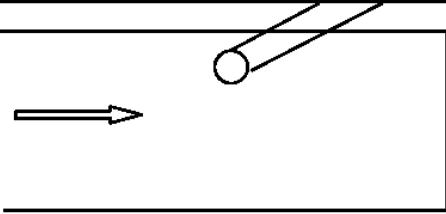
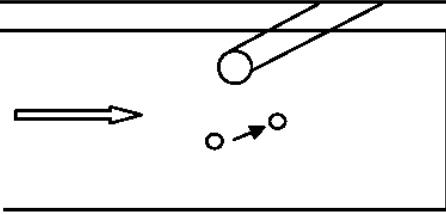
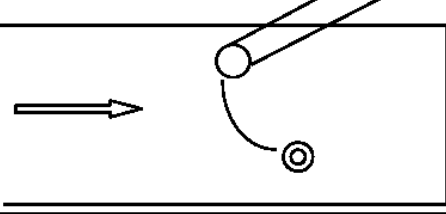
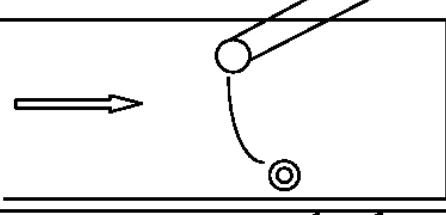
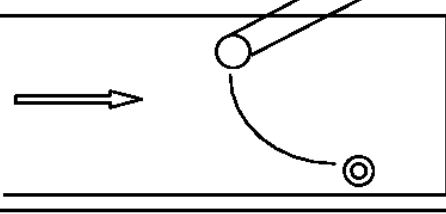
Obrázek 33 – $Q = 6,9$ l/s, pohled shora



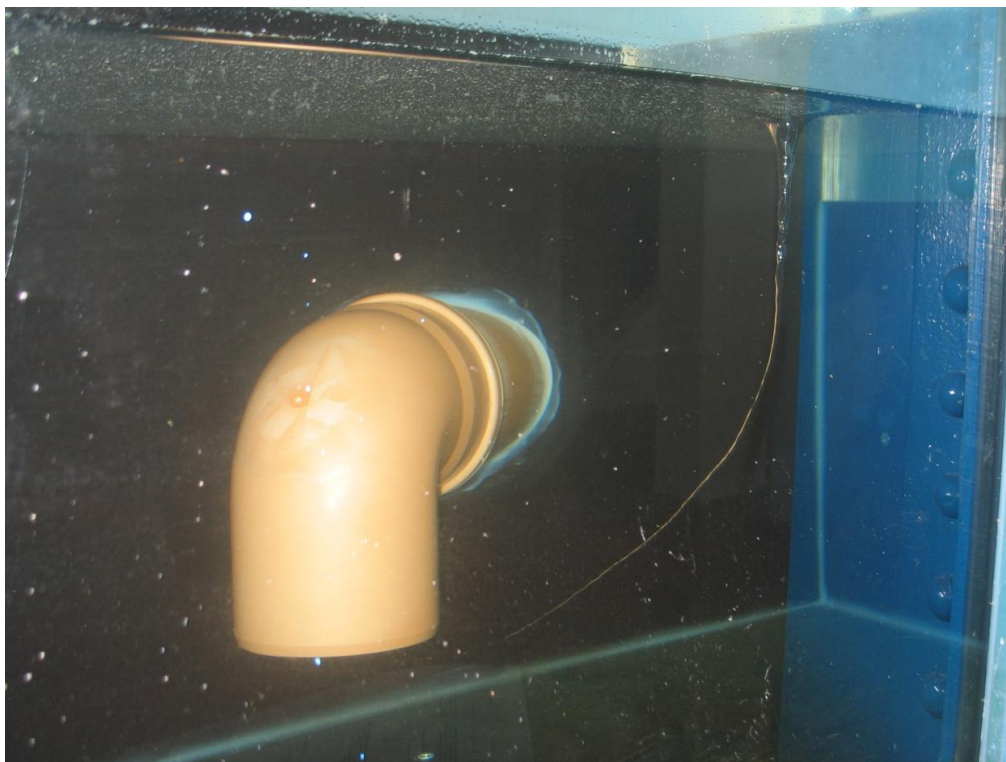
Obrázek 34 – $Q = 6,9$ l/s, čelní pohled

8.2.3 Vtok s nasazeným 90° kolenem

Hledání kritické hloubky ponoru vtoku

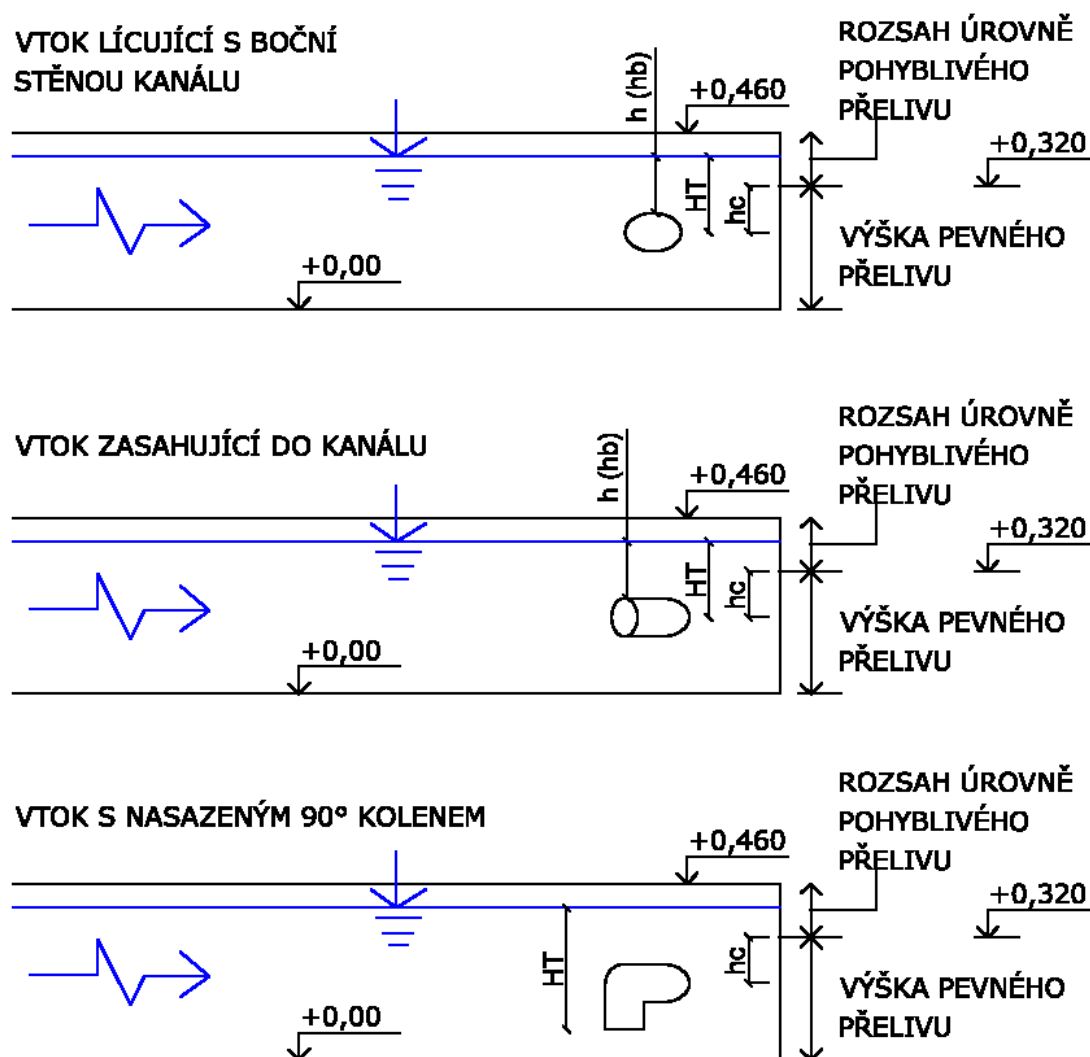
Q (l/s)	Schéma polohy víru na hladině	Klasifikace vtokových vírů dle Skaličky	H_T/D
5,0		nevznikl	-
6,0		Vírový důlek	-
6,9		Úplný (viz. obr. 35)	2,62
8,0		Úplný	3,00
9,0		Úplný	3,05

Během nastavené konfigurace se vytvářely úplné víry v druhé (poproudě pravé) polovině kanálu (viz schéma). Při vyšších průtocích vznikaly víry poblíž poproudě pravé stěny kanálu.



Obrázek 35 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, čelní pohled

9. Vyhodnocení měření



Obrázek 36 - Vyobrazení zkratk používaných ve výpočtu

9.1 Výpočet hloubky ponoru vtoku

Konstanty:

D =	103	mm
S =	0,008	m ²
g =	9,81	m/s ²
a =	0,72	

Kritéria pro stanovení hloubek:

$$\text{Gordon: } h_b = a \cdot v \cdot D^{0.5} \quad (1)$$

$$\text{Gulliver: } h/D = 0.5 + (0.4 \cdot Fr) \quad (2)$$

$$\text{Šulc: } H_T/D = 1.95 + (0.55 \cdot Fr^2) \quad (3)$$

Froudovo kritérium:

$$Fr = v/(g \cdot D)^{0.5} \quad (4)$$

Vtok zasahující do kanálu

						vypočtené				
						Gordon	Gulliver		Šulc	
Q(l/s)	h _b (mm)	H _T (mm)	v (m/s)	Fr	Fr ²	h _b (mm)	h/D	h(mm)	H _T /D	H _T (mm)
5,0	149	200	0,60	0,60	0,36	139	0,74	76	2,15	221
6,0	167	218	0,72	0,72	0,51	166	0,79	81	2,23	230
6,9	205	256	0,83	0,82	0,68	191	0,83	85	2,32	239
8,0	204	255	0,96	0,96	0,91	222	0,88	91	2,45	253
9,0	206	257	1,08	1,08	1,16	250	0,93	96	2,59	266

Vtok s nasazeným 90° kolenem

Pro Gordona: $H_T = h_b$

					vypočtené				
					Gordon	Gulliver		Šulc	
Q(l/s)	H _T (mm)	v (m/s)	Fr	Fr ²	h _b (mm)	h/D	h(mm)	H _T /D	H _T (mm)
6,9	270	0,83	0,82	0,68	191	0,83	85	2,32	239
8,0	309	0,96	0,96	0,91	222	0,88	91	2,45	253
9,0	314	1,08	1,08	1,16	250	0,93	96	2,59	266

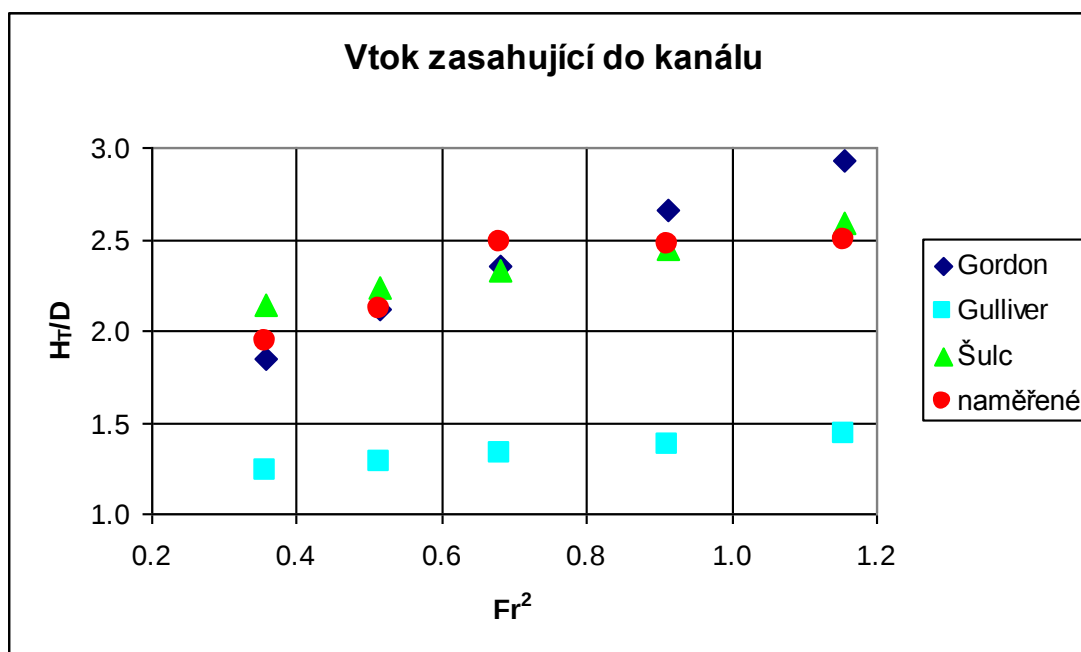
Vtok lícující s boční stěnou kanálu

						vypočtené				
						Gordon	Gulliver		Šulc	
Q(l/s)	h _b (mm)	H _T (mm)	v (m/s)	Fr	Fr ²	h _b (mm)	h/D	h(mm)	H _T /D	H _T (mm)
6,0	207	258	0,72	0,72	0,51	166	0,79	81	2,23	230
6,9	195	246	0,83	0,82	0,68	191	0,83	85	2,32	239
8,0	182	233	0,96	0,96	0,91	222	0,88	91	2,45	253
9,0	173	224	1,08	1,08	1,16	250	0,93	96	2,59	266
10,0	182	233	1,20	1,19	1,43	277	0,98	101	2,73	282
13,0	171	222	1,56	1,55	2,41	361	1,12	115	3,28	337

9.2 Relativní hloubky ponoru vtoku k těžišti vztažného profilu

Tabulka 1 - Vtok zasahující do kanálu

Fr^2	H_T/D				model	přepočet na dílo	
	dle Gordona	Gullivera	Šulce	naměřené	H_T (mm)	H_T (m)	h (m n.m.)
0,36	1,85	1,24	2,15	1,94	200	2,33	641,48
0,51	2,12	1,29	2,23	2,12	218	2,54	641,69
0,68	2,36	1,33	2,32	2,49	256	2,98	642,13
0,91	2,66	1,38	2,45	2,48	255	2,97	642,12
1,16	2,92	1,43	2,59	2,50	257	2,99	642,14

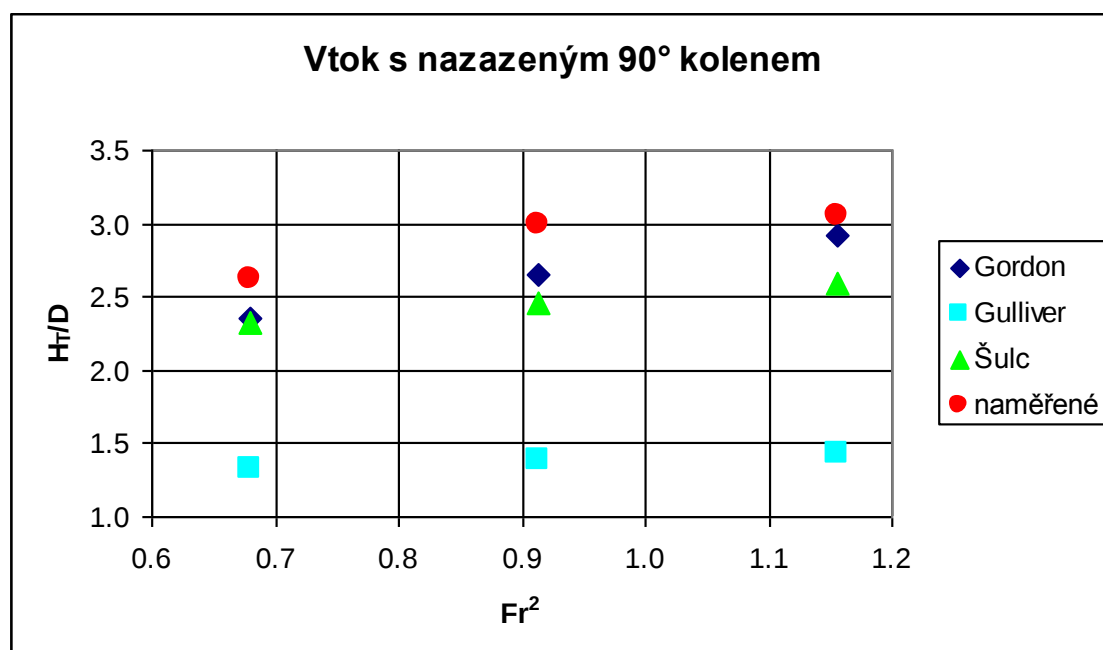


Graf 1.

Z grafického znázornění výsledků vyplývá, že se naměřené hodnoty nejvíce přibližují vypočteným hodnotám podle Gordona a zejména Šulce. Z grafu č. 1 je zřejmé, že se zvyšujícím se průtokem se zvyšuje kritická hloubka ponoru vtoku. Vypočtené hodnoty dle Gullivera mají mírně rostoucí tendenci.

Tabulka 2 - Vtok s nasazeným 90° kolenem

Fr^2	H_T/D				model	přepočet na dílo	
	dle Gordona	Gullivera	Šulce	naměřené	H_T (mm)	H_T (m)	h (m n.m.)
0,68	2,36	1,33	2,32	2,62	270	3,15	640,90
0,91	2,66	1,38	2,45	3,00	309	3,60	641,35
1,16	2,92	1,43	2,59	3,05	314	3,66	641,41

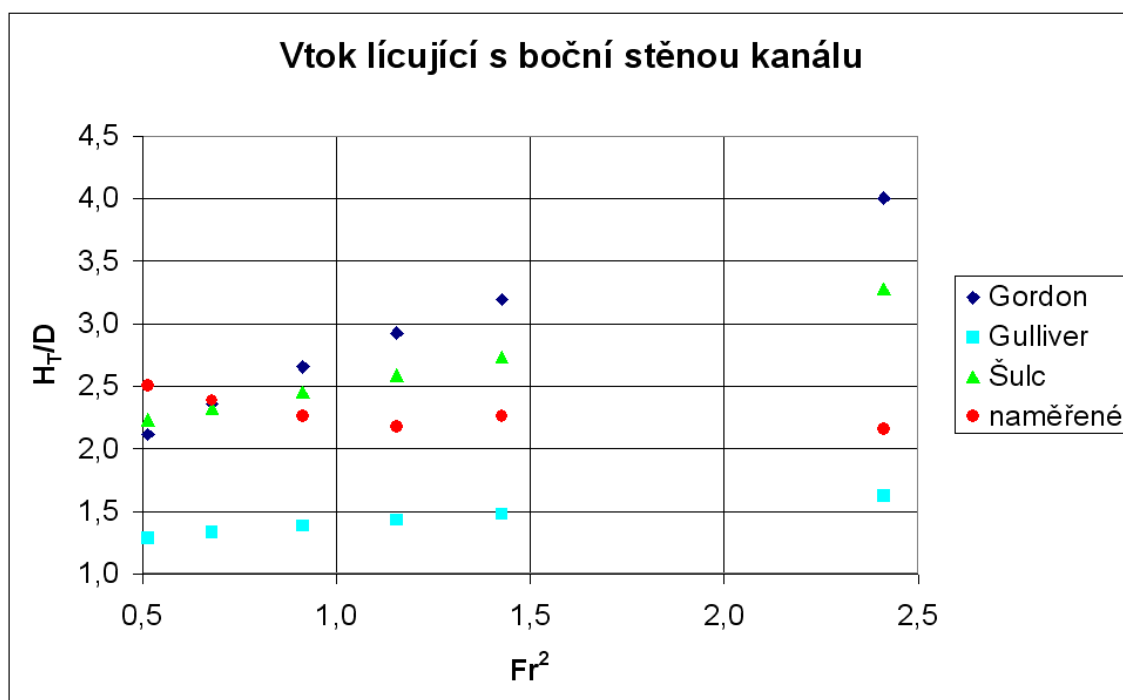


Graf 2.

Z grafického znázornění výsledků vyplývá, že se naměřené hodnoty nejvíce přibližují vypočteným hodnotám podle Gordona. Naše naměřené údaje jsou dokonce vyšší než hloubky vypočtené dle Gordona a Šulce. Z grafu č. 2 je viditelné, že se zvyšujícím se průtokem se zvyšuje kritická hloubka ponoru vtoku. Vypočtené hodnoty dle Gullivera mají mírně rostoucí tendenci. Dosud odvozená kritéria všech tří uváděných autorů však pro tento typ vtoku přímo z děl ani z modelových zkoušek odvozena nebyla.

Tabulka 3 - Vtok líčující s boční stěnou kanálu

Fr^2	H_T/D				model	přepočet na dílo	
	dle Gordona	Gullivera	Šulce	naměřené	H_T (mm)	H_T (m)	h (m n.m.)
0,51	2,12	1,29	2,23	2,50	258	3,01	642,16
0,68	2,36	1,33	2,32	2,39	246	2,87	642,02
0,91	2,66	1,38	2,45	2,26	233	2,71	641,86
1,16	2,92	1,43	2,59	2,17	224	2,61	641,76
1,43	3,19	1,48	2,73	2,26	233	2,71	641,86
2,41	4,00	1,62	3,28	2,16	222	2,59	641,74



Graf 3.

Z grafického výstupu č. 3 našeho měření je možné usoudit, že křivka, která pomyslně tvoří spojnici našich naměřených hloubek je „inverzní“ k hloubkám vypočtených dle Šulce i Gordona. Vypočtené hodnoty dle Gullivera mají mírně rostoucí tendenci. Oproti ostatním autorům mají naše výsledky sestupnou tendenci, tedy se zvyšujícím se průtokem se snižuje kritická hloubka.

Také je zde třeba vzít v úvahu, že se zvyšující se přítokovou rychlostí dochází k „rušení“ hladiny. Námi použité vztahy uvedených autorů jsou určeny pro klidnější prostředí větších zdrží.

Tento výsledek je s jistou pravděpodobností zapříčiněn originalitou variantního řešení vtoku.

Podstatné však je, že při poměrech reprezentovaných nižšími hodnotami Froudova kritéria ($Fr^2 < 0,8$) se výsledky Gordona i Šulce potěšitelně shodují s výsledky získanými z modelových zkoušek.

10. Prostředky pro eliminaci vtokových vírů

Vzniku úplného nálevkovitého víru se vzduchovým jádrem je možno zabránit zvýšením provozní hladiny na díle nebo ochranným opatřením, které je možno instalovat dodatečně na již provozovaném hydroenergetickém díle (např. při modernizaci MVE, kdy instalujeme turbínu s větší hltností). Prostředky zabráňující vzniku hladinových vírů jsou podrobně popsány v publikaci [14], ze které bylo čerpáno.

Organizační opatření – zvýšení minimální provozní hladiny, vyloučení maximálních průtoků při nízkých provozních hladinách.

Technická opatření – stavební úpravy vtoků a jejich blízkého okolí včetně použití nejrůznějších pomocných konstrukcí. Úkolem těchto opatření je oddálit osu úplného nálevkovitého víru co nejdále od vtoku, oddělit vírovou oblast od vtoku, zamezit vírový pohyb při hladině.

Pro technická opatření platí, že spolehlivější výsledek lze dosáhnout zkouškou tohoto prvku pomocí hydraulického modelu.

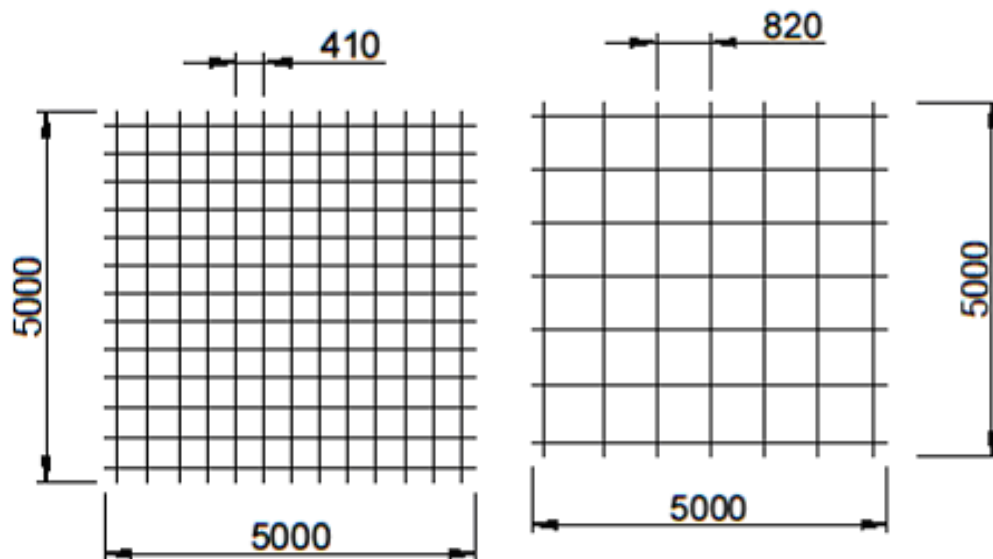
V našem modelovém úkolu jsme zkoušeli tato opatření:

- rošt umístěný na hladině,
- deflektor (usměrňující deska),
- mírné přelévání přelivné hrany.

10.1 Rošt umístěný na hladině

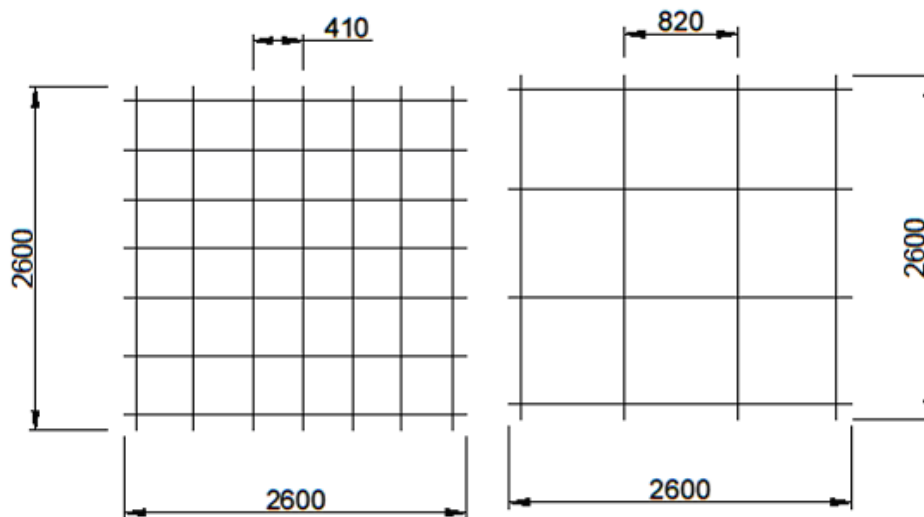
Pro každou konfiguraci vtoku byly nastaveny podmínky pro vznik úplného nálevkovitého víru se vzduchovým jádrem. Při jeho vzniku byla zaznamenána poloha hladiny. Následně byl na hladinu instalován rošt a pozorováno (zaznamenáno), zda vznikne vír. Rošt byl umístěn svým středem přibližně ve středu oblasti, ve které vír vznikl. Tvary a pozice roštů jsou zachyceny na fotografii. Hladina byla nastavena nejprve na vyšší úroveň. Následně byla provedena zkouška při hladině na úrovni přelivu.

Schémata zkoušených roštů (rozměry přepočtené na dílo (mm))



Rošt velký „hustý“

Rošt velký „řidký“



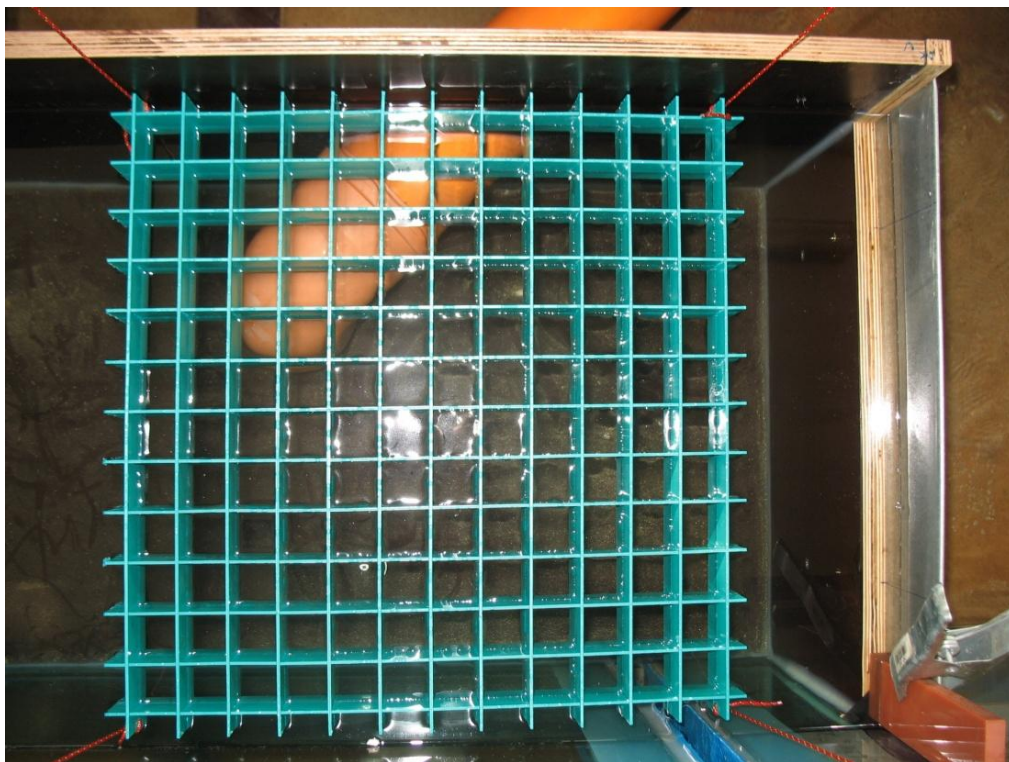
Rošt malý „hustý“

Rošt malý „řidký“

10.2 Vyhodnocení zkoušek hladinových roštů (po přepočtu na dílo)

Tabulka 4 - Vyhodnocení účinnosti hladinových roštů

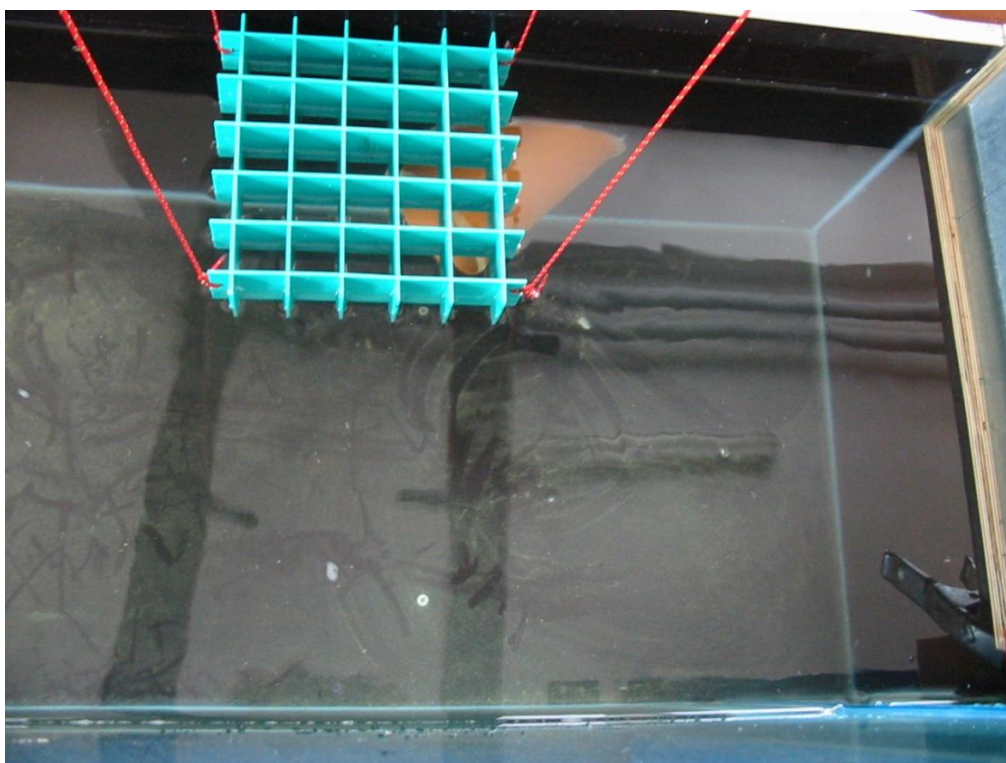
konfigurace vtoku	kóta hladiny (m n.m.)	Q (m ³ /s)	druh roštu	ponor (mm)	stádium hladinového víru před vtokem
vtok lícující se stěnou	640,6	3,2	bez roštu	-	soustředný vláknový (minimální)
	640,6	3,2	malý „hustý“	120	bez víru
	640,6	3,2	malý „řidký“	240	bez víru
vtok zasahující do kanálu	640,6	3,2	bez roštu	-	úplný
	640,6	3,2	velký „hustý“	240	bez víru
	640,6	3,2	velký „řidký“	240	bez víru
	640,6	3,2	malý „hustý“	120	bez víru
	640,6	3,2	malý „řidký“	240	bez víru
	640,6	3,2	malý „řidký“	60	neúplný nálevkovitý
vtok s nasazeným 90° kolenem	640,6	3,2	bez roštu	-	vírový důlek
	640,6	3,2	velký „hustý“	240	bez víru
	640,8	3,2	velký „hustý“	240	bez víru



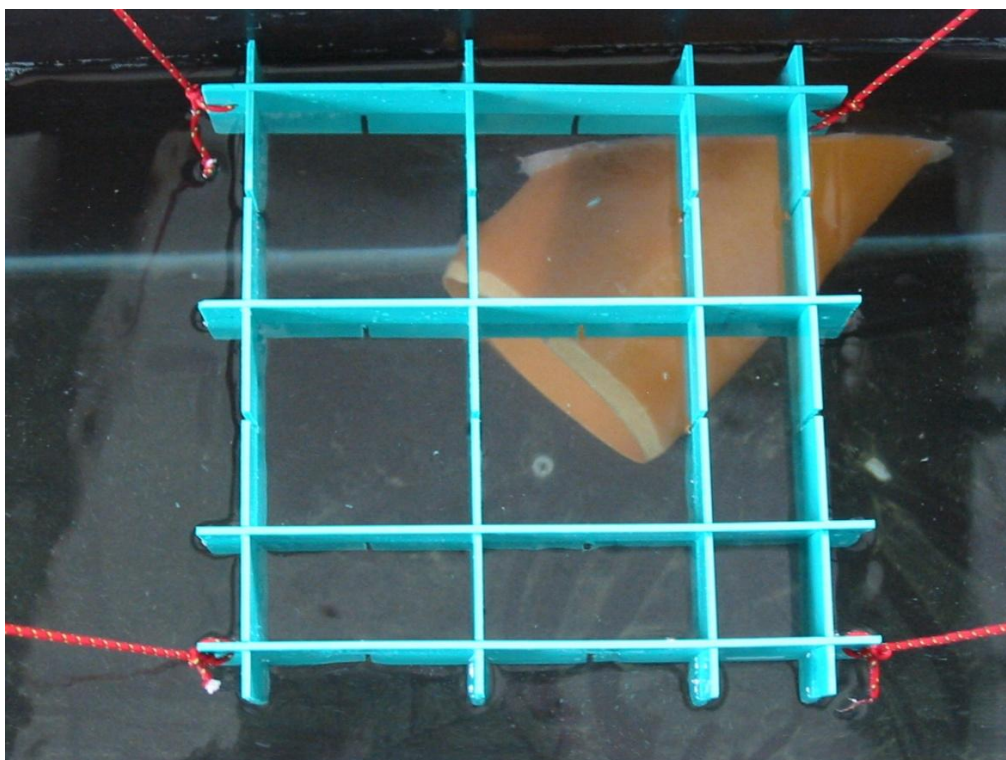
Obrázek 37 - Velký „hustý“ rošt



Obrázek 38 - Velký „řidký“ rošt



Obrázek 39 - Malý „hustý“ rošt



Obrázek 40 - Malý „řidký“ rošt

10.3 Deflektor (usměrňovací deska)

Pomocí deflektoru se nám podařilo odchýlit směr proudění v oblasti vtoku, tím pádem jsme zamezili vzniku vírů. Jako deflektor nám posloužila dlouhá plastová deska, šířky 200 mm (na díle 2,3 m), kterou jsme nastavili v odklonu 46° od směru proudění krajní proudnice. Pomocí měřidla umístěného na rámu žlabu jsme odečítali pozice umístěného deflektoru a sledovali, jestli dojde k vytvoření víru. Tímto způsobem jsme zjistili rozmezí oblasti, ve které při nastaveném deflektoru, nedojde ke vzniku víru. Doporučená vzdálenost je brána protiproudě od hrany vtoku ve stěně (blíže k přelivu).

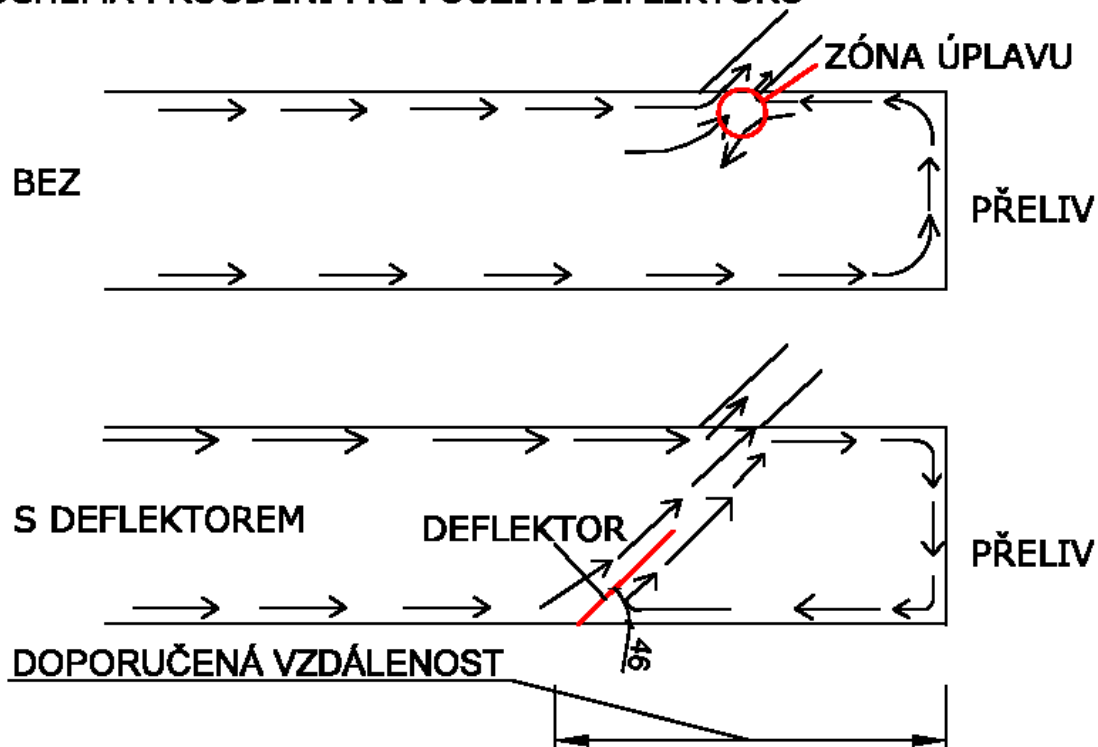
Zjištěná oblast

Tabulka 5 - Vyhodnocení vhodné vzdálenosti deflektoru

konfigurace vtoku	doporučená vzdálenost (mm)	přepočet na dílo (m)
vtok lícující se stěnou	585	6,8
zasahující do kanálu	755 ÷ 685	8,8 ÷ 8,0

Pro umístění deflektoru na díle (při konfiguraci zasahujícího vtoku do kanálu) doporučuji jej umístit ve vzdálenosti 8,4 m od vnitřní hrany pevného přelivu.

SCHÉMA PROUDĚNÍ PŘI POUŽITÍ DEFLEKTORU



Obrázek 41 - Schéma deflektoru



Obrázek 42 - Použití deflektoru, pohled shora



Obrázek 43 - Použití deflektoru, čelní pohled

10.4 Mírné přelévání hladiny přes čelní přeliv

Tento způsob zamezení vzniku hladinových vírů vyšších intenzit se v modelové zkoušce neosvědčil.

V případě vtoku lícujícího s boční stěnou kanálu při $Q = 9 \text{ l/s}$, přepadová výška 6 mm, docházelo v okolí vtoku k vytvoření víru, krátkému rozvinutí v úplný vír a následně zanikl poproudě směrem k přelivu.

V případě vtoku zasahujícího do kanálu při $Q = 9 \text{ l/s}$, přepadová výška 12 mm, docházelo k rozvinutí úplného víru a tvořil se úplav v potrubí. Pro efektivní využití tohoto způsobu ochrany by přepadová výška na přelivu musela být vyšší, což by způsobilo ztráty hydroenergeticky využitelné vody.

11. Závěr

Z výsledků modelových zkoušek lze usoudit, že projektovaný vtok na turbínu MVE Vydra 2 bude náchylný na vznik hladinových vírů vyšších intenzit. Při hltnosti turbíny $Q = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 6,9 \text{ l/s}$ na modelu), provozní hladině předpokládané na úrovni 640,60 m n. m. byl prokázán vznik vtokových vírů vyšších intenzit, které vtahovaly vzduch do přivaděče. Tvorba vírů u konfigurace vtoku lícujícího s boční stěnou kanálu měla nízkou intenzitu, víry se střídaly s neúplnými rozptýlenými (stádia viz obr. 17).

Díky proveditelnosti hrazení vtoku se jeví jako nejlepší varianta vtok lícující se stěnou. Rovněž i z hlediska tvorby a intenzity vtokových vírů se jeví toto uspořádání jako nejbezpečnější.

Zamezením tvorby v předpolí vtoku MVE Vydra 2 zvýšením provozní hladiny se vzniku vírů zcela nezabrání. Zvýšením provozní hladiny by rovněž bylo nutné zvýšit stávající břehové zdi současného odpadního kanálu MVE Vydra a rovněž i pořídit nový hradící prvek odpadního kanálu. Tato opatření by byla i finančně náročná.

Použitím prvků sekundární ochrany – hladinové rošty a deflektor (usměrňovací deska) bylo docíleno úplné eliminace tvorby hladinových vírů. Velkou výhodou těchto opatření je jejich snadná a nenáročná proveditelnost. Při použití zkouškami ověřených rozměrů, tvaru a hloubky ponoru hladinového roštu bude dílo chráněno, s největší pravděpodobností, proti tvoření hladinových vírů v předpolí vtoku. Použití deflektoru skýtá velkou výhodu s ohledem na provozování díla v zimních obdobích (tvorba ledu).

Vzhledem ke zjištění výskytu hladinových vírů relativně nižších intenzit u projektovaných řešení, doporučuji rozhodnout o použití sekundárních opatření až po vyhodnocení zkušebního provozu.

12. Seznam použitých zdrojů

- [1] VCHYNICKO-TETOVSKÝ PLAVEBNÍ KANÁL, ZČE SKUPINA ČEZ, LUNAR FILM, 2001 – video
- [2] ŠUMAVSKÉ ENERGIE, ZČE, LUNAR FILM 1999 - video
- [3] <http://www.panoramio.com/photo/38652392>
- [4] VH – Tres spol. s r. o., České Budějovice: MANIPULAČNÍ ŘÁD pro VD VYDRA. září 2000
- [5] MVE Vydra 2 – Dokumentace objektů. Technická zpráva. Pöyry Environment a. s., Brno, 2007
- [6] Šulc, J.: Experimentální výzkum tvorby vírů před vybranými vtoky hydrotechnických děl. FAST VUT Brno, 1987, str. 4, 5, 24
- [7] Skalička, J.: Výzkum proudění s vtokovými víry na zmenšených fyzikálních modelech. Vodní hospodářství A 33, 1983, č. 1, str. 5-11
- [8] Gordon, J. L.: Vortices at Intakes, Water Power, 22, 1970, č. 4, str. 137-138
- [9] Gulliver, J. S.; Rindels, A. J.; Lindblom, K. C.: Designing intakes to avoid free-surface vortices. Water Power and Dam Constructions, September 1986, str. 24-28
- [10] Šulc, J.: Modelový výzkum tvorby vírů u vertikálních dnových a horizontálních bočně zaústěných vtoků. Vodní hospodářství 3/1991, str. 81-85
- [11] www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice.html
- [12] Jandora, J.; Šulc, J.: Hydraulika. Brno, 2006, str. 170-174
- [13] LVV, Minimální bezpečná hloubka ponoru vtoku MVE Vydra 2 pro provoz vodní turbíny, FAST VUT v Brně, Brno 2011
- [14] Šulc, J.: Hydraulický modelový výzkum pomocných konstrukcí proti tvorbě úplných vtokových vírů. FAST VUT Brno, 1988, str. 3, 4
- [15] Běl, J.; Barták. :Vodní elektrárna Vydra, Šumava Srní. 1999

- [16] Běl, J.: Ing. Josef Rosenauer. Vorořlavba a plavení dřeva na horní Otavě. 2000
- [17] <http://mapy.cz/#x=13.481105&y=49.094357&z=13&l=2&c=2-3-8-15-23-25-29-31-t>
- [18] Šulc, J.: Poznatky z modelového výřkumu vřokových vířů u vřoků vodních elektráren. Vodní hospodářství 1990, ř. 3, str. 102 - 107

13. Seznam použitých zkratk a symbolů

ČEZ, a. s.	České energetické závody, akciová společnost
D	průměr potrubí
DN	vnitřní průměr potrubí
F	síla
Fr	Froudovo kritérium
H	spád
H _T	kritická hloubka ponoru vtoku vztažená k těžišti průřezu
J _s	jmenovitá světlost
L	délka
MVE	malá vodní elektrárna
Q	průtok
Re	Reynoldsovo kritérium
S	průřezová plocha
We	Weberovo kritérium
a	součinitel nesymetrie průtoku, pro Gordonův vztah
h	hloubka ponoru vtoku
h _b	bezpečná hloubka ponoru vtoku
g	tíhové zrychlení
m	hmotnost
v	průřezová rychlost
ρ	hustota

15. Seznam obrázků

Obrázek 1 – Koryto řeky Vydry	4
Obrázek 2 – Schéma vedení Vchynicko-Tetovského plavebního kanálu [15]	6
Obrázek 3 Ing. Josef Rosenauer [16]	7
Obrázek 4 - Situace MVE Vydra [17]	8
Obrázek 5 - Hradlový most Rechle - začátek Vchynicko-Tetovského plavebního kanálu	11
Obrázek 6 - Mosau, začátek přivaděče MVE Vydra [3]	11
Obrázek 7 - Akumulační nádrž MVE Vydra, se šachtovým bezpečnostním přelivem	12
Obrázek 8 - „Šoupátkový domek“ pod akumulaci nádrží	12
Obrázek 9 - Vyrovnávací komora „Vodní zámek“ MVE Vydra, vpravo armaturní „domek“	13
Obrázek 10 - Budova MVE Vydra, protiproudění pohled	13
Obrázek 11 - Strojovna MVE Vydra	14
Obrázek 12 - Oběžné kolo Francisovy turbíny	14
Obrázek 13 - Situace MVE Vydra 2 [17]	17
Obrázek 14 - Řez budovou MVE Vydra 2 [5]	18
Obrázek 15 - Půdorys MVE Vydra 2 [5]	19
Obrázek 16 - Budoucí lokalita MVE Vydra 2, již zabudovaný vtok, hladinová klapka (poproudění pohled)	20
Obrázek 17 - Savka Francisovy turbíny MVE Vydra	20
Obrázek 18 - Zkušební model, pohled shora	30
Obrázek 19 - Zkušební model, pohled z pravé strany	31
Obrázek 20 – Digitální ukazatelé průtoků	31
Obrázek 21 - Vtok zasahující do kanálu	33
Obrázek 22 - Vtok s nasazeným 90° kolenem	33
Obrázek 23 - Vtok lícující s boční stěnou kanálu	34
Obrázek 24 - Schémata jednotlivých zkoušených konfigurací	35
Obrázek 25 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, čelní pohled	39
Obrázek 26 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, pohled shora	39
Obrázek 27 – $Q = 9 \text{ l/s}$, čelní pohled	40
Obrázek 28 – $Q = 9 \text{ l/s}$, pohled shora	40
Obrázek 29 – $Q = 8 \text{ l/s}$, čelní pohled	42

Obrázek 30 – $Q = 8 \text{ l/s}$, pohled shora	42
Obrázek 31 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, čelní pohled	44
Obrázek 32 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, pohled shora	44
Obrázek 33 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, pohled shora	46
Obrázek 34 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, čelní pohled	46
Obrázek 35 – $Q = 6,9 \text{ l/s}$, čelní pohled	48
Obrázek 36 - Vyobrazení zkratk používaných ve výpočtu	49
Obrázek 37 - Velký „hustý“ rošt	58
Obrázek 38 - Velký „řidký“ rošt	58
Obrázek 39 - Malý „hustý“ rošt	59
Obrázek 40 - Malý „řidký“ rošt	59
Obrázek 41 - Schéma deflektoru	61
Obrázek 42 - Použití deflektoru, pohled shora	61
Obrázek 43 - Použití deflektoru, čelní pohled	62

16. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vtok zasahující do kanálu.....	51
Tabulka 2 - Vtok s nasazeným 90° kolenem.....	52
Tabulka 3 - Vtok lícující s boční stěnou kanálu.....	53
Tabulka 4 - Vyhodnocení účinnosti hladinových roštů	57
Tabulka 5 - Vyhodnocení vhodné vzdálenosti deflektoru	60