



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

ÚPRAVA HYDRAULICKÝCH POMĚRŮ V PROSTORU ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU ČTYŘ USAZOVACÍCH NÁDRŽÍ NA ČOV BRNO-MODŘICE

ADJUSTMENT OF HYDRAULIC CONDITIONS IN THE AREA OF THE DISTRIBUTION OBJECT
OF FOUR SETTLING TANKS AT THE BRNO-MODŘICE WWTP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Monika Šenková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŽOUŽELA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	NPC-SIV Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Monika Šenková
Název	Úprava hydraulických poměrů v prostoru rozdělovacího objektu čtyř usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice
Vedoucí práce	Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2022

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Dokumentace skutečného provedení konstrukcí rozdělovacího objektu. BVK, a.s.
- [2] Čábelka, J.; Novák, P. Hydrotechnický výzkum I. Modelový výzkumu. SNTL. Praha, 1964
- [3] Žoužela, M., Šenková, M.: Optimalizace hydraulických poměrů rozdělovacího objektu UN na ČOV Brno-Modřice (fyzikální modelový výzkum). Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2020

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem experimentálních prací na fyzikálním hydraulickém modelu bude zajištění usměrnění (úpravy) proudu v prostoru vertikálně situované difuzorové nádrže s nesymetrickým spodním nátokem vody tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné průtokové zatížení celé délky půdorysně kruhové přelivné hrany a stejnoměrné rozdělení celkového průtoku na čtyři čtvrtiny. Experimentální práce v první fázi posoudí proudové poměry na stávajícím objektu, následně budou práce zaměřeny na homogenizaci rychlostních, resp. hladinových poměrů v prostoru rozdělovacího objektu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je najít vhodnou úpravu hydraulických poměrů v prostoru rozdělovacího objektu čtyř usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice. Z důvodu navyšování kapacity ČOV došlo ke změnám hydraulických poměrů na rozdělovacím objektu, které bylo potřeba upravit. Pro nalezení vhodného hydraulického řešení byl vytvořený hydraulický fyzikální model v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty Stavební Vysokého učení technického v Brně, na kterém probíhaly experimentální zkoušky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Čistírna odpadních vod, rozdělovací objekt, tlumící prvek, fyzikální model, Froudův zákon podobnosti, proudové poměry, stoková síť.

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to find a suitable adjustment of hydraulic conditions in the distribution object area of four settling tanks at the Brno-Modřice WWTP. Due to the WWTP capacity increase, there were changes in the hydraulic conditions at the distribution facility, which needed to be adjusted. To find a suitable hydraulic solution, a hydraulic physical model was created in the Laboratory of Water Management Research of the Institute of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, where experimental tests were made.

KEYWORDS

Waste-water treatment plant, distribution object, damping element, physical model, Froud's law of similarity, current ratios, sewer network.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Monika Šenková *Úprava hydraulických poměrů v prostoru rozdělovacího objektu čtyř usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice*. Brno, 2022. 88 s., 33 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Michal Žoužela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Úprava hydraulických poměrů v prostoru rozdělovacího objektu čtyř usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 3. 1. 2022

Bc. Monika Šenková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Úprava hydraulických poměrů v prostoru rozdělovacího objektu čtyř usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 3. 1. 2022

Bc. Monika Šenková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Michalu Žouželovi, Ph.D. za cenné rady, podněty a připomínky při zpracování diplomové práce. V neposlední řadě děkuji také všem respondentům, kteří mi pomohli při sběru údajů.

OBSAH

ÚVOD	10
1 ROZDĚLOVACÍ OBJEKTY PRŮTOKU PŘED NÁDRŽEMI	11
1.1 PARAMETRY PRO NAVRHOVÁNÍ ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU	11
1.1.1 <i>Návrh RO dle typu vodního díla</i>	11
1.1.2 <i>Ostatní parametry</i>	14
1.2 STAVEBNĚ-KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU	15
1.2.1 <i>Přívodní potrubí</i>	15
1.2.2 <i>Vtokový prostor</i>	17
1.2.3 <i>Rozdělovací prostor</i>	18
1.2.4 <i>Odtokový prostor</i>	18
1.2.5 <i>Zjednodušené uspořádání RO</i>	19
2 STÁVAJÍCÍ ROZDĚLOVACÍ OBJEKT A POŽADAVKY NA ZLEPŠENÍ JEHO FUNKCE	21
2.1 POŽADAVKY NA ZLEPŠENÍ FUNKCE	24
3 MOTIVACE PRÁCE	26
4 LABORATORNÍ VÝZKUM	27
4.1 FYZIKÁLNÍ MODEL	27
4.1.1 <i>Hydraulický model</i>	27
4.1.2 <i>Parametry a zařízení fyzikálního modelu</i>	27
4.1.3 <i>Měřicí technika</i>	30
4.2 PODOBNOST FYZIKÁLNÍHO MODELU	32
5 POSTUP A VYHODNOCOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	35
6 POSUZOVANÉ VARIANTY TLUMÍCÍCH PRVKŮ	46
7 VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK	50
7.1 V0 – V1 – STÁVAJÍCÍ STAV	50
7.2 V2 – V5 – KRUHOVÉ DESKY	54
7.3 V6 – V8 – PŮLKRUHOVÉ DESKY	58
7.4 V9 – V12 – KOMBINOVANÉ = KRUHOVÁ DESKA S LÍMCEM	61
7.5 VARIANTY DOPORUČENÉ K REALIZACI	66
7.5.1 <i>Preferovaná varianta V10</i>	71
8 REALIZACE NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ A JEJICH PROVÁDĚNÍ	75
8.1 PODOBNOST PROUDOVÝCH POMĚRŮ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK A REÁLNÉHO PROVOZU	77
9 ZÁVĚR	79
10 POUŽITÉ ZDROJE	80
SEZNAM TABULEK	81

SEZNAM OBRÁZKŮ	82
SEZNAM GRAFŮ.....	84
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	86
SEZNAM PŘÍLOH	88

ÚVOD

Na ČOV Brno-Modřice se nachází rozdělovací objekt, který rozděluje odpadní vodu do čtyř usazovacích nádrží. Objekt tvoří trychtýřovitá nádrž s nesymetrickým spodním nátokem odpadní vody. Vzhledem ke geometrickým a průtokovým okrajovým podmínkám se v prostoru nádrže vyskytuje nehomogenní proudění, které je doprovázeno výraznými hladinovými deformacemi. [1] Tyto nežádoucí jevy způsobují namáhání nádrže a stávající norné stěny. Rozdělení průtoku na jednotlivé usazovací nádrže je tak nestejnomyšlné.

Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., požádali Laboratoř vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně o odstranění výše popsaných jevů. Bylo rozhodnuto, že řešení úpravy hydraulických poměrů bude hledáno na hydraulickém fyzikálním modelu.

Práce se konkrétně zabývá odstraněním nežádoucích jevů – deformace hladiny a nestejnomyšlného rozdělování průtoku do jednotlivých usazovacích nádrží.

První část práce tvoří přehled konstrukčních uspořádání různých rozdělovacích objektů. V praktické části předložené diplomové práce je popsán postup experimentálních zkoušek a jejich vyhodnocení. V závěru práce se nachází stručný popis realizace konstrukčních úprav na zkoumaném díle.

Celkově je práce rozdělena do 8 kapitol.

1 ROZDĚLOVACÍ OBJEKTY PRŮTOKU PŘED NÁDRŽEMI

Rozdělovací objekt (RO) rovnoměrně rozděluje průtok na jednotlivé technologické linky pomocí přelivných hran, normých stěn či návodních pilířů. RO před nádržemi se využívá především na čistírnách odpadních vod (ČOV), kdy se zpravidla nachází na konci mechanického předčištění odpadních vod před dalším stupněm čištění.

RO není typický jen pro ČOV, ale také se navrhuje na liniových stavbách jako stokové sítě nebo vodní toky.

Tato práce se zabývá RO před čtyřmi usazovacími nádržemi na ČOV. V tomto RO je průtok akumulovaný v nádrži, kde za pomoci dělicích prvků dochází k jeho rovnoměrnému rozdělení do usazovacích nádrží (UN1 – UN4).

Následující kapitola byla sestavena na základě studia řady pramenů a podkladů [2], [3] a [4].

1.1 PARAMETRY PRO NAVRHOVÁNÍ ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU

Tvar a velikost RO se určuje podle různých parametrů, které se určují hlavně podle typu vodního díla. Na to následně navazují další parametry, kterými jsou velikost návrhového průtoku, směr nátoky a způsob zklidnění proudu na přítoku. Všechny tyto požadavky a parametry na sebe vzájemně navazují.

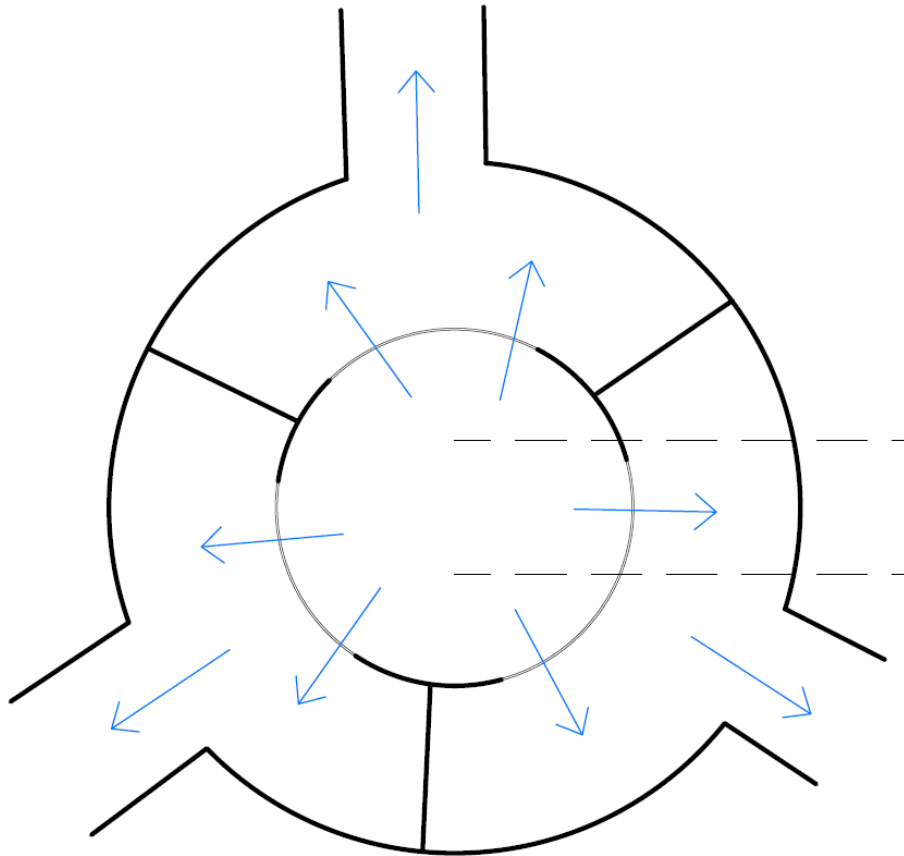
1.1.1 Návrh RO dle typu vodního díla

RO jako rozdělovací nádrž

RO jako rozdělovací nádrž má akumulací prostor, kde se voda zdržuje a následně je vytlačována do odtokového potrubí. V nádrži dochází k uklidnění proudění a zdržení průtoku před odtokem na další technologickou linku.

Tvar nádrže se navrhuje primárně podle umístění návodního potrubí. Mezi navrhované tvary nádrže patří trychtýřový, hranatý, kulatý nebo kombinovaný.

Tento druh RO se navrhuje na ČOV.

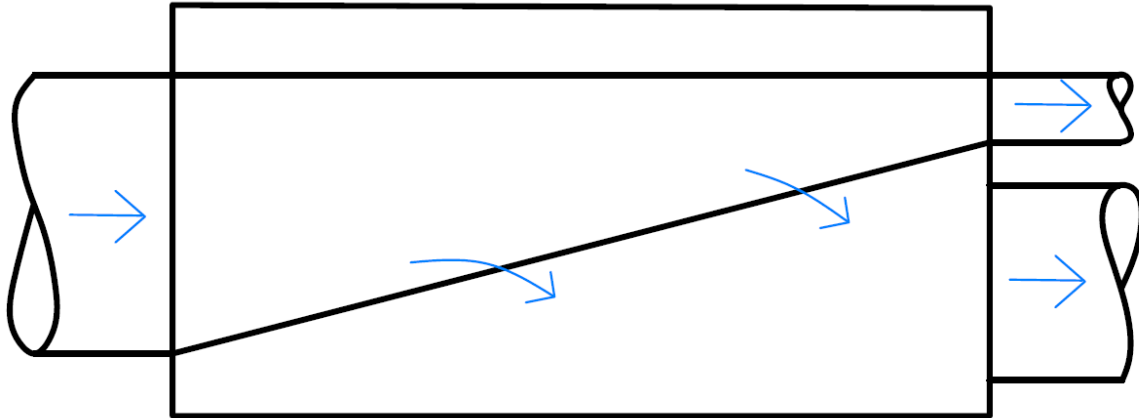


Obr. 1 Kruhová/radiální rozdělovací nádrž [2]

Speciální RO

Mezi RO nepatří jen rozdělovací nádrže, ale i rozdělovací potrubí nebo žlaby. Průtok v těchto RO je rozdělován pomocí přelivné hrany nebo návodních pilířů.

V trubním RO je pro rozdělení využívána přelivná hrana. Princip rozdělování průtoku v tomto objektu závisí na zúžení jednoho z odváděcích potrubí, které je od druhého odděleno stěnou s přelivnou hranou. Dochází tak k akumulaci vody před zúžením potrubí a ke zvyšování hladiny, která při dosažení úrovně přelivné hrany přepadá do druhého odváděcího potrubí (Obr. 2).



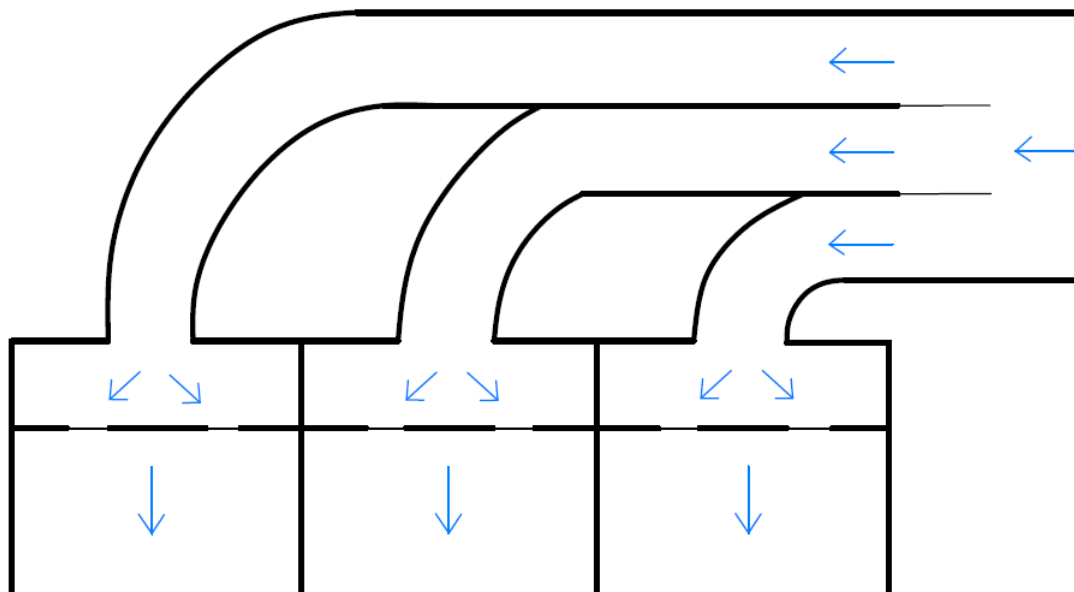
Obr. 2 Rozdělovací (objekt) potrubí – přelivná hrana [5]

Ve žlabovém RO je průtok rozdělován pomocí návodních pilířů, které mají určitý tvar. (Obr. 3) Žlabový RO funguje na principu hlavního přívodního žlabu, který se za pomoci pilířů dělí na dílčí žlaby.

Tyto RO se navrhují na liniových stavbách jako stokové sítě nebo vodní toky, ale také se mohou navrhovat při dělení průtoku v areálech ČOV.



Obr. 3 ČOV Moravská Třebová – žlabový RO s návodními pilíři [6]



Obr. 4 Kombinovaný RO s návodními pilíři i přelivnými hranami [2]

1.1.2 Ostatní parametry

Tato práce se zabývá RO na ČOV, tudíž prezentace dalších informací je zaměřena na parametry tohoto typu.

Velikost návrhového průtoku

Velikost návrhového průtoku se stanovuje podle umístění objektu. V případě umístění RO na ČOV se objekt dimenzuje na maximální denní průtok. Podle návrhového průtoku se určuje velikost přívodního potrubí, druh nátoku, velikost a tvar RO.

Směr nátoku

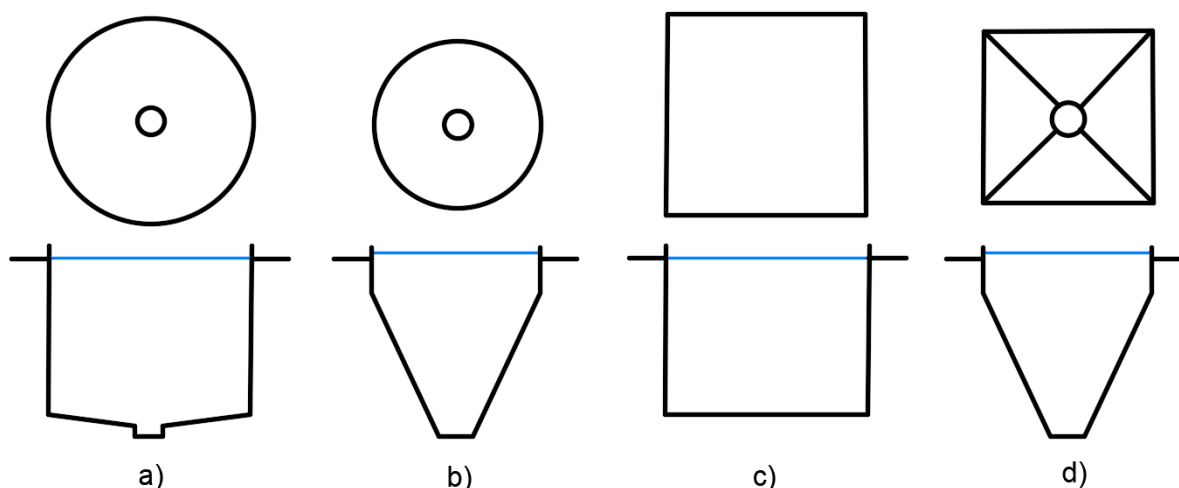
Nátok na RO bývá horizontální, vertikální ze spodu a vertikální ze shora. Nejčastěji se navrhuje horizontální. Podle druhu nátoku a jeho výškového umístění se navrhuje následně tvar RO.

Způsob zklidnění přítoku

Při vyústění průtoku do nádrže dochází k nežádoucím jevům, jako je nehomogenní proudění či deformace hladiny. Těmto jevům se zabraňuje pomocí vtokového objektu (prostoru) nebo uklidňovacími (tlumícími) prvky.

Tvar a velikost RO

Tvar a velikost RO jsou definovány v závislosti na výše uvedených informacích. RO se nejčastěji navrhuje z pohledu svisle vedené roviny v uspořádání válcovém nebo divergentním/trychtýřovitém. Z půdorysného hlediska mohou být RO kruhového nebo hranatého typu.



Obr. 5 Tvary nádrží a) kruhová/válcová b) radiální/trychtýřová c) pravoúhlá d) kombinovaná [8,2]

1.2 STAVEBNĚ-KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ROZDĚLOVACÍHO OBJEKTU

RO se dle použité dispozice může skládat z přívodního potrubí, vtokového objektu/uklidňovacího prvku, akumulčního prostoru, dělicího prvku, odtokového objektu a odtokového potrubí.

1.2.1 Přívodní potrubí

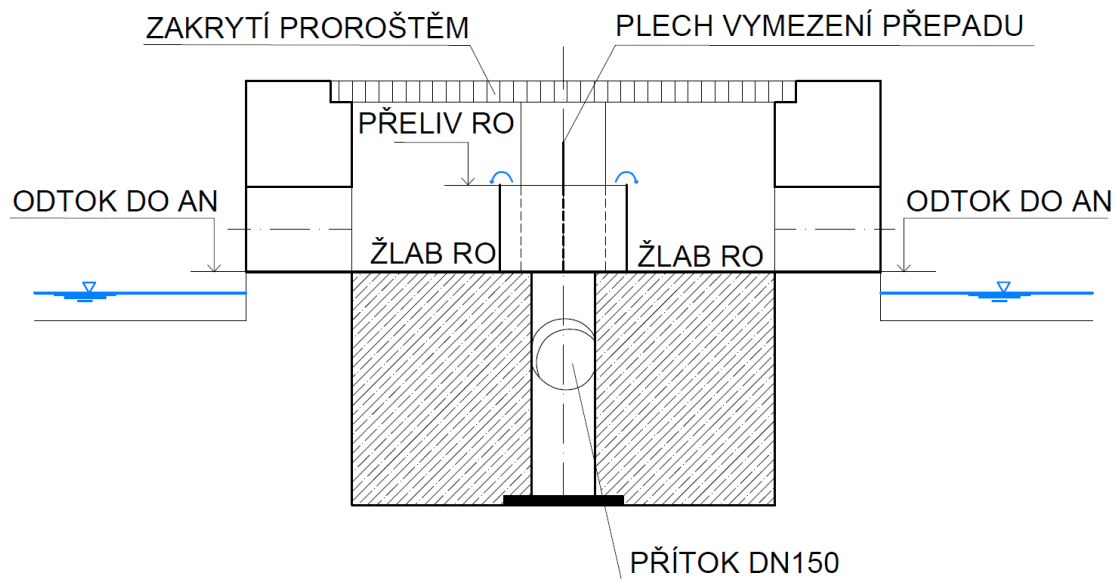
Do RO vede z vtokové jímky přívodní potrubí. To bývá do RO zaústěno více způsoby – podle požadovaného směru průtoku (horizontální x vertikální) a podle umístění vtokového objektu (středový x boční).

Horizontální zaústění

Horizontálním zaústěním je rozuměno zaústění z boku. Toto zaústění do RO je nejběžnější, liší se pouze umístěním. Přívodní potrubí se umísťuje blíže ke dnu, tudíž voda vtéká do

zatopeného akumulčního prostoru nebo blíže k hornímu okraji nádrže, kdy voda přepadá z potrubí na hladinu vody v nádrži.

Pokud je přívodní potrubí umístěno u dna, voda je díky přibývajícimu množství vytlačována vzhůru a následně odtéká do odtokového objektu nebo přímo do odtokového potrubí. (obr. 9) K rozdělení průtoku dochází pomocí dělicích prvků, které jsou umístěny buď v akumulčním prostoru nebo při nátoku do odtokového objektu.



Obr. 6 Horizontální zaústění přívodního potrubí blíže ke dnu [6]

V druhém případě, kdy je přívodní potrubí umístěno blíže k hornímu okraji nádrže, voda z potrubí přepadá a proudí vertikálním směrem dolů. Ve spodní části RO dochází k uklidnění proudu. V tomto případě bývá akumulční prostor rozdělený nornou stěnou, která dělí akumulční prostor na vtokovou a odtokovou část. Zde norná stěna plní i funkci dělicího prvku.

Vertikální zaústění seshora

Přívodní potrubí při vertikálním zaústění seshora je umístěováno do středu nádrže a je ponořeno pod hladinu, aby odpadní voda nebyla rozstříkována do okolí.

Toto zaústění se většinou nevyužívá. Je to z důvodu existence stavby nosných konstrukcí pro přívodní potrubí nad nádrží a potřeba výkonnějších čerpadel pro výtlak. Oba tyto prvky jsou finančně nákladné a nosné konstrukce jsou materiálově a staticky náročné.

Vertikální zaústění zespoda

U RO se také volí varianta vertikálního zaústění přívodního potrubí zespoda, proudění je následně zklidněno v nádrži a rozdělení průtoku je realizováno pomocí dělicích prvků. Přívodní potrubí bývá do nádrže zaústěno zpravidla 90° kolenem.

Při zaústění přívodního potrubí 90° kolenem vzniká rotační příčný pohyb, který způsobuje nejen deformaci hladiny, ale i nerovnoměrné rozdělování průtoku v RO. Příčný rotační nebo-li spirálový pohyb je zapříčiněn rozdělením rychlostí v kolenu. Za normálního rozdělení rychlostí je největší rychlost v ose potrubí, v kolenu však vznikají změnou směru odstředivé síly. [5] Částice „nesené“ jednotlivými proudnicemi se pohybují ze středu k vnější stěně a naopak částice od vnějších stěn putují ke středu, tím se vytvoří dvojitý rotační příčný pohyb. Spirálový pohyb částic za kolenem postupně slábne. Tento popis se týká především kolene ležícího vodorovně, vytváří však dostatečnou představu o deformaci rychlostního pole i ve vertikálně situovaném kolenu.

1.2.2 Vtokový prostor

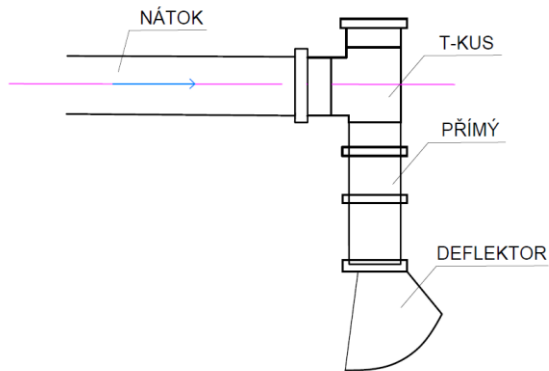
Vtokový prostor nemusí být vždy součástí RO. Do tohoto prostoru je vyústěno přívodní potrubí, kde by mělo docházet k uklidnění přitékající vody a dosažení homogenity proudění v nádrži. Vtokový prostor může plnit i funkci uklidňovacího prostoru nebo zde může být umístěn tlumicí prvek.

Vtokový prostor bývá tvořen zpravidla uklidňovacím válcem (Obr. 8), v kterém dochází k uklidnění přitékající vody a následnému odtoku do rozdělovacího nebo do odtokového prostoru. Vtokový prostor může být i pravoúhlý a shora uzavřený, proud se zde uklidňuje kontaktem se stropem a následně odtéká do dalšího prostoru.

RO bez vtokového prostoru plnící uklidňovací funkci nemá možnost zabránit všem nežádoucím účinkům přitékající vody do nádrže. Pro tyto objekty existují tlumicí prvky, které nahrazují uklidňovací prostor. Tyto prvky se umísťují na konec přívodního potrubí nebo v místě jeho zaústění do RO.

Jedním z těchto prvků může být trubní sestava na konci přívodního potrubí (Obr. 7). Tlumicí prvky se používají u nádrží při zaústění přívodního potrubí vertikálně zespoda a umísťují se nad místo přítoku vody. Mohou být různých tvarů a velikostí např. kruhové,

půlkruhové nebo kombinované navržené tak, jak jsou prezentovány v praktické části předložené diplomové práce.



Obr. 7 Sestava na konci přívodního potrubí při nátoku do RO

Při nedostatku prostoru dochází k uklidnění proudu před vtokovým prostorem tzv. trubními labyrinty, které uklidňují proud před nátokem na objekt. Tato varianta se často používá v měrných tratích laboratorních okruhů.

1.2.3 Rozdělovací prostor

Rozdělovací prostor tvoří nádrž, kde se akumuluje voda a pomocí dělicích prvků je rozdělována do odtokového prostoru. Tyto prvky, které mají za úkol rovnoměrně rozdělit průtok na potřebný počet částí, se nachází mezi vtokovým a odtokovým prostorem a plní nejdůležitější rozdělovací funkci RO.

Mezi dělicí prvky patří nejčastěji norné stěny nebo pilířky. Norná stěna se navrhuje do RO s vertikálním prouděním vody. Pilířky se navrhují za přelivnou hranou ve spadišti, kde dochází při přepadu k rovnoměrnému rozdělení průtoku. Pilířky se můžou používat samostatně nebo v kombinaci s nornou stěnou. Pokud jsou používány samostatně, voda proudí zpravidla vertikálně zespoda.

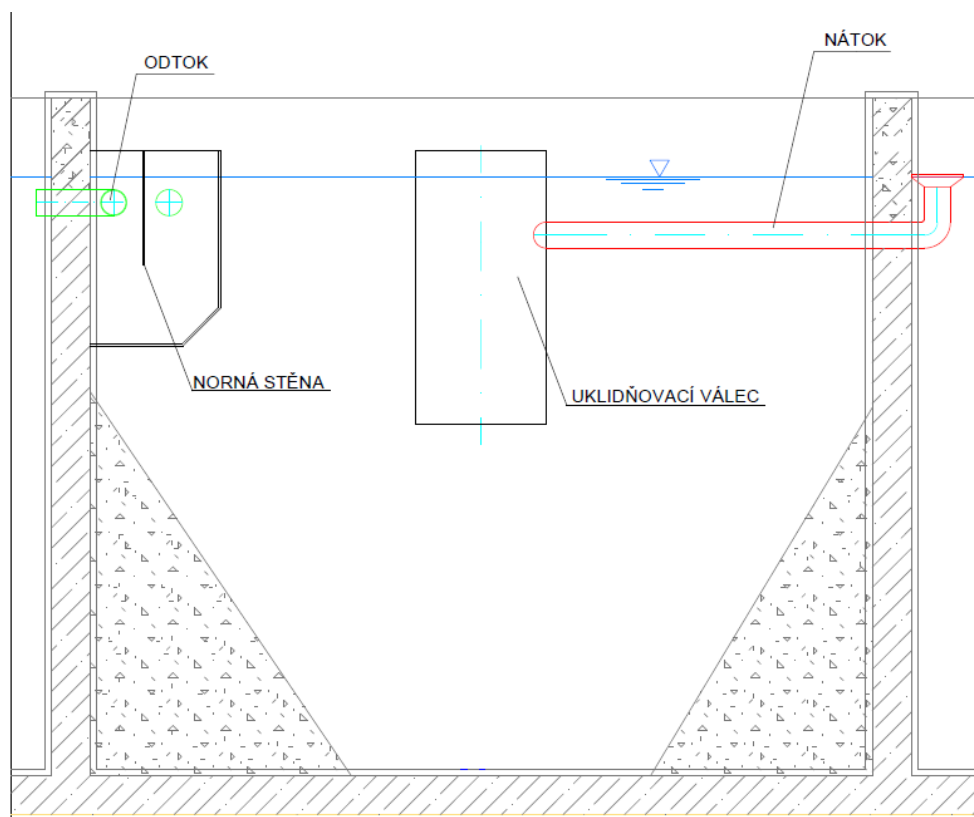
1.2.4 Odtokový prostor

Odtokový prostor má za úkol odvádět rozdělený průtok do odtokového potrubí. Tento prostor může být spadiště, do kterého voda přepadá přes přelivnou hranu.

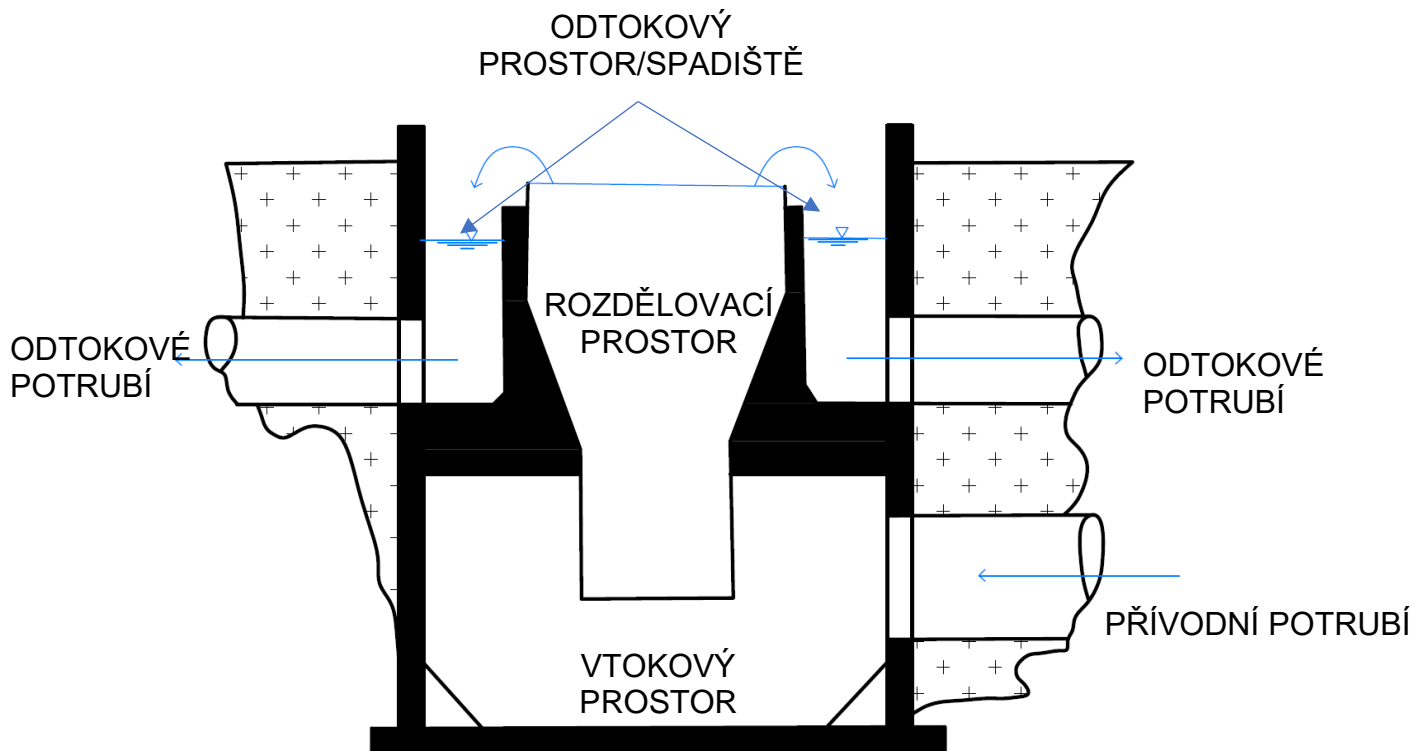
Z odtokového prostoru je voda odváděna odtokovým potrubím do dalších objektů. Odtokový prostor a odtokové potrubí mohou dělit stavidla potřebná pro uzavření průtoku do poproudě situovaných dalších objektů.

1.2.5 Zjednodušené uspořádání RO

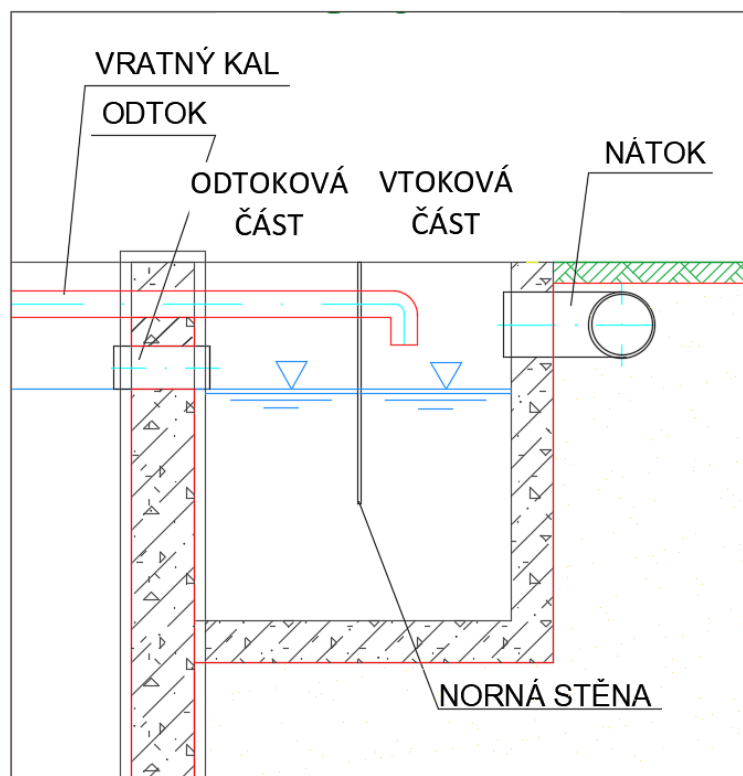
Zjednodušeným uspořádáním RO se rozumí, že jeden prostor plní současně více funkcí. RO je rozdělený normými stěnami na vtokovou a odtokovou část, kdy v odtokové části dochází k uklidnění i rozdělení průtoku pomocí kombinací normých stěn ve smyslu Obr. 10.



Obr. 8 Návrh ČOV ASIO spol., dosazovací nádrž, směr nátoku horizontální, vtokový objekt uklidňovací válec [7]



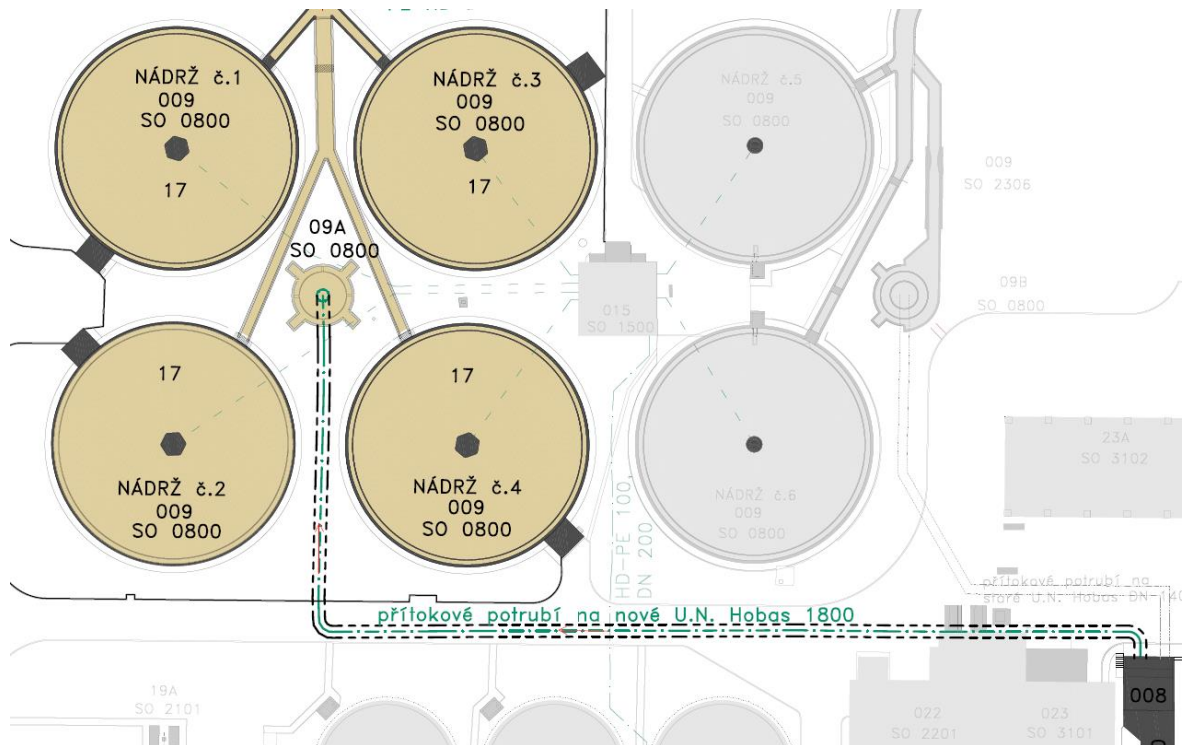
Obr. 9 RO, odtokový objekt – přelivná hrana + spadiště [2]



Obr. 10 Návrh ČOV ASCIO spol., odtoková část, rozdělení pomocí norné stěny [7]

2 STÁVAJÍCÍ ROZDĚLOVACÍ OBJEKT A POŽADAVKY NA ZLEPŠENÍ JEHO FUNKCE

Před RO se nachází vtoková jímka, která odvádí vodu od výtlaku ze šnekových čerpadel. Z vtokové jímky voda proudí přívodním potrubím do RO. Přívodní potrubí je ze sklolaminátu o délce 173,00 m a světlosti 1,80 m a v půdorysu dvakrát zalomené o 90°. Proudění v potrubí je díky jeho výškovému uspořádání za jakéhokoliv průtoku tlakové.



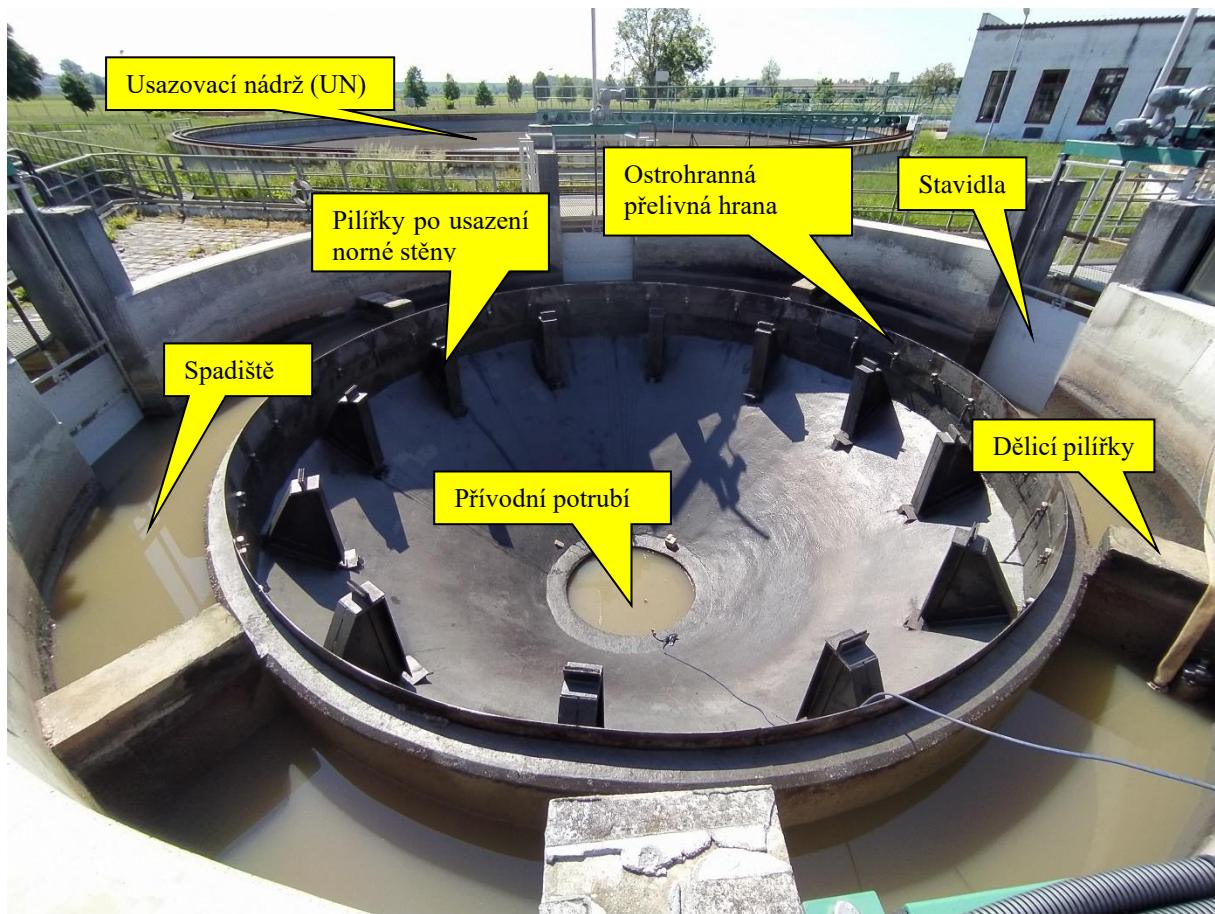
Obr. 11 Situace RO v místě ČOV Brno-Modřice [1]

Do RO je přívodní potrubí zaústěno vertikálně zespoda za pomoci 90° kolene o světlosti 1,62 m, před kolenem je umístěná redukce 1,80/1,62. Voda vytékající z přívodního potrubí, vtéká do zatopeného akumulčního prostoru RO. Úroveň vyústění přívodního potrubí se nachází na kótě 188,53 m n. m.

Stávající RO tvoří akumulční prostor, norná stěna, odtokový objekt (spadiště) a dělicí prvky.

Akumulční prostor tvoří betonová nádrž, která je rotačně symetrická podle vertikální osy a ve svislém rovinném řezu má divergentní tvar. Dno nádrže má průměr 2,00 m a rozšiřuje se ve sklonu cca 43° až na celkový průměr 7,00 m. Celková konstrukční výška nádrže činí 2,25 m. Na horní okraj nádrže navazuje kruhový betonový prstenec o výšce 0,73 m, který tvoří

přelivnou hranu v úrovni 191,51 m n. m. Na tuto betonovou přelivnou hranu je nainstalovaná přesně výškově nastavitelná přelivná hrana z ocelového plechu v nadmořské výšce 191,65 m n. m.

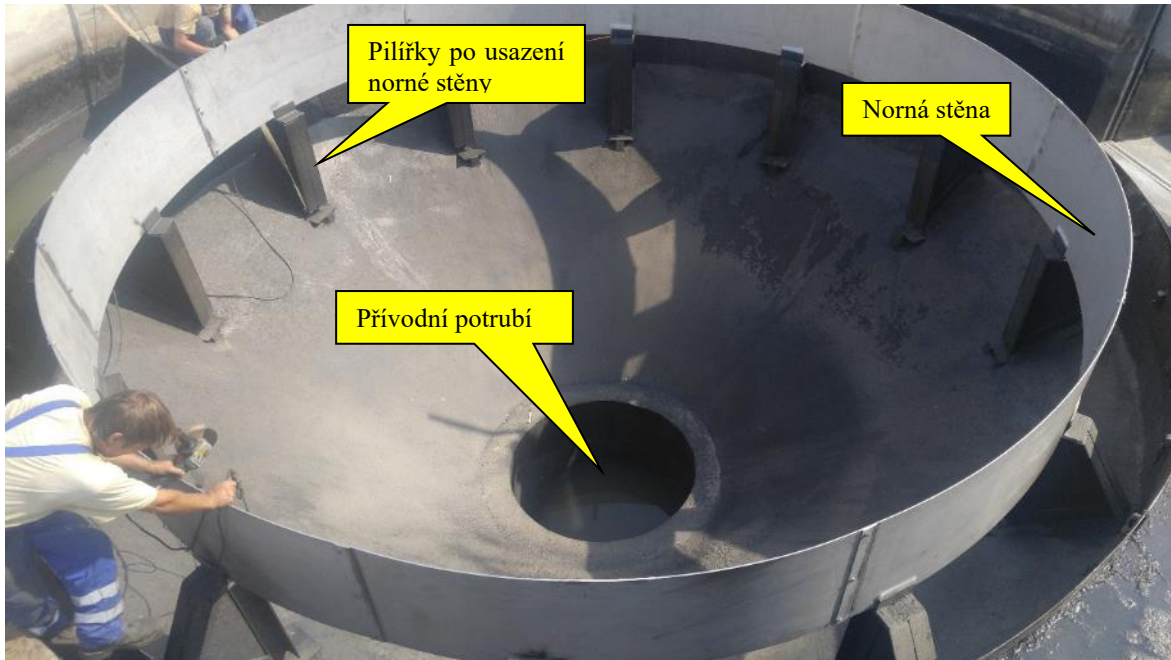


Obr. 12 Pohled do prostoru RO během instalace tlumícího prvku již s demontovanou nornou stěnou

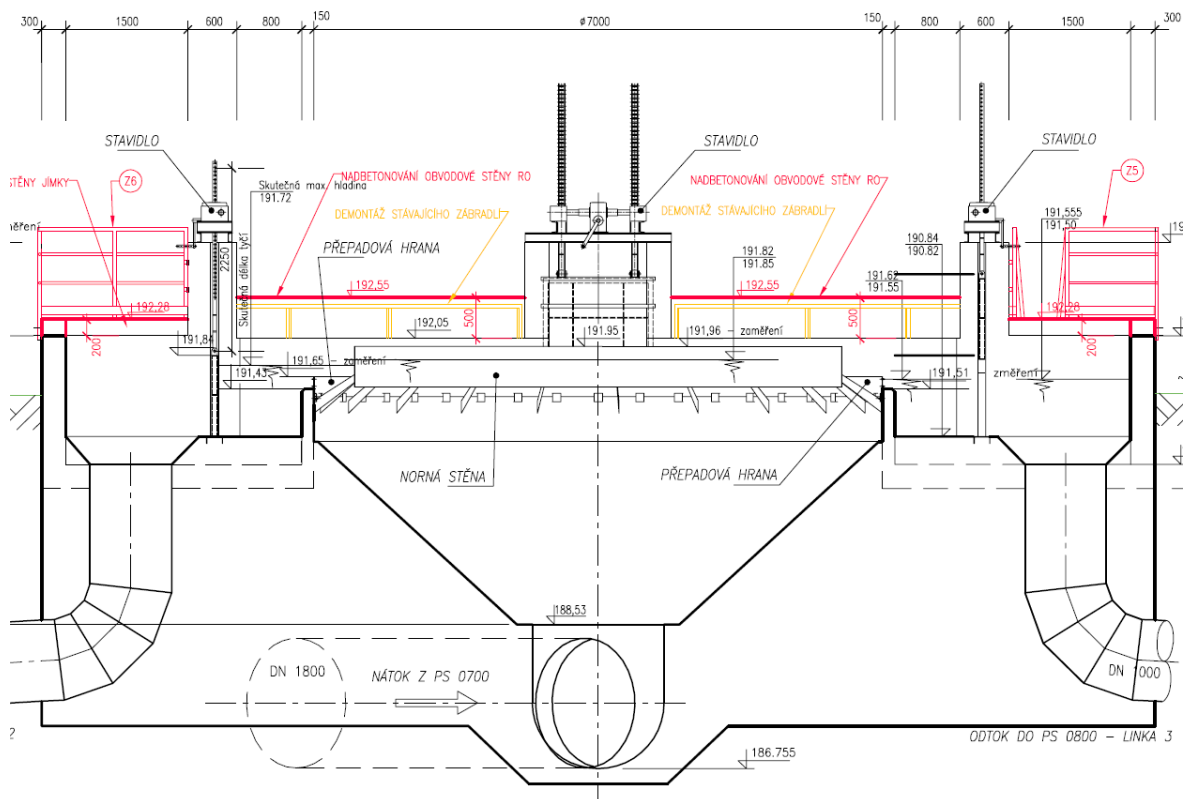
V akumulčním prostoru po obvodu betonového prstence před přelivnou hranou se nachází norná stěna z ocelového plechu o konstrukční výšce 0,54 m. (Obr. 13) Její dolní hrana je na kótě 191,53 m n. m. Norná stěna je nainstalovaná na nosné konstrukci a slouží k uklidnění hladinových poměrů a rovnoměrnému rozdělení průtoku.

Do odtokového objektu přepadá voda přes přelivnou hranu. Odtokový objekt tvoří kruhové spadiště, které se nachází po celém obvodu nádrže, a čtyři odtokové jímky. Dno spadiště se nachází v úrovni 190,84 m n. m. Spadiště je rozděleno čtyřmi shodnými pilíři (P + číslice UN zprava + číslice UN zleva od půdorysného středu RO), které rovnoměrně rozdělují vodu do čtyř usazovacích nádrží (UN1 – UN4) s tím, že jejich horní úroveň leží na kótě 191,75 m n. m. Každá odtoková jímka je oddělena stavidlem, které hradí pravoúhlý otvor. Odtokové jímky i stavidla jsou rozměrově a tvarově shodná. Z každé odtokové jímky je voda

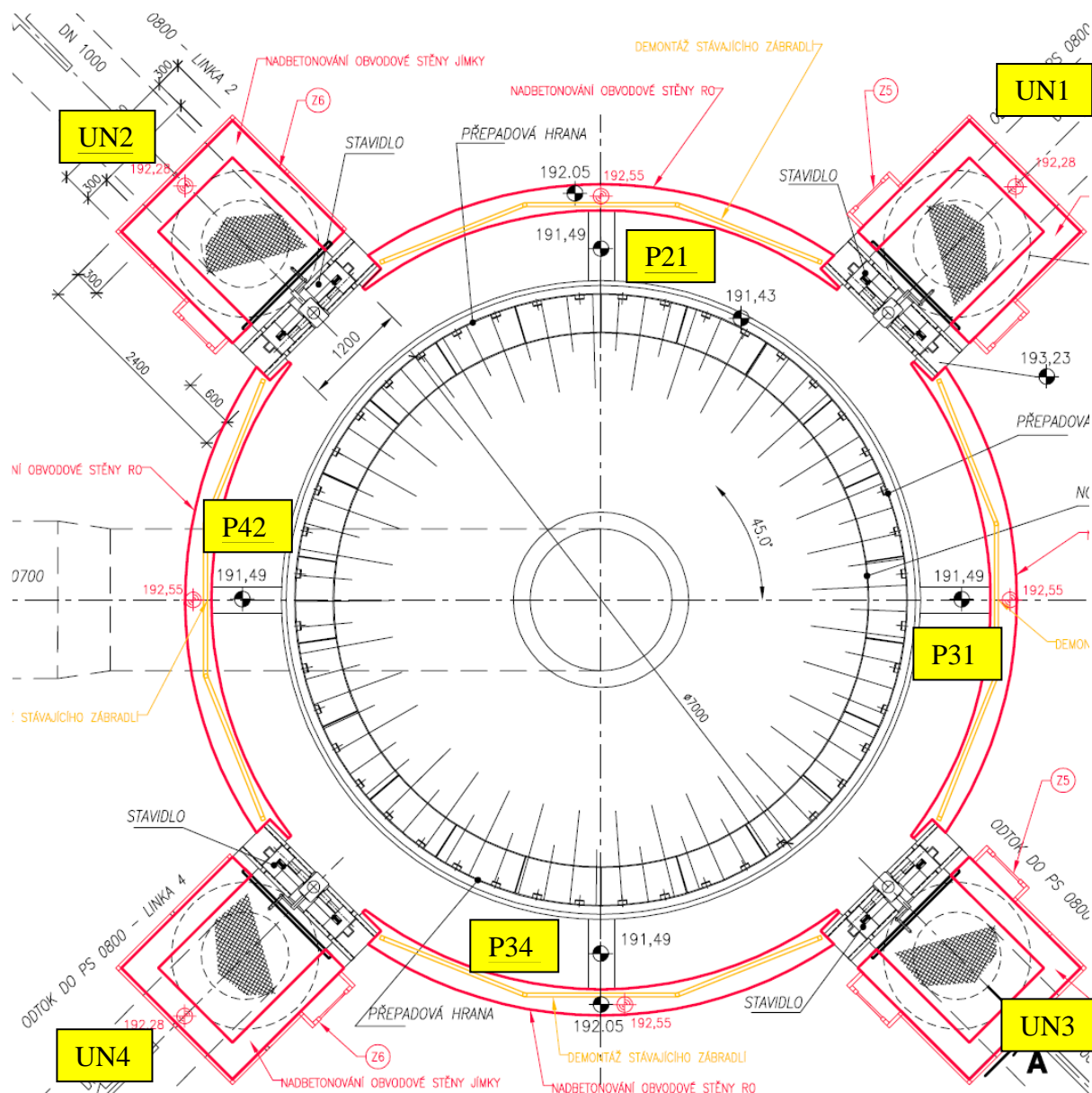
odváděna odtokovým potrubím o vnitřním průměru 1,00 m na příslušné UN1 – UN4. Odtokové potrubí je orientováno svisle. Všechna čtyři odtoková potrubí jsou tvarově a rozměrově shodná a vyústěná do UN1 – UN4 v identických úrovních. Realizující se zpětné ovlivnění hladiny od všech čtyř UN v prostoru spadiště RO je tak shodné.



Obr. 13 Montáž normé stěny



Obr. 14 Řez RO [1]



Obr. 15 Půdorys RO [1]

2.1 POŽADAVKY NA ZLEPŠENÍ FUNKCE

Funkce RO se odvíjí od parametrů, které se určují na začátku jako vstupní data pro projektování RO. Hlavním parametrem je maximální denní průtok. Za běžného provozního režimu natéká na RO denní maximum dosahující hodnoty okolo $1,30 \text{ m}^3/\text{s}$. [1] Velikost průtoku je však ovlivňována i přírodními událostmi (dešťové srážky či tání sněhu) (Obr. 16). Při těchto událostech se využívá maximální technologická kapacita ČOV a průtok dosahuje hodnoty okolo $3,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Provozovatel udává maximální možnou (spíše teoretickou) hodnotu $4,00 \text{ m}^3/\text{s}$, kterou lze v prostoru RO dosáhnout.

Na Obr. 16 lze pozorovat, že při zvýšených průtocích dochází k deformaci hladinových poměrů, tudíž je pravděpodobné, že RO neplní správně svoji hlavní funkci, tedy stejnoměrné rozdělování průtoku do UN1 – UN4.

Nerovnoměrné rozdělování průtoku může být, a naším výzkumem to bylo prokázáno, ovlivněno způsobem zaústění přívodního potrubí. To je zaústěno do RO vertikálně zespoda pomocí 90° kolene. Tento způsob zaústění způsobuje primární vytékání odpadní vody k jedné straně RO a to mezi UN1 a UN3. Zjednodušeně řečeno vytékající odpadní voda pokračuje ve směru přívodního potrubí. (Obr. 16)

Byly tak stanoveny hlavní požadavky na úpravu v prostoru RO, kterými je zmírnění nebo úplné odstranění deformace hladiny a zajištění rovnoměrného rozdělování průtoku na UN1 – UN4 v rozsahu průtoku (1,30 – 4,00) m³/s. A to ve dvou variantách, kdy opatření bude fungovat se stávající nornou stěnou nebo i bez ní.



Obr. 16 Proudové poměry v prostoru RO při průtoku cca 3,00 m³/s při odtoku na UN

3 MOTIVACE PRÁCE

Provozovatel a majitel ČOV společnost Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., požádal v červnu roku 2020 Laboratoř vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty stavební Vysoké učení technické v Brně o odstranění výše popsaných negativních jevů.[3]

Motivací pro tuto práci bylo odstranění hladinových deformací na RO, které jsou způsobeny nehomogenním prouděním. K nehomogennímu proudění vody v nádrži dochází kvůli nesymetrickému spodnímu nátoku odpadních vod. Nehomogenní proudění současně způsobuje nestejně rozdělování průtoku do UN a výrazně namáhá stávající nornou stěnu.

Při porovnání výše popsaného stavebně-konstrukčního řešení lze jednoznačně říci, že ve stávajícím RO chybí úprava na vtoku do objektu za pomoci tlumicího prvku. Vtokový objekt nebo tlumící prvek byl u tohoto RO nahrazen velikostí akumulacího prostoru, což postačovalo při nízkém průtoku. Při zvyšování kapacity ČOV se předešlo nežádoucím jevům instalací mohutné norné stěny. Za dešťových průtoků, které se mohou dostávat i k $3,50 \text{ m}^3/\text{s}$, však její funkce začala být nedostačující.

Na základě jasně stanovených požadavků tak bylo dohodnuto, že pro průtoky ($1,30 - 4,00 \text{ m}^3/\text{s}$) se proudění v RO posoudí na hydraulickém fyzikálním modelu v Laboratoři vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty Stavební Vysokého učení technického v Brně (LVV).

Cílem těchto experimentálních zkoušek bylo najít takové řešení, které zajistí správné fungování RO. Bylo rozhodnuto, že pro správné fungování bude vhodné na RO nainstalovat tlumící prvek v místě zaústění přívodního potrubí, při kterém by na RO docházelo ke stejnoměrnému rozdělování průtoku do čtyř UN a výraznému nebo úplnému zklidnění hladiny v rozsahu jmenovitých průtoků. Při výběru tlumicího prvku bylo provozovatelem požadováno, aby zajistil správnou funkci i v kombinaci se stávající nornou stěnou případně i bez ní. Další podmínkou pro výběr správného tlumicího prvku bylo, aby nezvýšil vzduť ve vtokové jínce před vtokem do přívodního potrubí, tj. nezpůsobil zvýšení ztrát mechanické energie instalací tlumicího prvku.

4 LABORATORNÍ VÝZKUM

4.1 FYZIKÁLNÍ MODEL

Fyzikální model zjednodušuje reálný objekt na základě fyzikálních a geometrických vlastností. Fyzikální model je definován počátečními a okrajovými podmínkami, materiálovými vlastnostmi a tvarovou funkcí.

Základem teorie fyzikálního modelování hydrodynamických jevů na hydraulických modelech jsou zákony mechanické podobnosti. [9] Zákony mechanické podobnosti jsou vyjádřené mezními podmínkami. V našem případě se jedná o mezní podmínky mechanické podobnosti pozorovaných jevů v úzké vazbě na prostorové a kapacitní (průtokové) možnosti laboratorního okruhu.

4.1.1 Hydraulický model

Hydraulický model je zmenšenina vodohospodářské stavby. Může to být zmenšenina celého díla nebo jenom jeho části. Zmenšeninou se rozumí vybudování skutečného objektu ve zmenšeném měřítku dle zákona mechanické podobnosti proudění.

V námi realizovaném výzkumu se pracovalo s hydraulickým modelem, který byl vybudován na základě Froudova zákona modelové podobnosti.

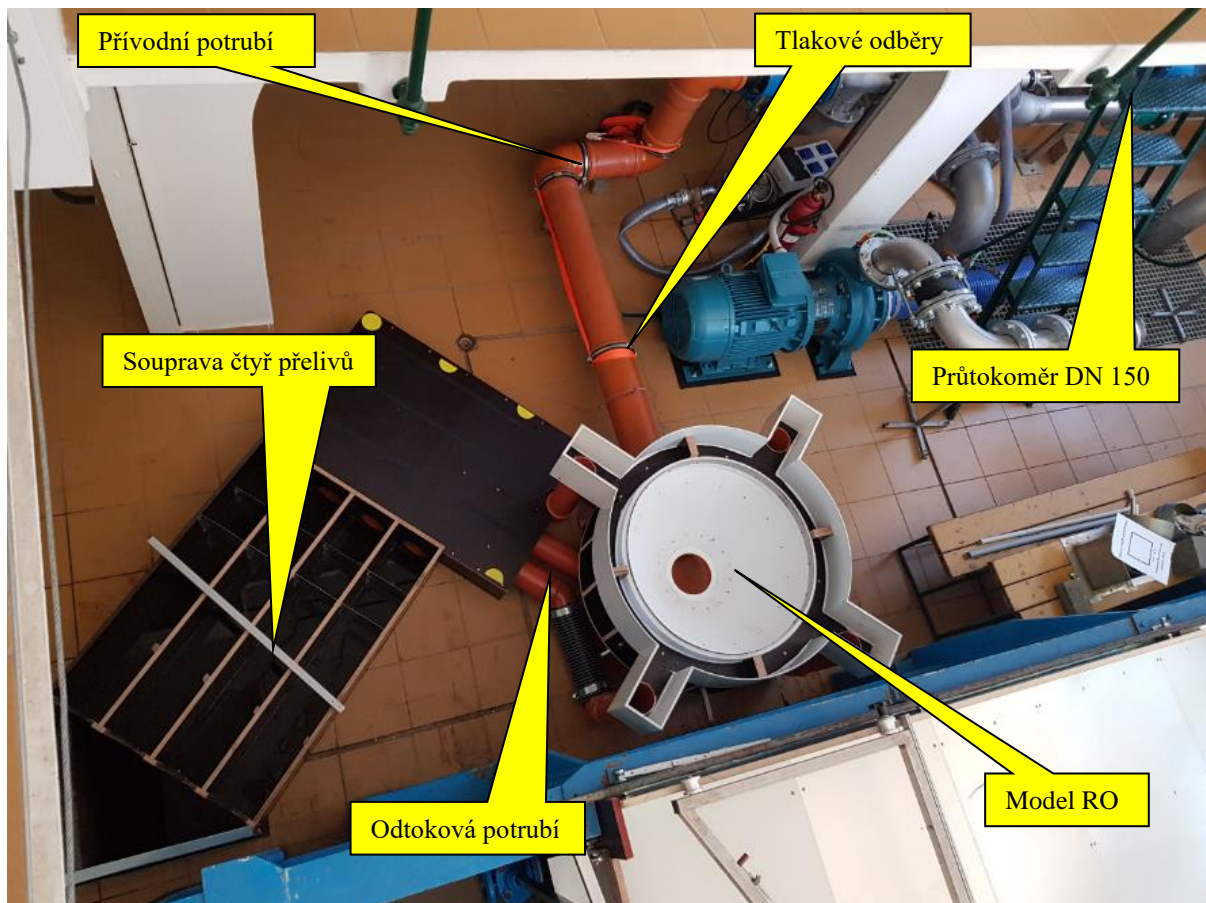
4.1.2 Parametry a zařízení fyzikálního modelu

Jako fyzikální model pro tento experiment byl zvolený objektový trojrozměrný model s napojením na uzavřený koloběh vody. Hydraulický okruh laboratoře je vybavený vlastní zásobnou vodou, čerpací stanicí (ČS) a příslušným počtem hydraulických měrných tratí.

Hydraulický okruh má velkou podzemní zásobní nádrž s ponornými čerpadly. Ponorná čerpadla dopravují vodu do nerezového rozvodného potrubí k jednotlivým měrným tratím. Průtok je řízen a regulován automaticky. Na výtakovém potrubí je nainstalovaný indukční průtokoměr, který stanovuje okamžitý průtok vody natékající na model. [1]

Na výtlačnou přírubu DN 200 čerpací stanice je napojené přívodní potrubí, které přivádí vodu na fyzikální model. Ve spoji mezi výtlačkem a přívodním potrubím je umístěno uzavírací šoupě. Přívodní potrubí a tvarovkový systém je z materiálu PVC KG DN 200. Na toto přívodní

potrubí byl pomocí 90° kolene napojený fyzikální model RO. Napojení přívodního potrubí na model je stejné jako ve skutečnosti. Z modelu RO byly realizovány čtyři odtoky simulující odtokové jímky na UN1 – UN4. Tyto odtoky byly následně zaústěny do speciálně vyhotovené sestavy čtyř měrných přelivů se samostatnými přítokovými kanály.[1] Měrné přelivy mají trojúhelníkový výřez s vrcholovým úhlem 30° a byly využívány pro stanovení jednotlivých průtoků odtékajících z modelu na UN1 – UN4. Měrné přelivy byly umístěny nad podlahovým otvorem, který odvádí vodu zpět do akumulární nádrže laboratoře. (Obr. 17, Obr. 20)



Obr. 17 Celkový pohled na uspořádání modelu v prostoru laboratoře

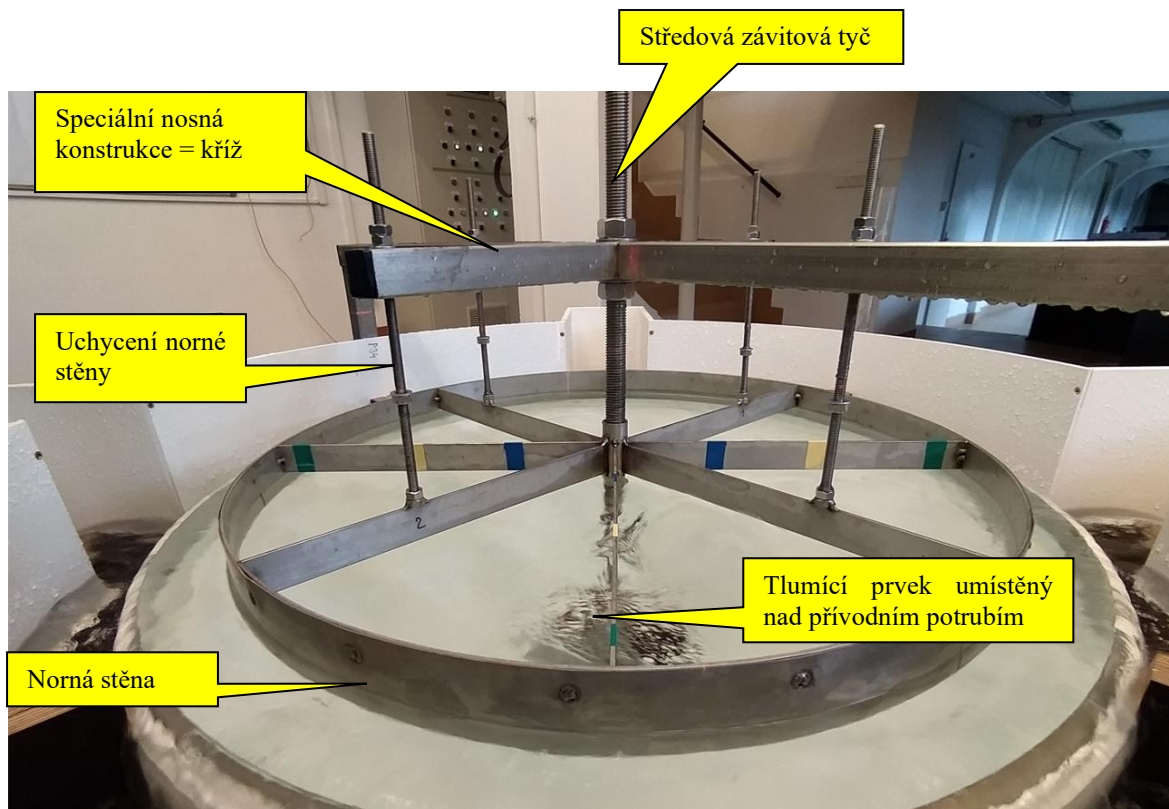
Hydraulický model byl vyhotovený v měřítku 1:8,53 ($M = 8,53$). Primární volbou tohoto měřítka byl poměr vnitřního průměru přívodního potrubí ve skutečnosti 1,62 m k možnému vyráběnému vnitřnímu průměru PVC potrubí 0,19 m. Dalšími aspekty byl rozsah experimentálních prací, mezní podmínky mechanické podobnosti pozorovaných jevů a prostorové a kapacitní (průtokové) možnosti laboratorního okruhu.[1] Všechny prvky na modelu jsou zmenšeny ve stejném měřítku a jsou zachovány jejich vlastnosti a geometrické podmínky jako na skutečném stávajícím RO.

Fyzikální model RO se skládá z přívodního potrubí, divergentní rotačně symetrické nádrže, přelivné hrany, dělicích pilířků, obvodového spadiště, čtyř odtoků do UN1 – UN4, norné stěny, speciální nosné konstrukce s upevňovací středovou závitovou tyčí pro instalaci tlumících prvků a čtyř shodných kanálů s měrnými přelivy s trojúhelníkovými výřezy. Konstrukční části jsou vyrobené z vodovzdorné překližky tloušťky 18,00 mm, z tvrzeného PVC jsou vyrobeny přesné tvary modelových konstrukcí v tloušťkách 5,00 mm, 8,00 mm a 10,00 mm. Přelivná hrana a norná stěna byly vyrobeny z nerezového plechu. Na odtokové potrubí bylo použito potrubí KG DN 125. K spojování jednotlivých prvků byly použity šroubové nebo lepené spoje a jako těsnění mezi jednotlivými prvky byl použit silikon a polyuretanový tmel s danými vlastnostmi a barvou. Přívodní potrubí i protiproudění úsek před měrnými přelivy byl dostatečně dlouhý, aby došlo k požadovanému uklidnění proudu.[1]

Tlumící prvky a norná stěna byly umístěny na speciální nosné konstrukci (nosném kříži), která tvoří kříž nad nádrží. (Obr. 18)

Norná stěna je uchycena na kříži pomocí dlouhých šroubů a matic. Matice byly trvale aretovány v jedné pozici tak, aby byla norná stěna umístěna vždy ve správné úrovni. Při měření bez norné stěny se celá konstrukce svisle vysunula vzhůru a pod matice byly vloženy distanční hliníkové vložky.

Tlumící prvek byl přišroubován na ocelové půlkruhové podložce, na kterou byla do středu rovné strany přivařena matice. Pomocí této podložky byl tlumící prvek uchycený na konec středové závitové tyče. Středová závitová tyč byla opatřena dvěma úchytnými maticemi, které zajišťovaly pozici umístění tlumícího prvku.



Obr. 18 Speciální nosná konstrukce

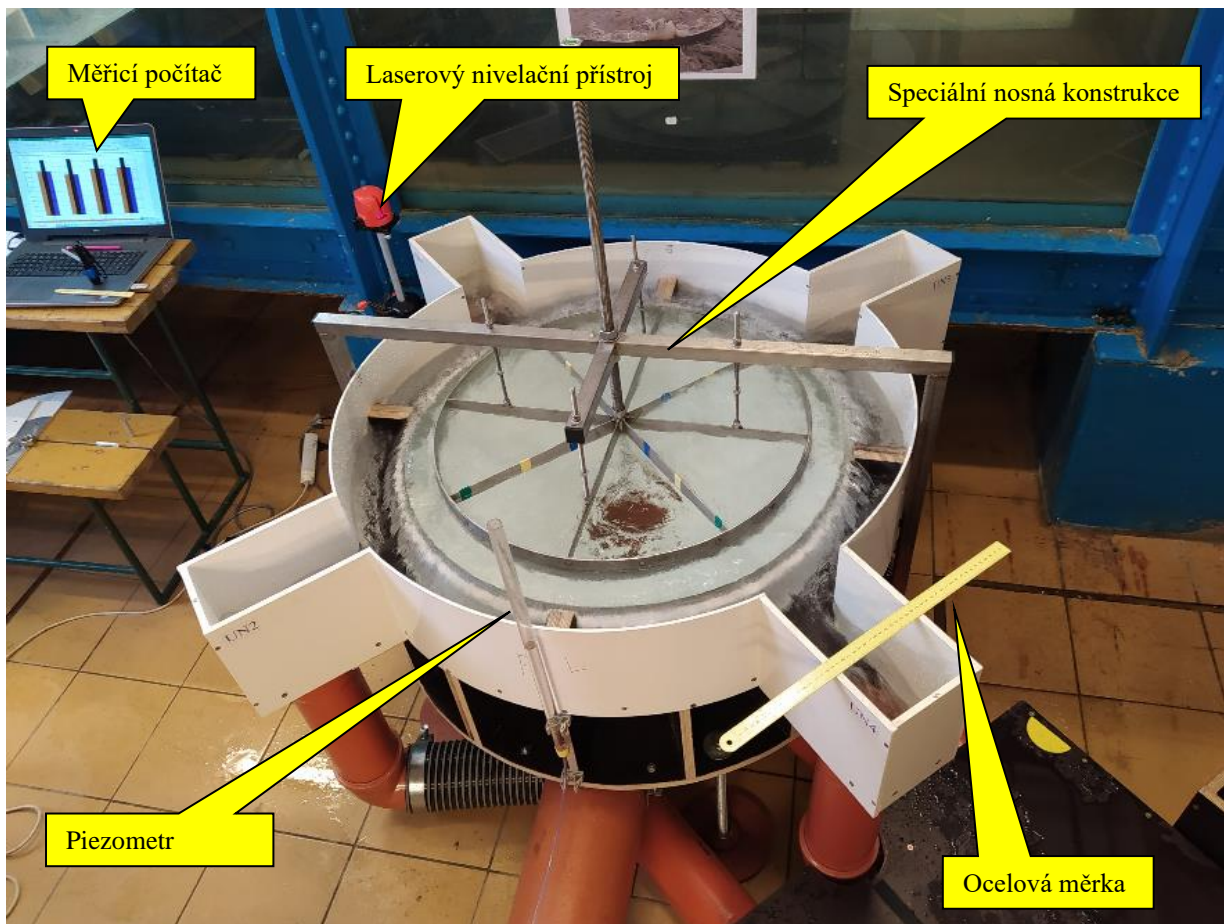
4.1.3 Měřicí technika

Primární měřicí zařízení, které se nachází na hydraulickém okruhu na začátku přívodního potrubí, je průtokoměr. Na hydraulickém okruhu, kde probíhal experiment, je nainstalovaný na výtokovém potrubí magneticko-indukční průtokoměr ELA-MQI Smart DN 150, který stanovuje okamžitý průtok vody natékající na model.

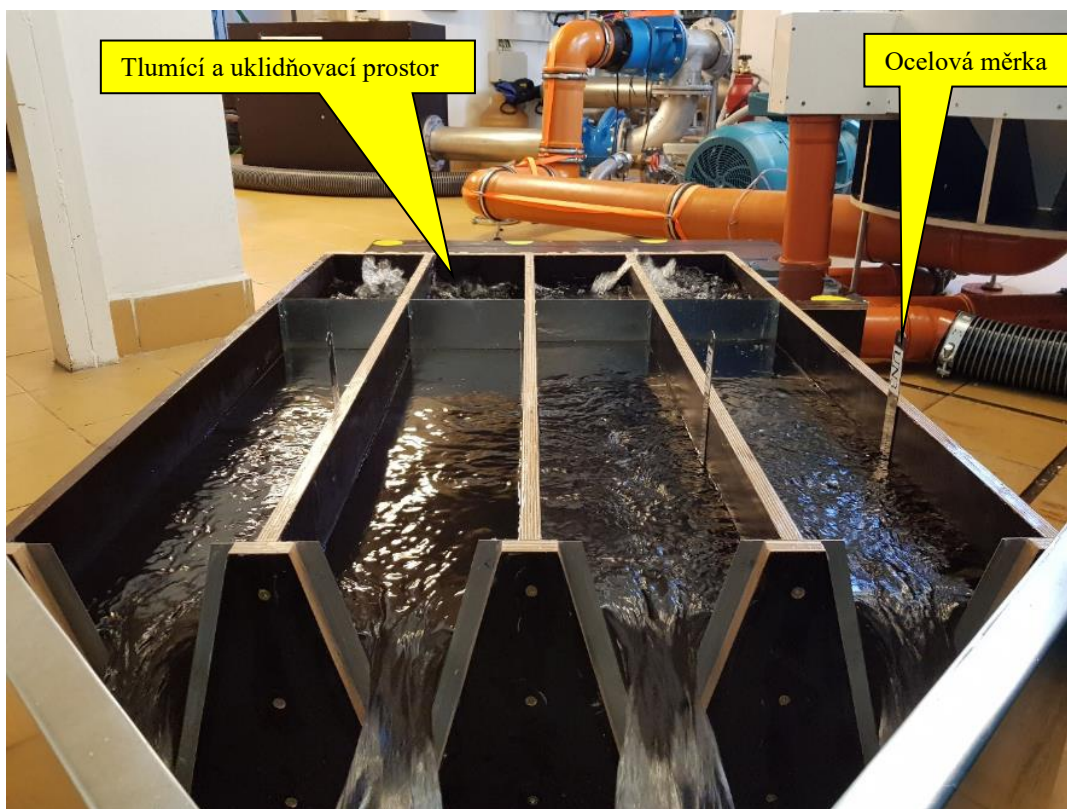
Další měřicí zařízení je piezometr sloužící k zaznamenávání případných změn v tlakových poměrech v prostoru přívodního potrubí. Na tomto modelu byl piezometr umístěný asi 0,85 m protiproudě před vyústěním potrubí do prostoru RO. V tomto místě byly nainstalovány tlakové odběry, jež byly trubičkami napojeny do plastové trubice (piezometru). Na piezometru byly odečítány změny hydrodynamického tlaku v přívodním potrubí. Ke změnám tlaku v tomto experimentu docházelo při instalaci tlumících prvků do prostoru RO.

Pro měření úrovně hladiny byl využit rotační laser a hrotová měřítka. Hrotovým měřítkem byly měřeny hladiny v 25 místech půdorysu RO. (Obr. 24)

Všechny informace z měření byly zaznamenávány do počítače a následně v něm vyhodnocovány. Během experimentálních prací byly pořizované fotografie a videosekvence.



Obr. 19 Pohled na RO, měřící a záznamovou techniku



Obr. 20 Protiproudění pohled na soupravu čtyř identických přelivů s trojúhelníkovými výřezy

4.2 PODOBNOST FYZIKÁLNÍHO MODELU

Vztahy mezi vlastnostmi určitého systému a vlastnostmi zmenšeného modelu tohoto systému jsou řízeny zákony mechanické podobnosti. Zkoumané jevy v hydrodynamice jsou popisovány třemi fyzikálními veličinami délka l , čas t a hmotnost m .

Mezi tyto zákony patří:

- obecné zákony mechanické podobnosti v hydrodynamice,
- Froudův zákon podobnosti,
- Reynoldsův zákon podobnosti.

V této práci bylo použito modelování podle Froudova zákona podobnosti. Tento zákon vyjadřuje podmínku dynamické podobnosti hydrodynamických jevů za výhradního působení gravitačních sil. [9] U modelování dle Froudova zákona musí být u kinematicky pohybových jevů všechny síly zanedbatelné oproti gravitační síle. Kinematicky pohybové jevy jsou i dynamické za podmínky, že ve vzájemně příslušných průřezech obou těchto jevů budou stejná Froudova kritéria:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l}, \quad (6)$$

kde v ... vztažná rychlost proudu [m/s],

g ... gravitační zrychlení [m²/s],

l ... charakteristický vztažný rozměr [m].

Hydraulický model byl vyhotovený v odvozeném měřítku a dle Froudova kritéria musí být jeho hodnota pro pozorovaný jev na modelu i díle shodná. Následující veličiny jsou přepočítávány dle rovnic:

$$l_s = l_m \cdot M, \quad (7)$$

$$v_s = v_m \cdot M^{0,5}, \quad (8)$$

$$Q_s = Q_m \cdot M^{2,5}, \quad (9)$$

kde *index s* ... skutečnost (dílo),

index m ... model,

l ... charakteristický vztažný rozměr [m],

v ... rychlost proudu [m/s],

Q ... průtok [m³/s].

Po dosazení odvozeného měřítka modelu $M = 8,53$ budou rovnice vypadat takto:

$$l_s = l_m \cdot 8,53, \quad (10)$$

$$v_s = v_m \cdot 8,53^{0,5} = v_m \cdot 2,92, \quad (11)$$

$$Q_s = Q_m \cdot 8,53^{2,5} = Q_m \cdot 212,51. \quad (12)$$

Pokud je proudový jev ovlivňován více druhy sil (gravitační, viskozita, povrchové napětí, ...) současně, nelze přepočít uvažující dominantní působení pouze jedné z nich korektně použít.[1] Pro Froudovo kritérium platí při modelování proudových jevů se spolupůsobením kapilárních sil vyvolávajících povrchové napětí i sil viskozity nutnost dodržení řady spodních mezních hodnot.[1] Jedná se o tyto mezní hodnoty:

1. Přepadová výška paprsku na přelivu s přímou ostrou hranou musí být $H \geq 60,00$ mm, aby se naměřený tvar paprsku dal extrapolovat – tato podmínka byla zanedbána z důvodu nestanovování přesné úrovně hladiny nad přelivnou hranou RO, jelikož jsme posuzovali pouze míru zklidnění/deformace hladiny.
2. Povrchová rychlost na objektových modelech má být $u \geq 230,00$ mm \cdot s⁻¹, aby kapilární síly nebránily tvoření povrchových vln vlivem gravitačních sil.

Úkolem experimentálních prací nebylo stanovení absolutních hodnot většiny měřených parametrů, tudíž nebylo potřeba přihlížet k řadě uvedených mezních podmínek. Hlavním úkolem bylo posouzení zda dojde ke správnému rozdělení průtoku po obvodu přelivné hrany RO na čtvrtiny.

Dalším aspektem při řešení modelové podobnosti je nutné zachovat stejný režim proudění jako na skutečném díle.

U objektových modelů, které nebývají z pravidla převýšené, je třeba dodržet podmínku stejné hodnoty rychlostního součinitele jako na díle. Pro omočené povrchy v zájmovém prostoru RO musí pro jejich stupeň drsnosti platit vztah:

$$n_m = \frac{n_s}{M^{\frac{1}{6}}}. \quad (13)$$

Po dosazení $M = 8,53$ lze upravit na:

$$n_m = n_s \cdot 0,70. \quad (14)$$

Stávající RO je realizován z betonu, který má předpokládanou drsnost omočeného povrchu $n_s = 0,017$, tedy pro model musí být použit materiál o předpokládané drsnosti omočeného povrchu $n_m = 0,011$. Materiál s touto drsností je sklo, tvrzené PVC či hladký plech, proto byly všechny tyto materiály pro stavbu použity.

Všechny ostatní definované mezní podmínky mechanické podobnosti v zájmovém prostoru RO byly bezpečně splněny.

5 POSTUP A VYHODNOCOVÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

Experimentální zkoušky započaly po výstavbě modelu RO v laboratoři.

Prvním krokem bylo zjištění, zda laboratorní model správně funguje. Proto bylo na modelu pozorováno proudění stávajícího stavu RO v rozsahu průtoku (1,30 – 4,00) m³/s. Po srovnání s videonahrávkami a fotodokumentací ze skutečného díla bylo konstatováno, že chování proudění (hladinové poměry) na reálném RO i na laboratorním modelu je z praktického pohledu shodné.

V dalším kroku byly určeny tvary a velikosti tlumících prvků, které by mohly zajistit správnost fungování RO. Tyto tlumící prvky byly rozděleny do 4 kategorií. Samotné tlumící prvky byly označeny „V“ – varianta a číslem, které určuje pořadí tlumících prvků.

1. V0 – V1 – stávající stav = bez tlumícího prvku
2. V2 – V5 – kruhové desky
3. V6 – V8 – půlkruhové desky
4. V9 – V12 – kombinované = kruhové desky s límcem

Celkem bylo posuzováno 11 tlumících prvků v rozsahu průtoku (1,30 – 4,00) m³/s a ve dvou variantách bez norné stěny (označení 0) a s nornou stěnou (označení 1).

Vždy po instalaci daného tlumícího prvku na středovou závitovou tyč bylo při jmenovitém průtoku 4,00 m³/s svislým posunováním nastaveno jeho výškové umístění nad přívodním potrubím. Hledala se taková poloha, aby ve všech čtyřech měrných kanálech byla přibližně stejná úroveň hladiny, resp. průtoku, jenž byl stanovován za pomoci ostrohranných přelivů.

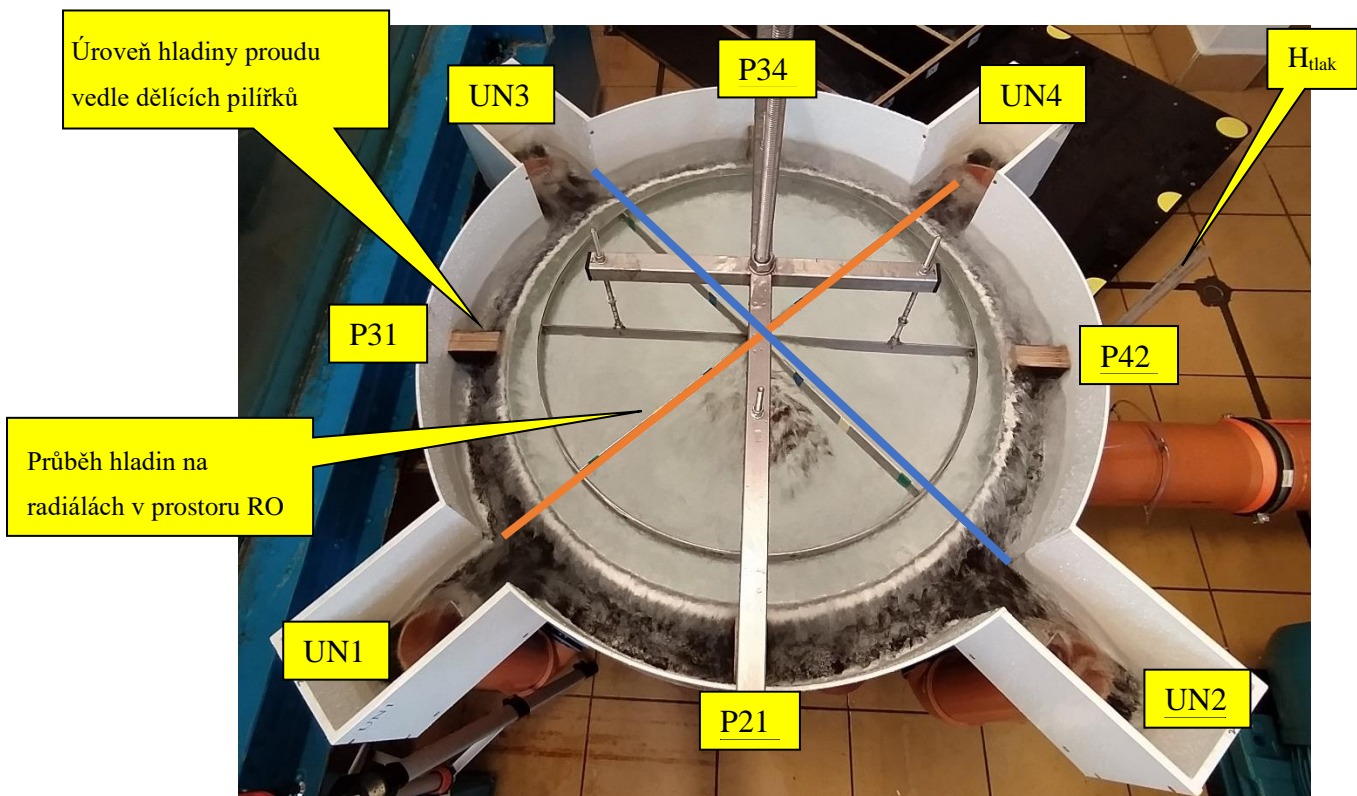
V dalším kroku probíhalo samostatné měření jednotlivých parametrů, které bylo možné porovnávat a podle nich určit vhodné tlumící prvky. Měření probíhalo při jmenovitých průtocích 1,30 m³/s; 2,00 m³/s; 3,00 m³/s a 4,00 m³/s.

Během měření byly sledovány následující parametry:

1. Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany (měřeno za pomoci piezometru před nátokem do objektu) (Obr. 23, Graf 1)
2. Průběh hladin na radiálách v prostoru RO (Obr. 21, Graf 2)
3. Úroveň hladiny proudu vedle dělicích pilířků (Obr. 21, Graf 3)

4. Výškové umístění tlumícího prvku ode dna RO po spodní část tlumícího prvku – K (Obr. 22, Graf 4)
5. Přepadová výška na ostrohranných přelivech za odtokem – rozdělení průtoku na UN1 – UN4 (Obr. 20, Graf 5)

Hodnoty parametrů 1–4 byly měřeny pomocí hrotového pravítka/ocelové měrky, z kterých se odečítala výška mezi hladinou a laserovou rovinou. Laserová rovina měla svislou odlehlost od roviny vztažné 0,141 m s tím, že za ni byla uvažována úroveň přelivné hrany. Hodnoty parametru 5 byly odečítány z ocelových měrek, umístěných v kanálech před měrnými přelivy. Všechny hodnoty byly zapisovány do předem připravené excelové tabulky, přepočítávány na reálné dílo a graficky zpracovány.



Obr. 21 Měřené body u parametrů 1–3

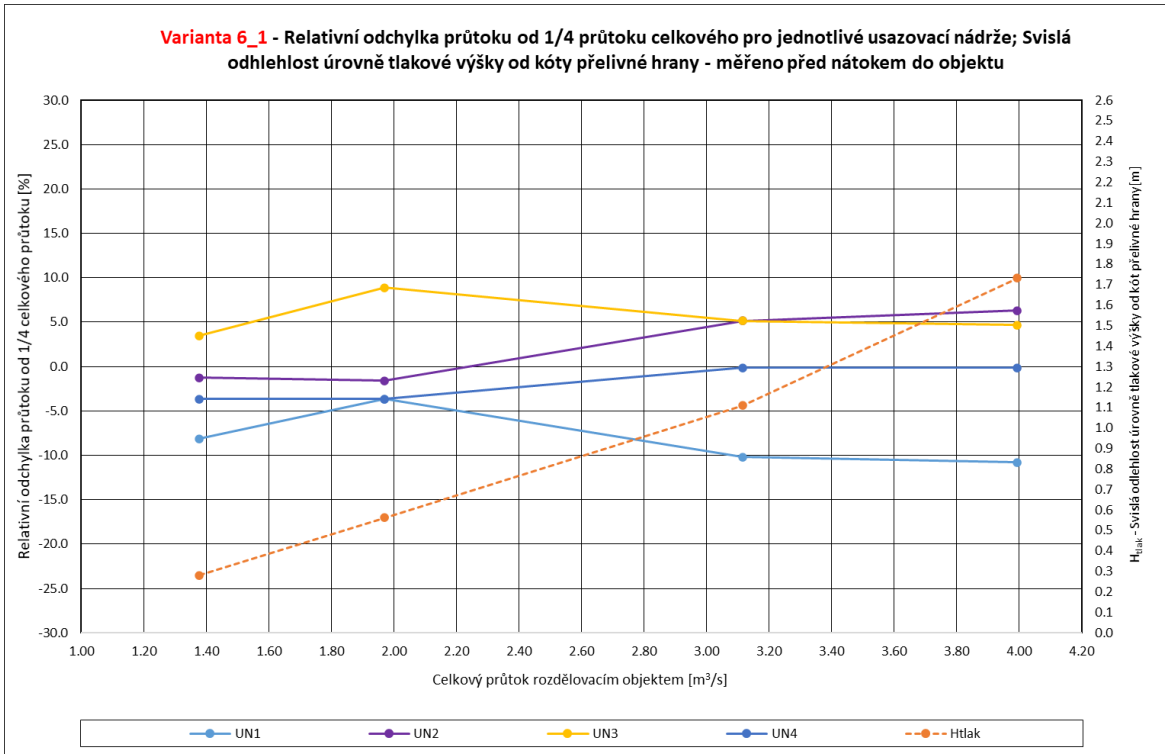


Obr. 22 Měření parametru 4 – výškové umístění tlumícího prvku pomocí ocelové měřky

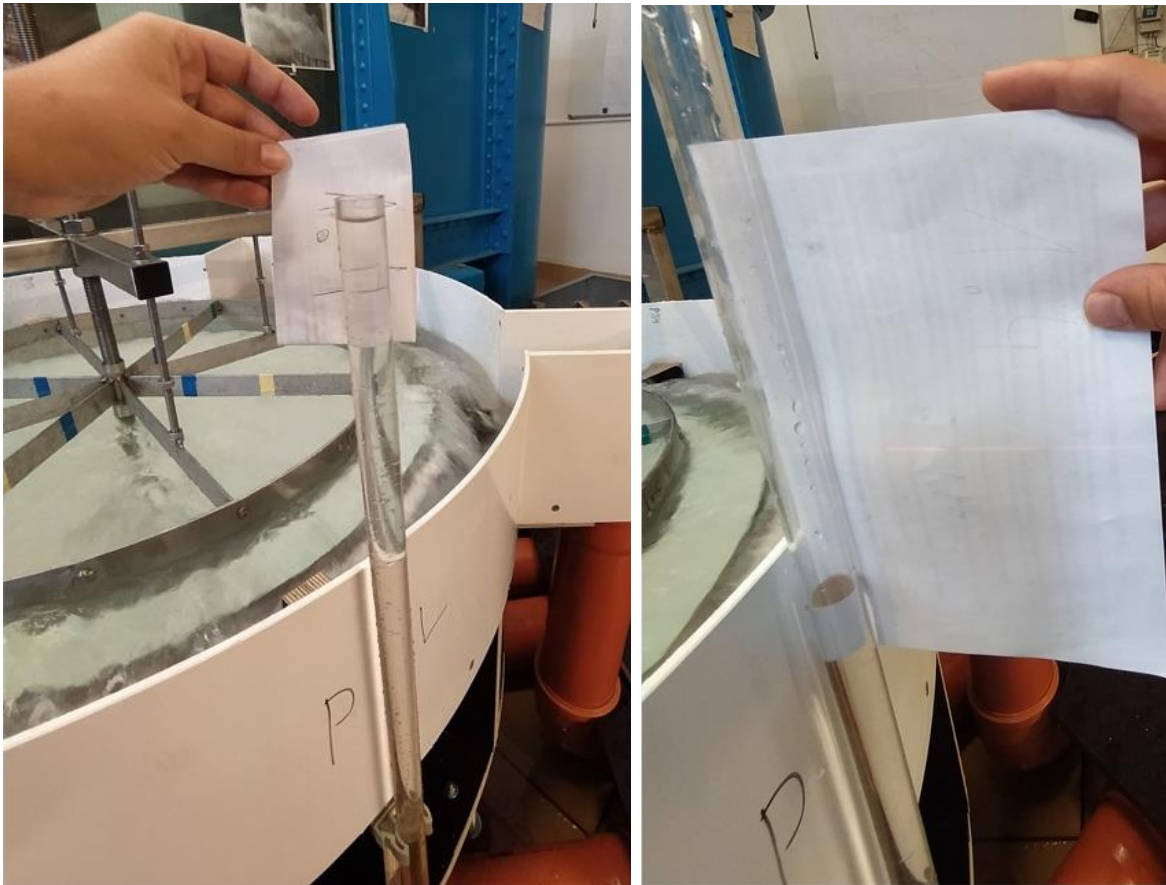
Měření úrovně tlakové výšky

Hodnota tlakové výšky je dána svislou odlehlostí mezi hladinou v piezometru a úrovní kóty přelivné hrany. Cílem u tohoto parametru bylo najít takový tlumící prvek, který by nezpůsobil nebo způsobil minimální zpětné vzduť hladiny vody protiproudě ve vtokové jímce za šnekovými čerpadly.

Pro každou variantu jsme naměřili celkem čtyři hodnoty svislé odlehlosti, vždy jednu hodnotu pro příslušný průtok. Jednotlivé svislé odlehlosti pro jednu variantu a příslušný jmenovitý průtok určují úroveň tlakové čáry od kóty přelivné hrany a tudíž bylo prováděno porovnávání mezi jednotlivými variantami z pohledu jejich „energetické náročnosti“. Naměřené hodnoty byly porovnávány se svislou odlehlostí tlakové výšky V_1 dle daného průtoku. Při nárstu svislé odlehlosti oproti V_1 při shodném průtoku dojde ke zpětnému vzduť a zvýšení hladiny ve vtokové jímce před shybkou přivádějící odpadní vodu do prostoru RO a naopak. (Obr. 23)



Graf 1 Parametr 1 - Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky



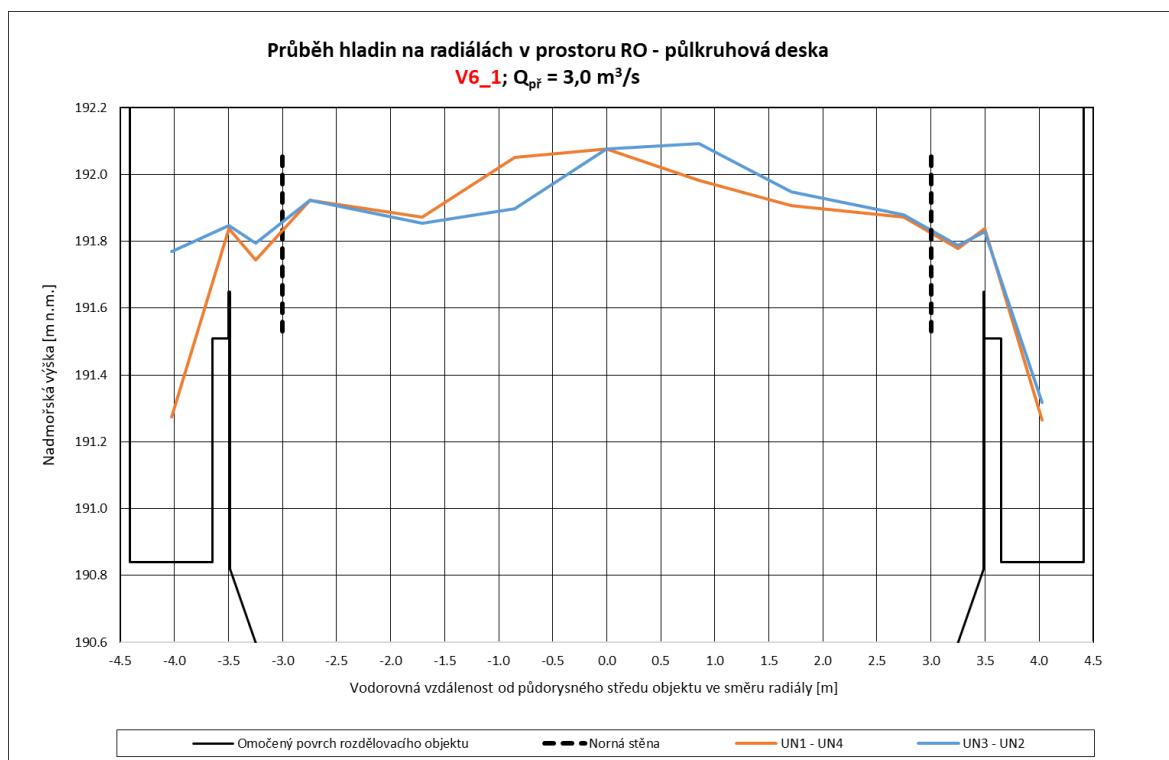
Obr. 23 Extrémní svislých odlehlostí úrovně tlakové výšky u V2_1 (vlevo) a V1 (vpravo)

Průběh hladin na radiálách v prostoru RO

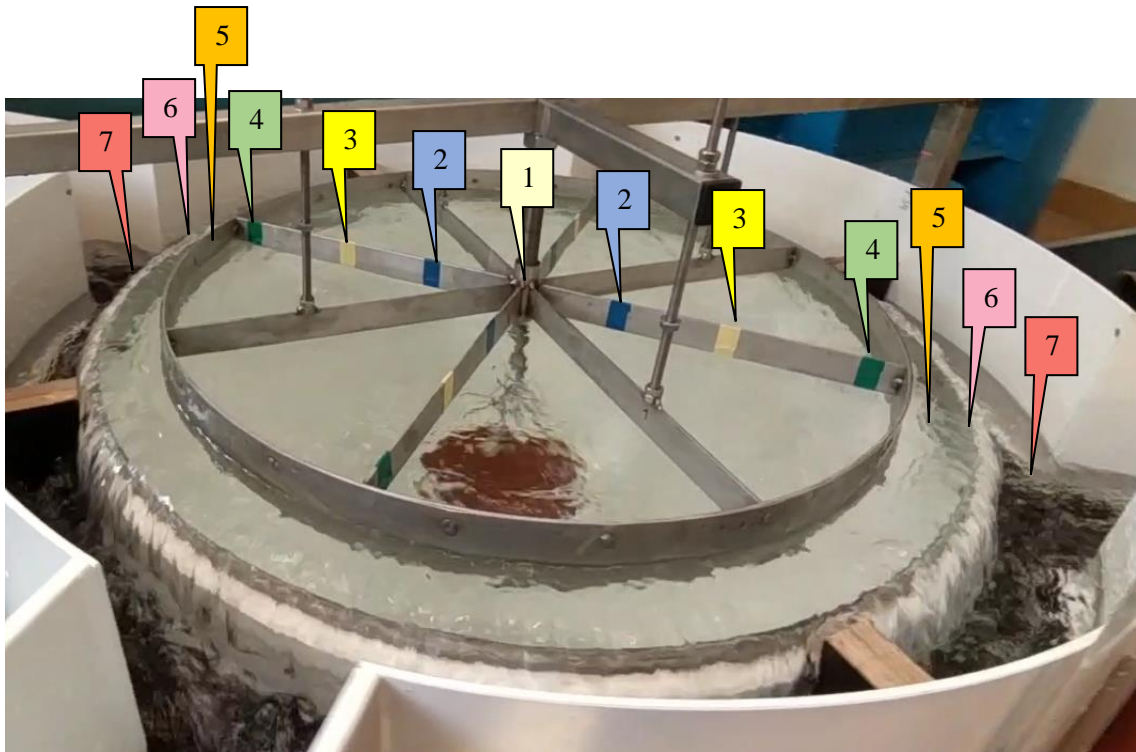
V prostoru RO byly změřeny úrovně hladiny při proudových poměrech ve dvou na sebe kolmých radiálách. Oranžová radiála hladiny je vedena od UN1 po UN4 a modrá radiála je vedena od UN3 po UN2. Celkem bylo na radiálách naměřeno 25 bodů, které jsou vyznačeny na Obr. 24. Měrné body „uvnitř“ normé stěny byly na modelu znázorněny barevnými proužky na speciální nosné konstrukci, celkem jich bylo na jedné radiále 7 (body č. 2–4) z toho 1 bod byl společný pro obě osy (bod č. 1). Dále na každé straně radiály byly naměřeny 3 body, 1 mezi normou stěnou a přelivnou hranou (bod č. 5), 1 na přelivné hraně (bod č. 6) a 1 ve spadišti (bod č. 7).

V grafu 2 jsou uvedené nadmořské výšky hladin vzhledem k výškovému umístění RO.

Cílem tohoto grafického znázornění bylo najít takový tlumicí prvek, který by co možná nejlépe homogenizoval hladinové poměry v prostoru RO.



Graf 2 Parametr 2 – Průběh hladin na radiálách v prostoru RO

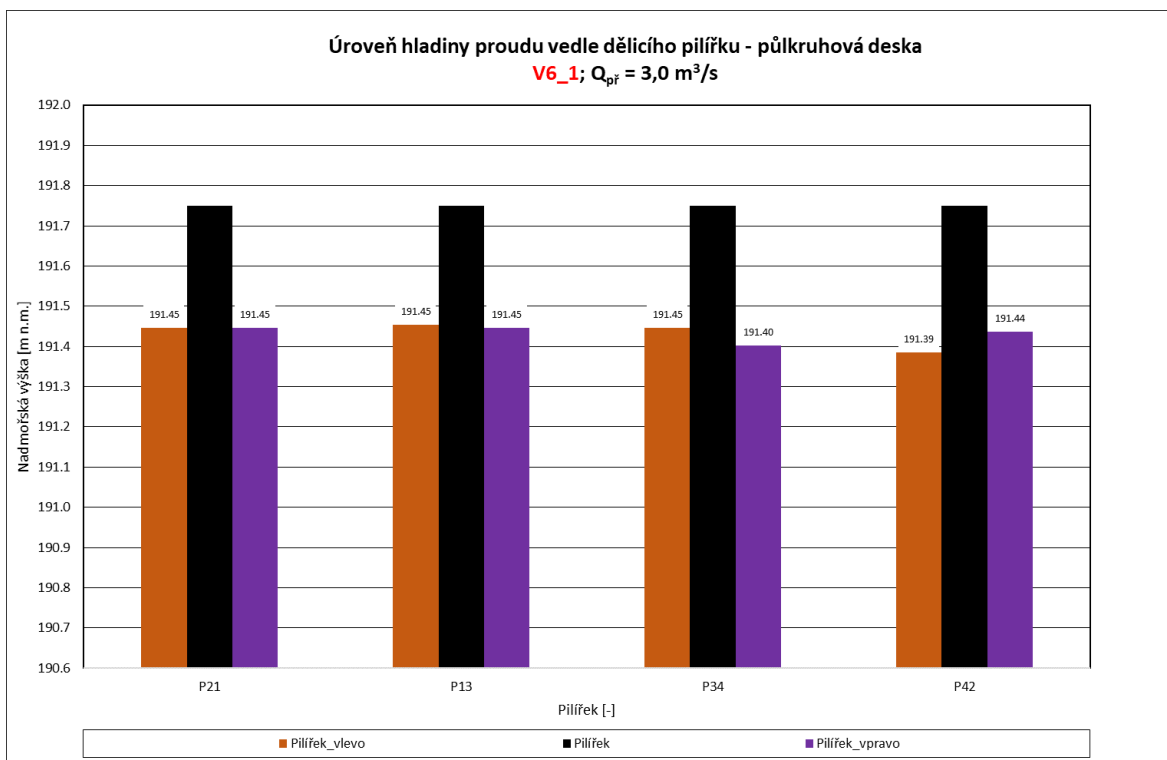


Obr. 24 Měrné body na „oranžové“ radiále mezi UN1 a UN4 pro stanovení úrovně hladiny

Úroveň hladiny proudu vedle dělicích pilířků

Úroveň hladiny vedle dělicích pilířků je v grafu 3 znázorněna nadmořskou výškou na díle. Hladiny jsou změřené vždy zprava a zleva každého pilířku při pohledu od půdorysného středu RO a znázorněny tak v grafu. Oranžový sloupec znázorňuje úroveň hladiny zleva a fialový sloupec zprava. Černý sloupec představuje pilířek, který je označen písmenem P (pilířek) a číslicí UN zprava a číslicí UN zleva od půdorysného středu RO.

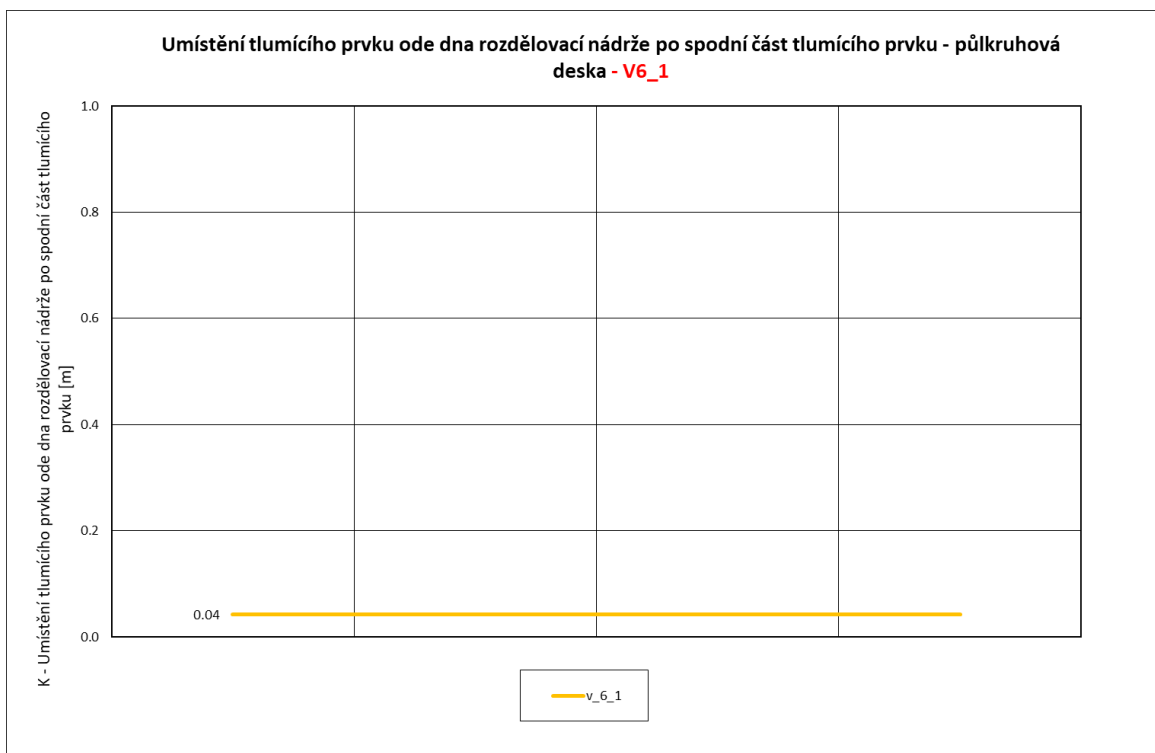
U tohoto měření byla sledována rozdílnost úrovní hladin v prostoru spadiště vedle jednotlivých pilířků. Tyto naměřené hodnoty ukazují rovnoměrnost rozdělení průtoku před odtokem na UN1 – UN4.



Graf 3 Parametr 3 – Úroveň hladiny proudu vedle dělicích pilířků

Výškové umístění tlumícího prvku ode dna RO po jeho spodní úroveň

Výškové umístění tlumícího prvku bylo měřeno pomocí měrky podél středové závitové tyče. Byla naměřená svislá odlehlost mezi horní části tlumícího prvku a laserovou rovinou. Tato hodnota plus tloušťka vodorovné desky tlumícího prvku byla odečtená od svislé odlehlosti mezi dnem RO a laserovou rovinou. Tento rozdíl určuje výškové umístění vodorovné části tlumícího prvku.



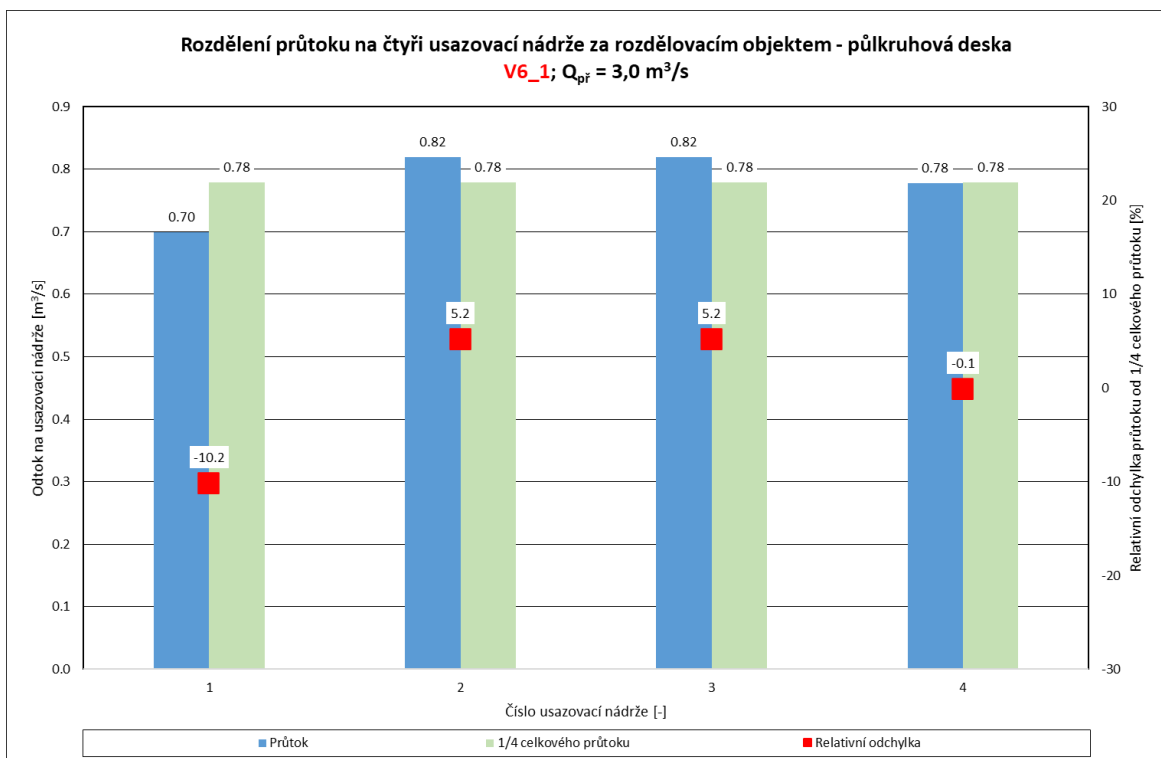
Graf 4 Parametr 4 – Výškové umístění tlumícího prvku ode dna RO

Přepadová výška na přelivu za odtokem

Přepadová výška na čtyřech přelivech za odtoky na UN byla přepočítána na průtok dle rovnice (16).

V grafu jsou znázorněny všechny 4 UN podle číselného označení na modelu. Levý sloupeček představuje průtok, který byl naměřený na UN. Pravý sloupeček představuje $\frac{1}{4}$ celkového průtoku, která by měla na UN odtékat. Červené čtverečky umístěné mezi sloupečky dané UN představují relativní odchylku v procentech mezi naměřenými a požadovanými hodnotami průtoku.

Pomocí tohoto grafu hledáme takový tlumící prvek, který zajistí co nejmenší hodnoty relativních odchylek.



Graf 5 Parametr 5 – Přepadová výška na přelivu za odtokem přepočítáno na rozdělení průtoku na UN1 – UN4

Experimentální zkoušky se vyhodnocovaly podle kritérií, která se stanovovala z naměřených parametrů. Ty byly mezi sebou porovnávány a graficky prezentovány.

1. Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m]

Je stanovena pomocí přepočtu na dílo:

$$H_{tlak} = (Z - Z_{tlak}) * M, \quad (15)$$

kde H_{tlak} ... svislá odlehlost úrovně tlakové výšky na reálném díle [m],

Z ... svislá odlehlost mezi vztažnou úrovní a laserovou rovinou [m],

Z_{tlak} ... svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od laserové roviny = parametr 1 [m],

M ... měřítko délek [-].

2. Relativní odchylka průtoku od 1/4 celkového průtoku – O_r [%]

Je stanovena pomocí přepočtu na průtok na díle a relativní odchylky:

Přepočet na průtok na díle:

$$Q_{UN} = (0,5425 * (z_{UN})^{2,6719}) * M^{2,5}, \quad (16)$$

kde Q_{UN} ... průtok na přelivu za odtokem [m^3/s],

z_{UN} ... přepadová výška na přelivu za odtokem [m],

M ... měřítko [-].

Relativní odchylka:

$$O_r = \frac{Q_{UN} - 1/4 Q}{1/4 Q} * 100, \quad (17)$$

kde O_r ... relativní odchylka průtoku [m],

Q_{UN} ... průtok na přelivu za odtokem [m³/s],

$1/4 Q$... čtvrtina aktuálního průtoku [m³/s].

3. Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [m]

Je stanovena pomocí aritmetického průměru a dvojnásobku směrodatné odchylky.

Přepočet na dílo:

$$x_i = (Z - Z_h) * M, \quad (18)$$

kde x_i ... svislá odlehlost mezi hladinou a laserovou rovinou na reálném díle v prostoru norné stěny [m],

Z ... svislá odlehlost mezi vztažnou úrovní a laserovou rovinou [m],

Z_h ... svislá odlehlost úrovně hladiny vody od laserové roviny = parametr 2 [m],

M ... měřítko délek [-].

Aritmetický průměr:

$$x_a = \frac{\sum x_i}{n}, \quad (19)$$

kde x_a ... aritmetický průměr svislé odlehlosti mezi hladinou a laserovou rovinou [mm],

x_i ... svislá odlehlost mezi hladinou a laserovou rovinou na reálném díle v prostoru norné stěny [mm],

n ... počet naměřených bodů – 13 [-].

Dvojnásobek směrodatné odchylky:

$$R_s = 2 * \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_a)^2}{n-1}}, \quad (20)$$

kde R_s ... variabilita úrovně hladiny = dvojnásobek směrodatné odchylky [-]

x_i ... svislá odlehlost mezi hladinou a laserovou rovinou na reálném díle v prostoru normé stěny [m],

x_a ... aritmetický průměr svislé odlehlosti mezi hladinou a laserovou rovinou [m],

n ... počet naměřených bodů - 13 [-].

4. Umístění tlumícího prvku ode dna rozdělovací nádrže po jeho spodní část – K [m]

Je stanoveno pomocí přepočtu na dílo:

$$K = (Z_L - z + tl) * M, \quad (19)$$

kde K ... svislá odlehlost umístění tlumícího prvku [m],

Z_L ... svislá odlehlost od úrovně dna RO po laserovou rovinu = 0,508 [m],

z ... svislá odlehlost od úrovně umístění tlumícího prvku po laserovou rovinu [m],

tl ... tloušťka desky tlumícího prvku [m],

M ... měřítko délek [-].

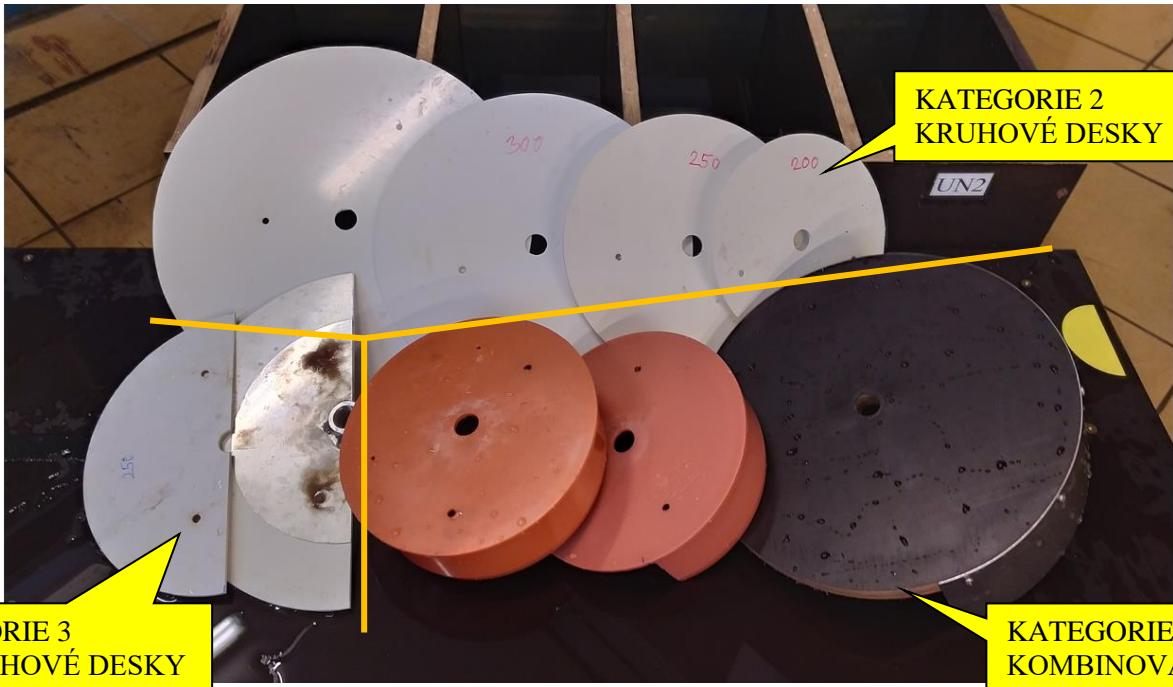
6 POSUZOVANÉ VARIANTY TLUMÍCÍCH PRVKŮ

Posuzované varianty jsou rozdělené do 4 kategorií vždy podle geometrického tvaru tlumícího prvku. Veškeré tlumící prvky lze definovat jednoduchými geometrickými parametry

Kategorie tlumících prvků (Obr. 25):

1. V0 – V1 – stávající stav
 - Kategorie bez tlumících prvků
2. V2 – V5 – kruhové desky (Obr. 26)
 - D – průměr kruhové desky
 - K – výškové umístění tlumícího prvku ode dna RO po spodní část tlumícího prvku
3. V6 – V8 – půlkruhové desky (Obr. 27)
 - Tyto tlumící prvky byly umístěny nad druhou polovinu přírodního potrubí (vtokového otvoru), tedy blíže k UN1 a UN3 (v místě předpokládané nejvyšší rychlosti)
 - D – průměr půlkruhové desky
 - K – výškové umístění tlumícího prvku ode dna RO po spodní část tlumícího prvku
4. V9 – V12 – kombinované = kruhové desky s límcem (Obr. 28)
 - D – průměr kruhové desky
 - K – výškové umístění tlumícího prvku ode dna RO po spodní část vodorovné části tlumícího prvku
 - L – výška límce
 - C – délka límce po obvodu kruhové desky; C – po celém obvodu; $C/2$ – půlka obvodu
 - V případě $C/2$ byla půlka s límcem umístěna nad druhou polovinu přírodního potrubí, tedy blíže k UN1 a UN3 (v místě předpokládané nejvyšší rychlosti)

V Tab. 1 lze vyčíst všechny hodnoty příslušných geometrických parametrů jednotlivých tlumících prvků a také lze pozorovat, že výškové umístění tlumících prvků se lišilo u jednotlivých variant i v závislosti na měření s normou stěnou a bez ní.

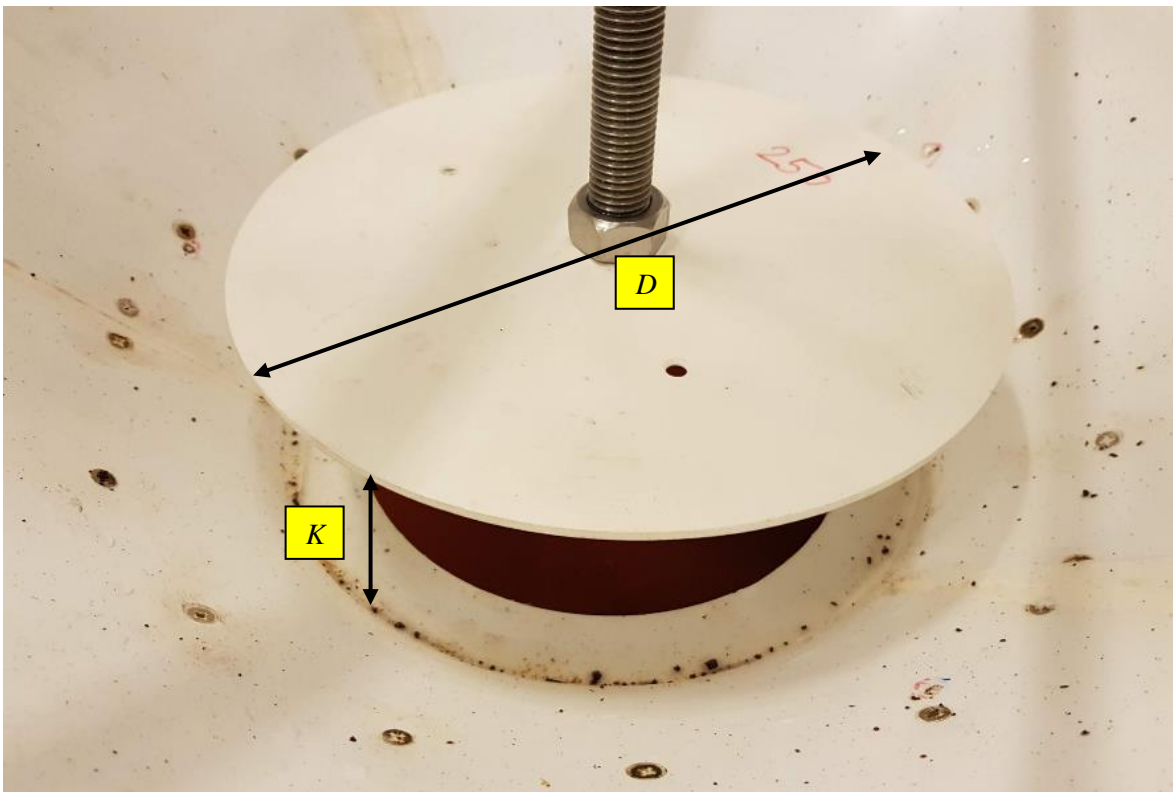


KATEGORIE 3
PŮLKRUHOVÉ DESKY

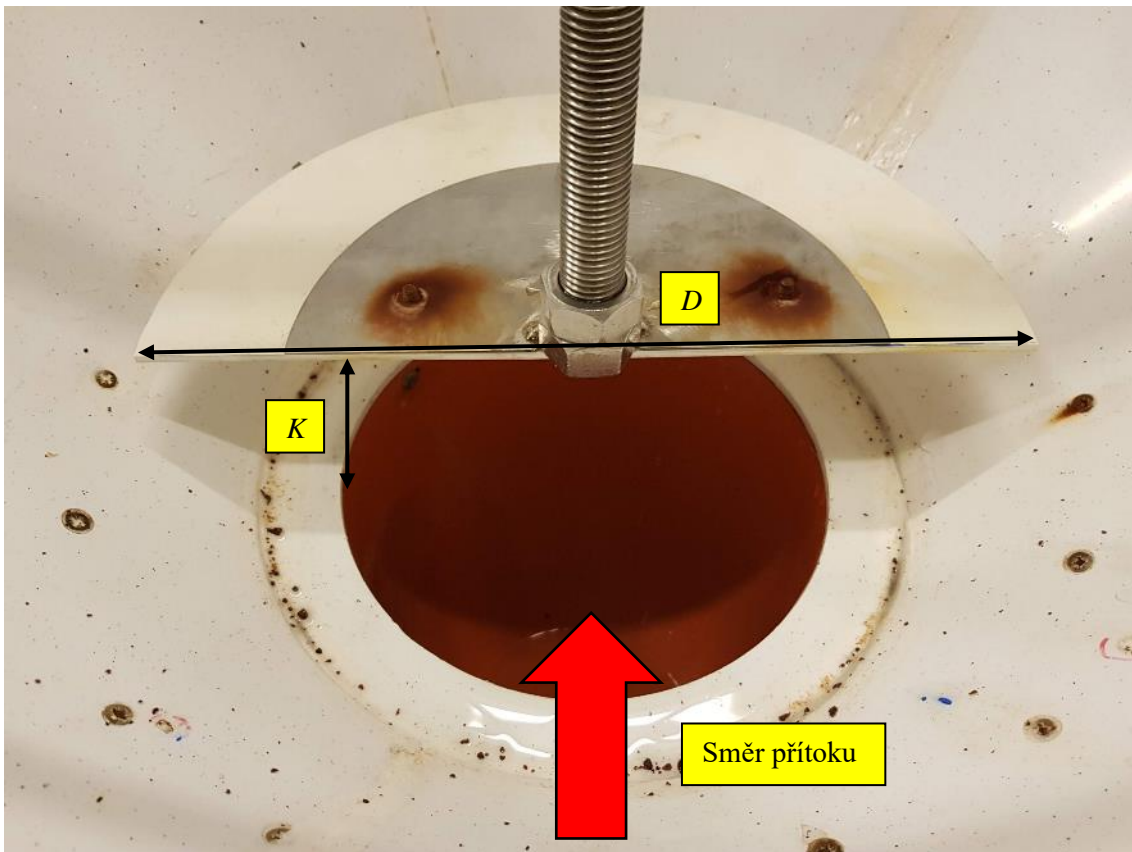
KATEGORIE 2
KRUHOVÉ DESKY

KATEGORIE 4
KOMBINOVANÉ

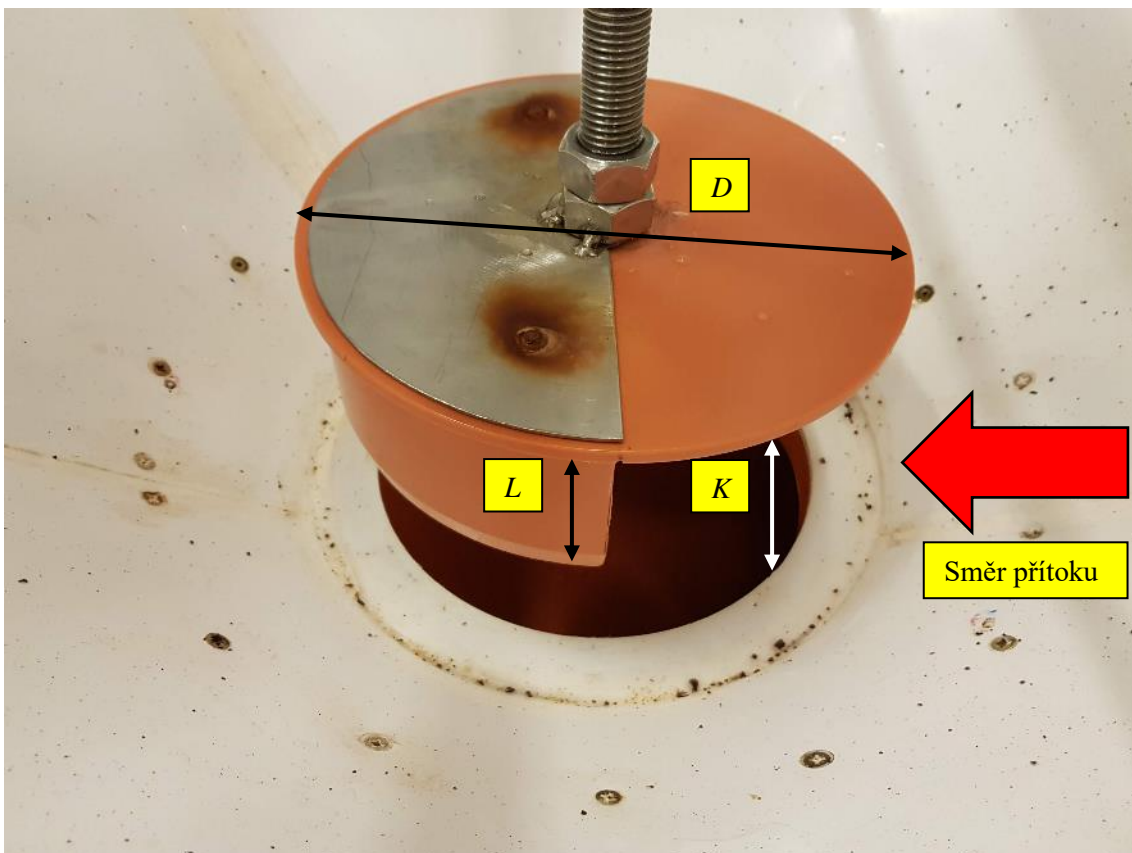
Obr. 25 Tlumící prvky



Obr. 26 Tlumící prvek – kruhová deska – varianta V3



Obr. 27 Tlumící prvek – půlkruhová deska – varianta V8



Obr. 28 Tlumící prvek – kruhová deska s C/2 límcem – varianta V10

Tab. 1 Přehled posuzovaných variant s geometrickými parametry po přepočtu na dílo

	Varianta	Norná stěna	Rozměry a poloha tlumícího prvku		
			D [m]	L [m]	K [m]
	0	Ne	–	–	–
	1	Ano	–	–	–
KRUHOVÉ	2_0	Ne	1,71	–	0,25
	2_1	Ano	1,71	–	0,15
	3_0	Ne	2,13	–	0,20
	3_1	Ano	2,13	–	0,20
	4_0	Ne	2,56	–	0,35
	4_1	Ano	2,56	–	0,35
	5_0	Ne	3,00	–	0,52
	5_1	Ano	3,00	–	0,52
PŮLKRUHOVÉ	6_0	Ne	1,71	–	0,2
	6_1	Ano	1,71	–	0,04
	7_0	Ne	2,13	–	0,37
	7_1	Ano	2,13	–	0,12
	8_0	Ne	2,56	–	0,46
	8_1	Ano	2,56	–	0,34
KOMBINOVANÉ	9_0	Ne	1,85	$0,54 - C$	nestanoveno
	9_1	Ano	1,85	$0,54 - C$	nestanoveno
	10_0	Ne	1,85	$0,54 - C/2$	0,92
	10_1	Ano	1,85	$0,54 - C/2$	0,92
	11_0	Ne	2,56	$0,70 - C$	1,22
	11_1	Ano	2,56	$0,70 - C$	1,22
	12_0	Ne	2,56	$0,70 - C/2$	2,38
	12_1	Ano	2,56	$0,70 - C/2$	nestanoveno

7 VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, u experimentálních zkoušek byla stanovena kritéria z naměřených parametrů. Tato kritéria byla využita k porovnání jednotlivých variant mezi sebou. Stěžejním průtokem pro porovnávání a stanovení vhodného tlumícího prvku byl jmenovitý průtok $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$, tedy nynější maximální průtok na ČOV. V této kapitole se nachází pouze grafické znázornění pro jmenovitý průtok $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$. A pro ostatní jmenovité průtoky je uvedeno v příloze této práce.

Tato kapitola bude popisovat všechny varianty a porovnávat je s kategorií 1 – V0 – V1 – stávající stav podle kategorií tlumících prvků. Kdy varianta V1 je výchozím vztažným stavem pro toto porovnání.

Porovnávací kritéria:

1. Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m]
2. Relativní odchylka průtoku od $\frac{1}{4}$ celkového průtoku – O_r [%]
3. Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [m]
4. Shodné umístění tlumícího prvku ode dna rozdělovací nádrže po spodní část tlumícího prvku s a bez norné stěny – K [m]

Níže uvedené hodnoty parametrů jsou uváděny vždy po přepočtu na dílo.

7.1 V0 – V1 – STÁVAJÍCÍ STAV

Varianta V0 a V1 představují na modelu stávající stav na RO. Varianta V1 je stav s nornou stěnou. Protože bylo uvažováno i s odstraněním norné stěny, tak jsme na modelu tuto variantu vyzkoušeli a označili jako variantu V0.

Z grafu 6 lze pozorovat nárůst H_{tlak} při namontování norné stěny, tedy varianta V1 způsobila nárůst úrovně hladiny v objektu před RO. Tento nárůst byl okolo 9,00 cm. Z tohoto důvodu byl objekt před RO nadstavený pro případný nárůst H_{tlak} .

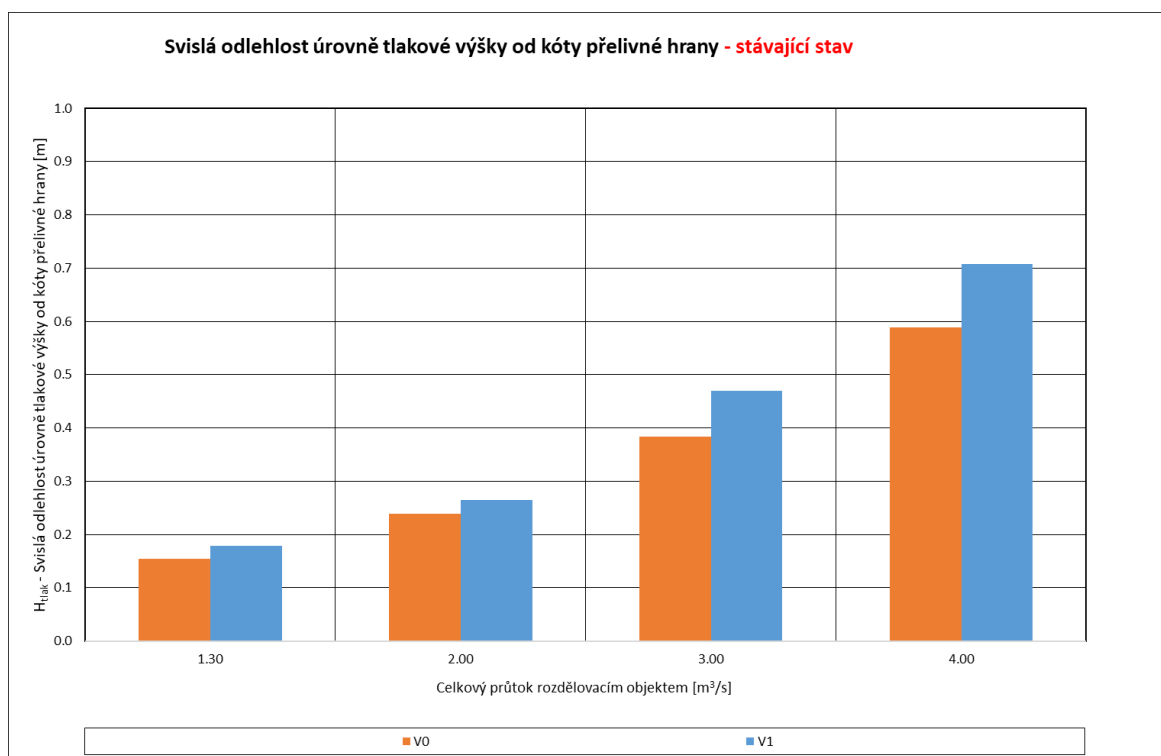
Z grafu 7 lze pozorovat O_r a R_s , kdy R_s je u obou variant téměř ve shodě, takže ke zklidnění hladinové deformace při nainstalování norné stěny nedošlo, ale O_r se při použití norné stěny snížilo, takže došlo k rovnoměrnějšímu rozdělování průtoku na UN1 – UN4.

Obr. 29, který porovnává variantu V0 a V1 modelovou situací a reálnou situací V1 při jmenovitém průtoku 3,00 m³/s, ukazuje stejné chování proudových poměrů na modelu a ve skutečnosti.

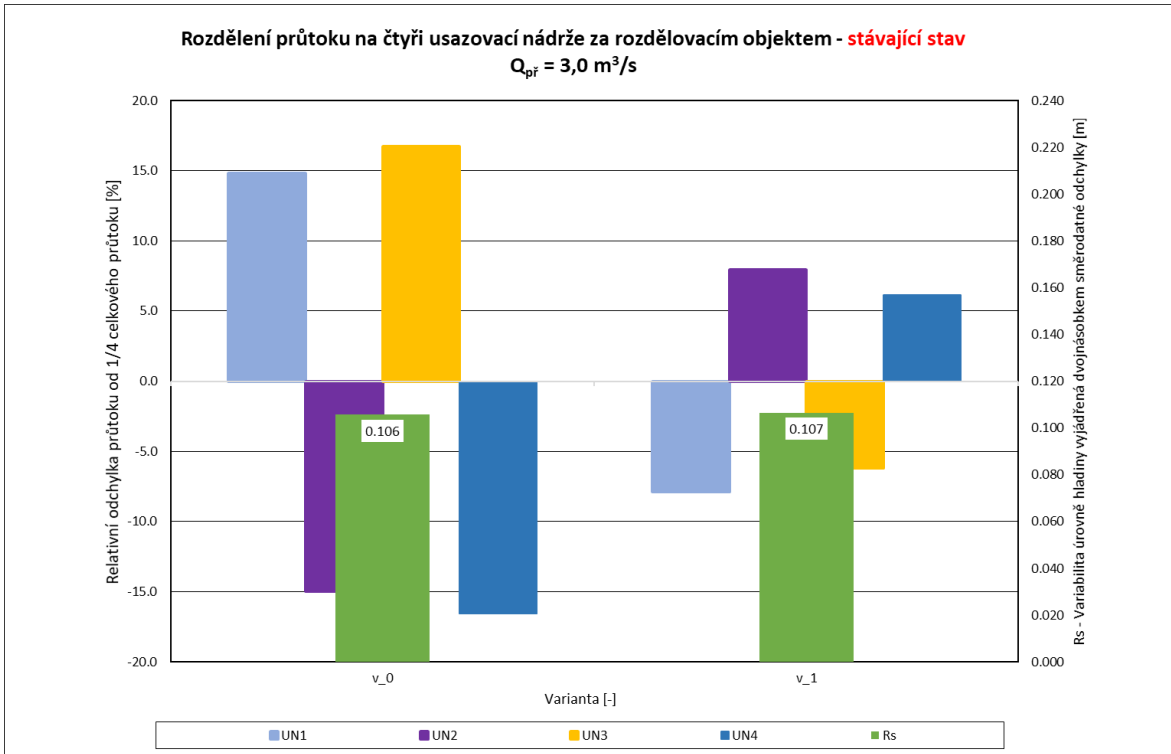
Nainstalováním normé stěny bylo dosaženo zlepšení funkce RO při jmenovitém průtoku 3,00 m³/s, ale při navýšení kapacity ČOV toto opatření nebude dostačující.

Tab. 2 Výsledky spočítaných kritérií pro stávající stav

VARIANTA	AKTUÁLNÍ PRŮTOK	O_r				H_{tlak}	R_s	K
		UN1	UN2	UN3	UN4			
	m ³ /s	%	%	%	%	m	m	m
0	3.01	14.80	-14.97	16.72	-16.55	0.38	0.11	-
1	2.97	-7.89	7.96	-6.20	6.12	0.47	0.11	-



Graf 6 Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m] (sloupcový graf) – stávající stav



Graf 7 Relativní odchylka průtoku od 1/4 celkového průtoku – O_r [%] a Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [%] – stávající stav



V0 model



V1 model



V1 skutečnost

Obr. 29 Proudové poměry při průtoku okolo 3,00 m³/s – stávající stav

7.2 V2 – V5 – KRUHOVÉ DESKY

Varianty V2 – V5 představují možnou úpravu RO za použití tlumících prvků tvořených kruhovými deskami o průměrech (1,71 – 3,00) m. Dle požadavků všechny tyto varianty byly pozorované na modelu s nornou stěnou a bez ní.

Z grafu 8 při jmenovitém průtoku 3,00 m³/s jsou zřejmé pouze nárůsty H_{tlak} oproti variantě V1. Nejmenší nárůst H_{tlak} má varianta V2_0, u které byl nárůst o 0,25 m. Ostatní varianty měly nárůst H_{tlak} oproti V1 od 0,60 m do 0,13 m. V procentech činí u těchto variant nárůst mezi (184 – 75) %. U V2_0 je nárůst v procentech pouze 53 %. Podle tohoto kritéria vychází nejlépe v této kategorii varianta V2_0.

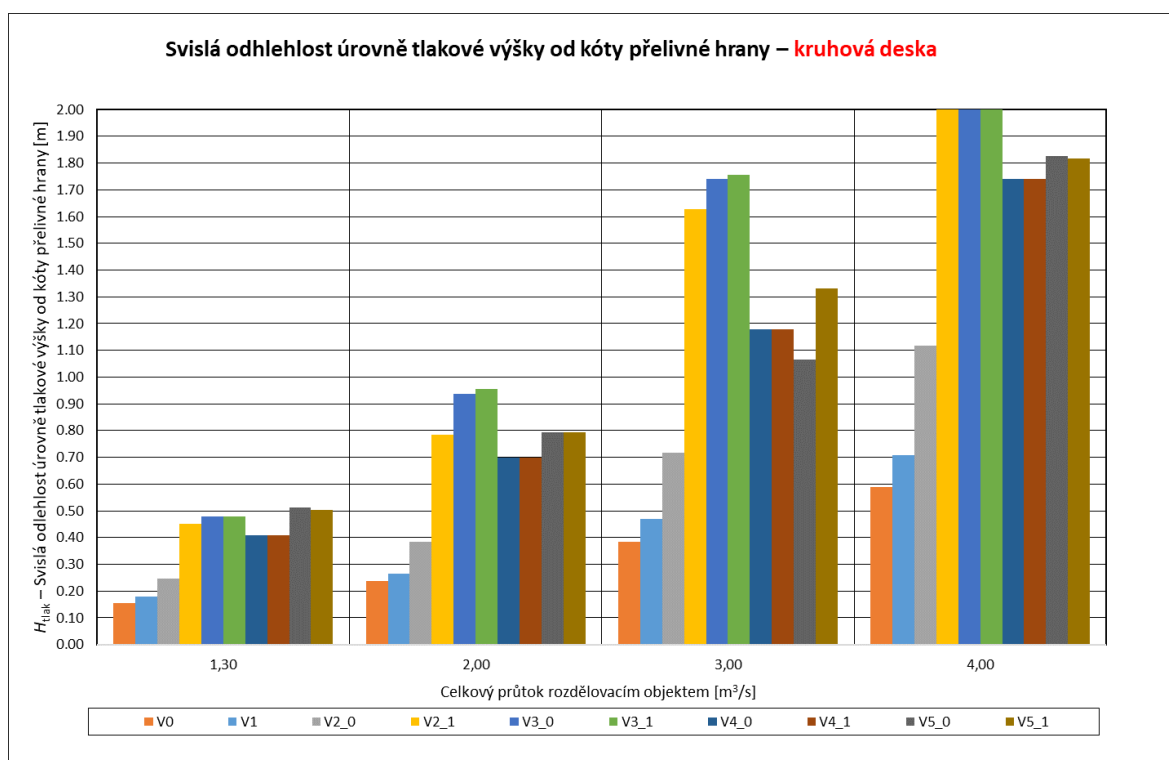
Graf 9 znázorňuje O_r a R_s . Z tohoto grafu lze vyčíst, že variabilita hladiny se pomocí všech variant kruhových desek snížila oproti V1. K nejlepším výsledkům z pohledu tohoto kritéria dospěly V5_1, V4_1 a V5_0. Tyto varianty snížily deformaci variability hladiny o více než 60 %. Ostatní varianty snížily variabilitu hladiny o 35 – 55 %. Celkově hodnoty variability hladiny u těchto prvků splnily požadavek zklidnění hladinových deformací (Obr. 30). Za to O_r u této kategorie tlumících prvků bylo nevyhovující. Žádný z tlumících prvků nezajistil rovnoměrné rozdělování průtoku na UN1 – UN4 ani se nepřiblížil hodnotami k V1. Předpokládané hodnoty tohoto kritéria nebyly splněny žádným tlumícím prvkem z této kategorie.

K se pohybovalo u této kategorie v rozmezí 0,15 – 0,52 m. Výškové umístění jednotlivých tlumících prvků je zřejmé z grafu 10. Nejnižše položená varianta byla V2_1, která se neshodovala s výškovým umístěním V2_0. Tlumící prvek V2 měl jako jediný v této kategorii různé výškové umístění při pozorování s nornou stěnou a bez ní. Výškový rozdíl zde byl 0,10 m. Ostatní tlumící prvky v této kategorii měly stejné výškové umístění při obou variantách, tudíž varianty V3 – V5 splnily kritérium K dle požadavku fungování tlumícího prvku s nornou stěnou i bez ní.

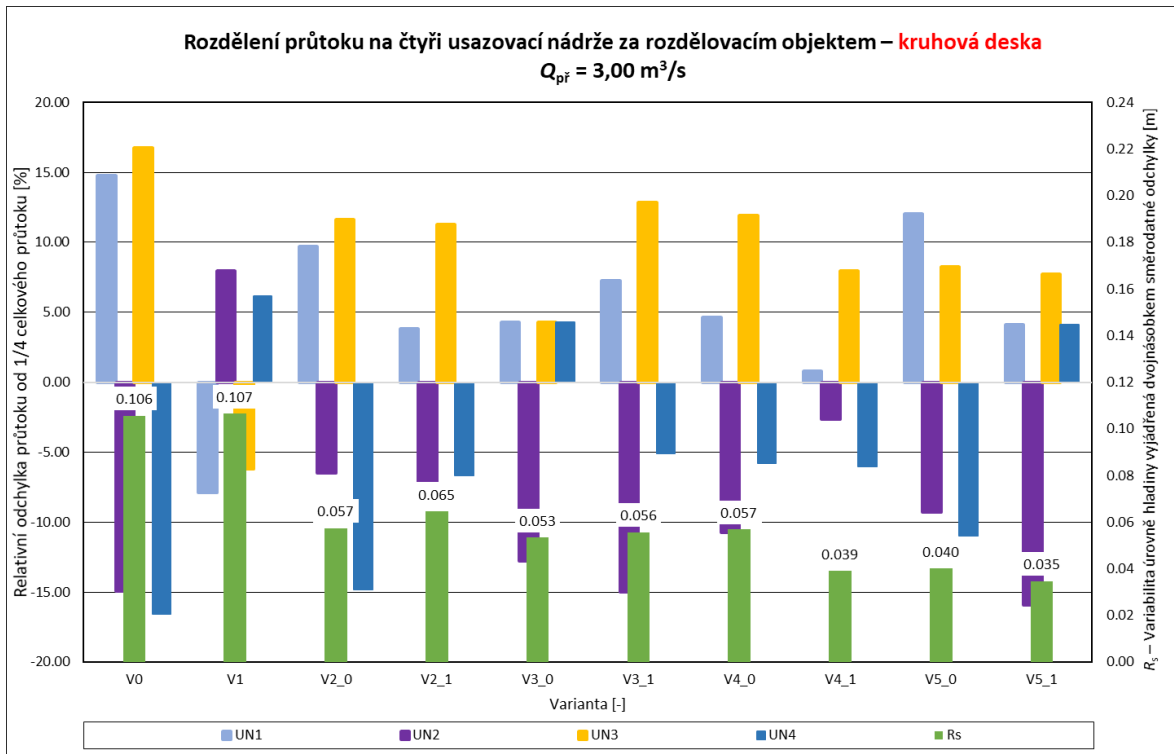
Z této kategorie vyhověl aspoň dvěma kritériím ze čtyř tlumící prvek V5 podle kritéria R_s a K . Pro zařazení do kategorie doporučené varianty k realizaci však musí být vyhovující všechna kritéria. Proto z této kategorie nebyl vybrán žádný tlumící prvek.

Tab. 3 Výsledky spočítaných kritérií pro kruhové desky

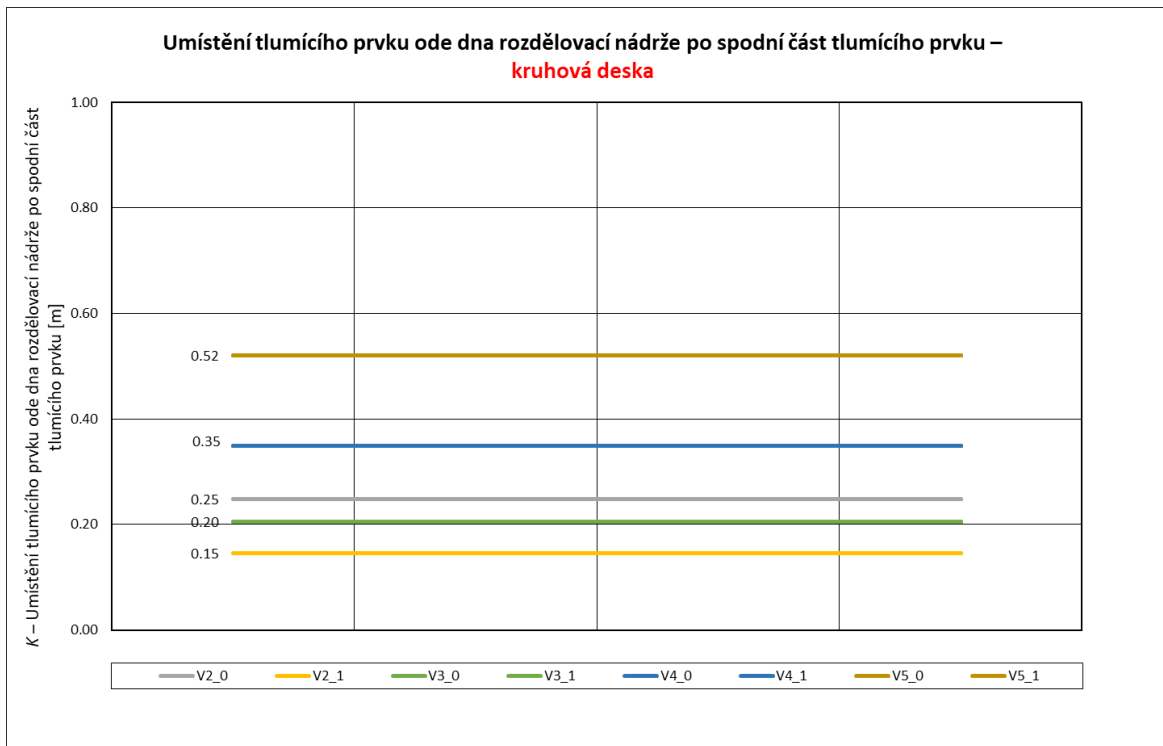
VARIANTA	AKTUÁLNÍ PRŮTOK m ³ /s	O _r				H _{tlak} m	R _s m	K m
		UN1	UN2	UN3	UN4			
	%	%	%	%				
0	3.01	14.80	-14.97	16.72	-16.55	0.38	0.11	-
1	2.97	-7.89	7.96	-6.20	6.12	0.47	0.11	-
2_0	2.89	9.71	-6.50	11.61	-14.81	0.72	0.06	0.25
2_1	2.94	3.83	-8.38	11.24	-6.69	1.63	0.06	0.15
3_0	3.04	4.25	-12.76	4.25	4.25	1.74	0.05	0.20
3_1	3.00	7.26	-14.99	12.86	-5.12	1.76	0.06	0.20
4_0	3.08	4.61	-10.75	11.93	-5.80	1.18	0.06	0.35
4_1	3.09	0.79	-2.67	7.94	-6.05	1.18	0.04	0.35
5_0	2.97	12.00	-9.31	8.26	-10.96	1.07	0.04	0.52
5_1	3.09	4.11	-15.94	7.71	4.11	1.33	0.03	0.52



Graf 8 Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m] - kruhové desky



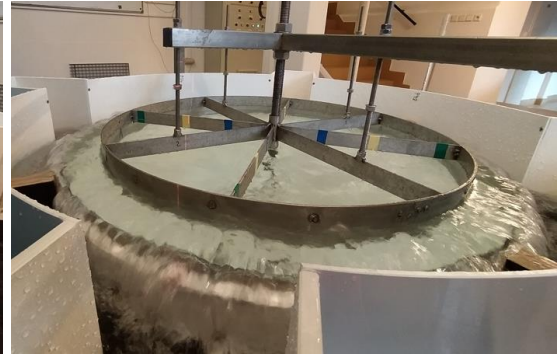
Graf 9 Relativní odchylka průtoku od ¼ celkového průtoku – O_r [%] a Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [%] – kruhové desky



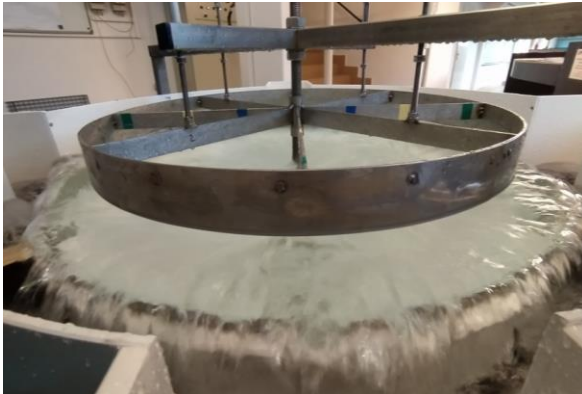
Graf 10 Shodné umístění tlumicího prvku ode dna rozdělovací nádrže po spodní část tlumicího prvku s a bez normé stěny – K [m] – kruhové desky



V2_0



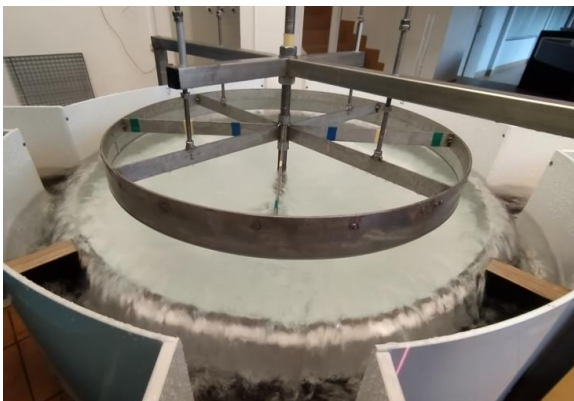
V2_1



V3_0



V3_1



V4_0



V4_1



V5_0



V5_1

Obr. 30 Proudové poměry při jmenovitém průtoku $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ – kruhové desky

7.3 V6 – V8 – PŮLKRUHOVÉ DESKY

V této kategorii byly experimentálními zkouškám podrobeny půlkruhové desky o průměru (1,71 – 3,00) m.

Z grafu 11 při jmenovitém průtoku 3,00 m³/s je zřejmý pouze nárůst H_{tlak} oproti V1. U této kategorie není nárůst H_{tlak} tak velký jako u předchozí kategorie. Zde nejmenší nárůsty H_{tlak} je 0,02 m u V8_0, v přepočtu na procenta je nárůst o 6 %, což je velmi dobrá hodnota. Další velmi dobré hodnoty tohoto kritéria splňují V6_0 a V7_0, kde je nárůst oproti V1 o 0,08 m, v přepočtu na procenta je to 17 %. Dalšími variantami blízcí se H_{tlak} V1 je V8_1, která má nárůst o 0,19 m, v procentech je to o 40 %. Tento nárůst se dá považovat ještě za přijatelný. Zbylé varianty V7_1 a V6_1 mají nárůst H_{tlak} 0,42 m a 0,64 m, v procentech 89 % a 136 %. Tyto nárůsty jsou velmi vysoké a pro realizaci nevyhovující.

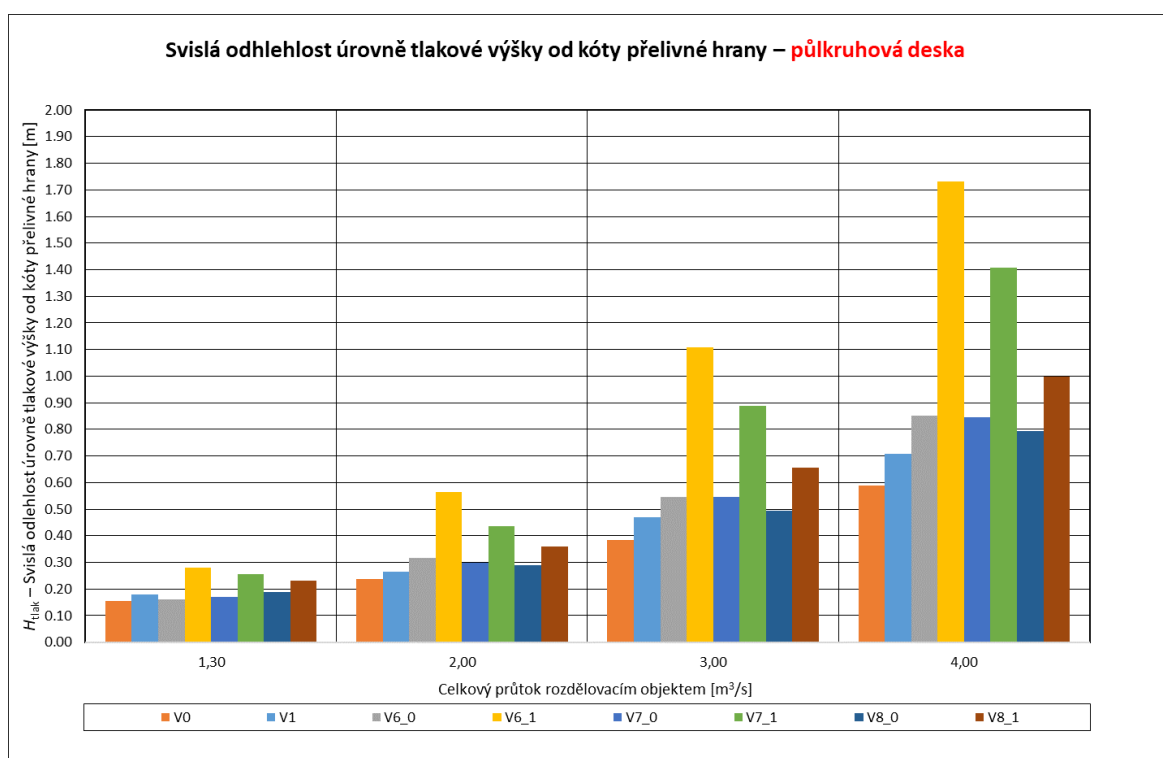
Hodnoty kritérií O_r a R_s vyčteme z grafu 12. Zde vidíme, že V6_1 dopadla nejhůře. U této varianty došlo k nárůstu R_s oproti V1, což nesplňuje stanovené požadavky a hodnoty O_r se blíží hodnotám O_r pro V1. Varianta V7_1 se svojí hodnotou R_s blíží k hodnotě pro V1, rovnoměrnost rozdělení průtoku na UN1 – UN4 však není splněna. Z toho vyplývá, že V6_1 a V7_1 nijak nesnížily nežádoucí jevy na RO. Ostatní varianty V6_0 a V8_0, V7_0 a V8_1 mají velmi dobrou hodnotu variability hladiny (Tab. 4). Tyto varianty snížily deformaci hladiny oproti V1 a míra rozdělení celkového průtoku u těchto čtyř variant je lepší než u V1.

Na grafu 13 je znázorněné výškové umístění tlumících prvků, to se pohybuje v rozmezí od 0,04 m do 0,46 m. Nejnižší umístěná varianta byla V6_1, kterou by bylo těžké umístit do takové výšky na RO. Jak bylo zmíněné v předchozí kapitole, jsou preferovány tlumící prvky, které mají stejné výškové umístění při pozorování s normou stěnou a bez ní. V této kategorii tento požadavek nesplnil ani jeden tlumící prvek.

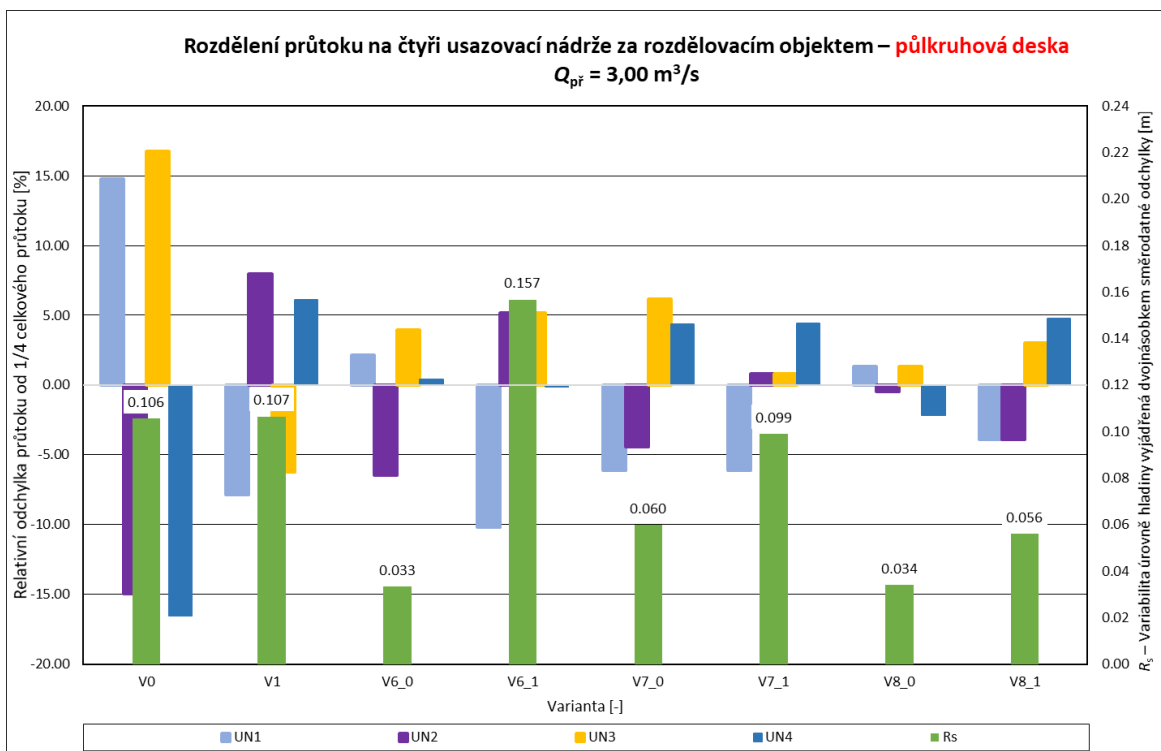
Z této kategorie byly vybrány čtyři varianty i při nesplnění kritéria K . Mezi varianty doporučené k realizaci byly vybrány varianty V6_0, V7_0, V8_0 a V8_1.

Tab. 4 Výsledky spočítaných kritérií pro půlkruhové desky

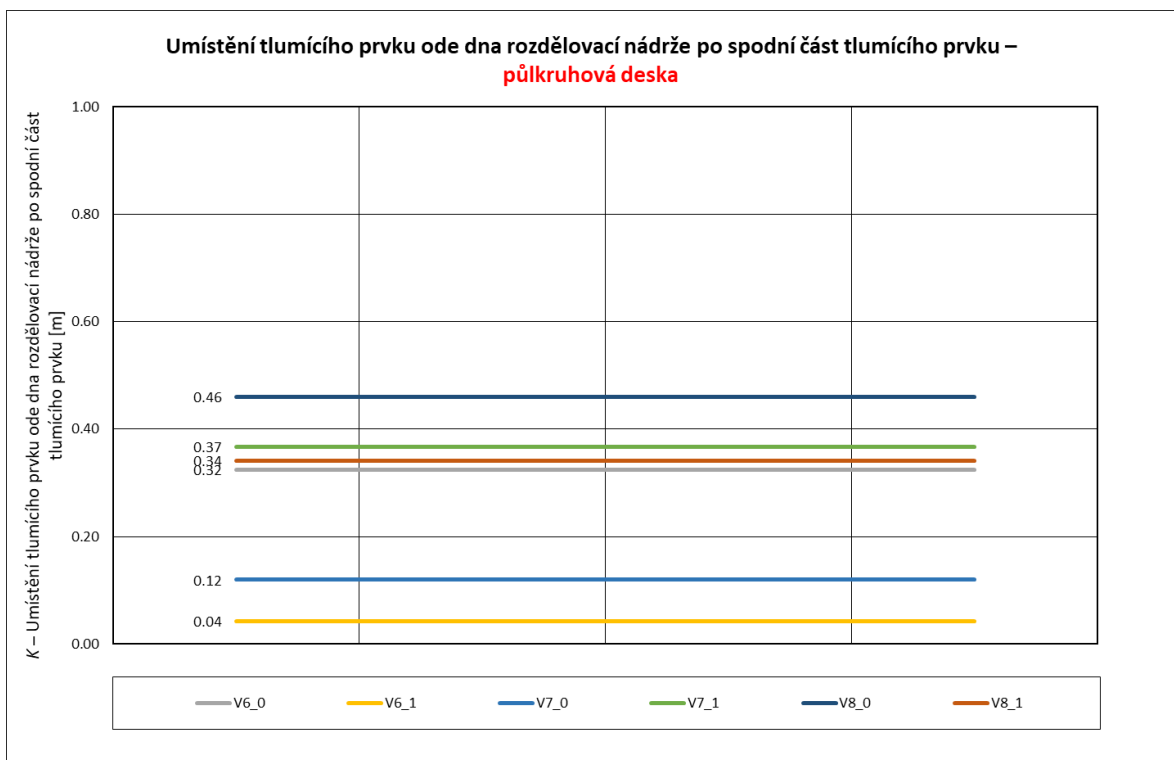
VARIANTA	AKTUÁLNÍ PRŮTOK	O_r				H_{tlak}	R_s	K
		UN1	UN2	UN3	UN4			
	m^3/s	%	%	%	%	m	m	m
0	3.01	14.80	-14.97	16.72	-16.55	0.38	0.11	-
1	2.97	-7.89	7.96	-6.20	6.12	0.47	0.11	-
6_0	3.05	2.15	-6.47	3.93	0.39	0.55	0.03	0.32
6_1	3.12	-10.19	5.16	5.16	-0.13	1.11	0.16	0.04
7_0	3.03	-6.10	-4.41	6.16	4.35	0.55	0.06	0.12
7_1	2.98	-6.10	0.84	0.84	4.42	0.89	0.10	0.37
8_0	3.07	1.31	-0.44	1.31	-2.17	0.49	0.03	0.46
8_1	3.13	-3.90	-3.90	3.01	4.78	0.66	0.06	0.34



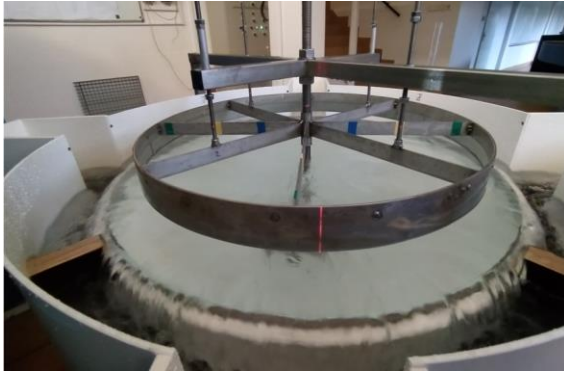
Graf 11 Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m] (sloupcový graf) - půlkruhové desky



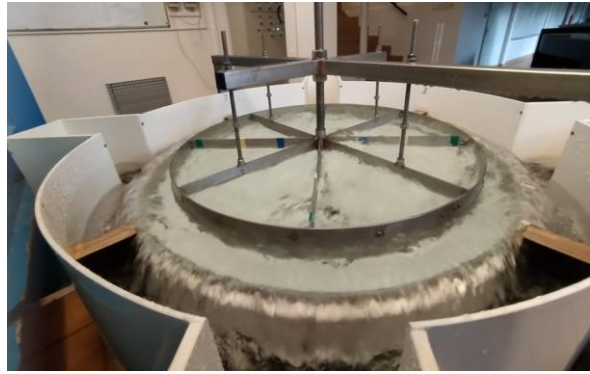
Graf 12 Relativní odchylka průtoku od ¼ celkového průtoku – O_r [%] a Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [%] – půlkruhové desky



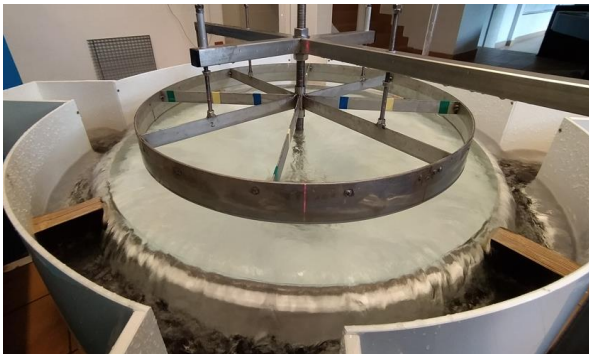
Graf 13 Shodné umístění tlumícího prvku ode dna rozdělovací nádrže po spodní část tlumícího prvku s a bez normy stěny – K [m] – půlkruhové desky



V6_0



V6_1



V7_0



V7_1



V8_0



V8_1

Obr. 31 Proudové poměry při jmenovitém průtoku 3,00 m³/s – půlkruhové desky

7.4 V9 – V12 – KOMBINOVANÉ = KRUHOVÁ DESKA S LÍMCEM

V této kategorii byly zkoušeny kombinované tlumící prvky, které jsou konstruovány jako kruhové desky s límcem. Byly použity dva průměry kruhové desky 1,85 a 2,56 m v kombinaci s límcem o výšce 0,54 a 2,56 m, který byl po celém obvodu (C) nebo jenom na půlce obvodu (C/2).

Varianty V9_0 a V9_1 nebyly posuzovány z důvodu velkého nárůstu H_{tlak} , tuto hodnotu nešlo prakticky reálně vzhledem k její značné velikosti určit. Tlumicí prvek V9 je definován geometrickými parametry $D = 1,85$ m, $L = 0,54$ m a C . Další nestanovená varianta je V12_1, tento tlumicí prvek je definován jako $D = 2,56$ m, $L = 0,70$ m a $C/2$. Tato varianta nebyla taktéž posouzena z důvodu nemožnosti nalezení uspokojivého rozdělení průtoku na $1/4$.

V kategorii 1 - Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany dle grafu 14 při jmenovitém průtoku $3,00$ m³/s došlo k poklesu H_{tlak} u variant V10_0, V10_1 a V12_0 oproti V1. U tlumicího prvku V10 došlo k poklesu o $0,03$ m a u V12_0 o $0,01$ m, vyjádřeno v procentech -7 a -2 %. U tlumicího prvku V11 v obou případech došlo k nárůstu o $0,84$ m, procentuálně vyjádřeno o 180 %. Tato hodnota je vysoká a nevyhovující.

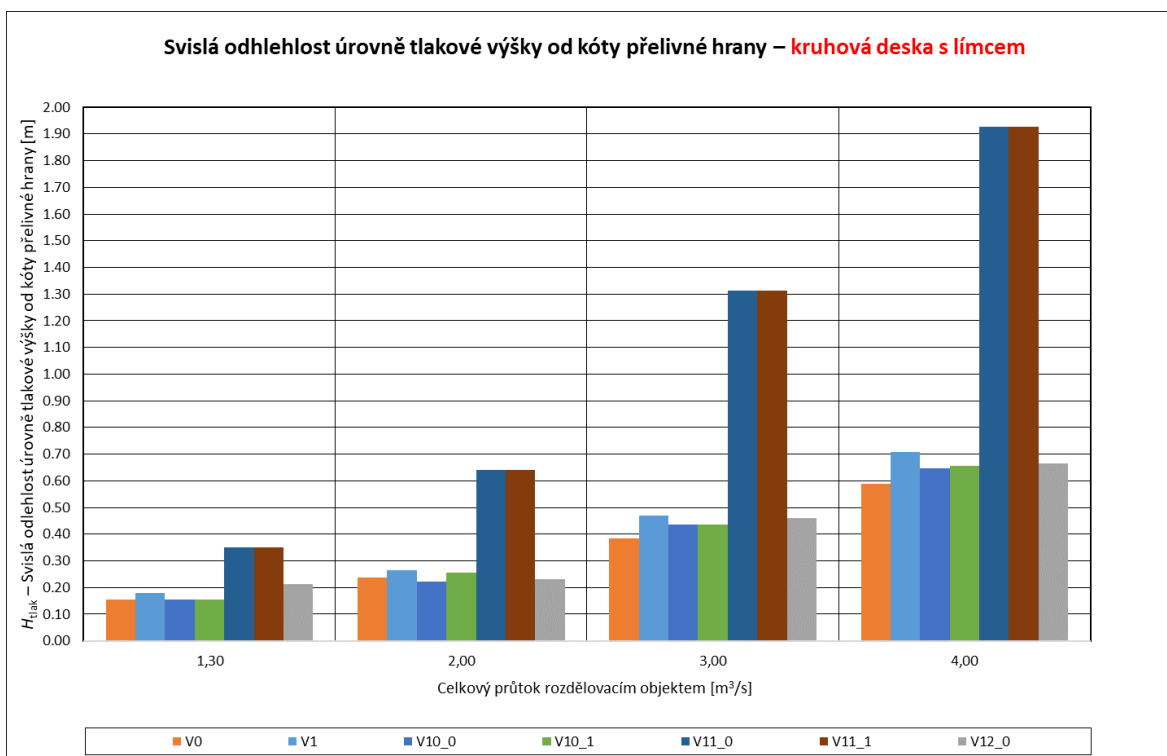
Na grafu 15 vidíme, že kritéria R_s a O_r u všech variant jsou nižší než u varianty V1. Nejnižší hodnotu R_s má varianta V10_1 a nejvyšší hodnotu R_s má varianta V11_0.

Výškové umístění tlumících prvků je graficky znázorněno v grafu 16 a pohybuje se v rozmezí od $0,92$ m do $2,38$ m. Nejvýše umístěným tlumícím prvkem je V12, který má velké rozměry a do takové výšky by byla potřeba velká nosná konstrukce, z tohoto pohledu je tak použití tohoto prvku nevyhovující. Tlumicí prvek V10 i V11 měly stejné výškové umístění při měření s nornou stěnou i bez ní, což odpovídá jednomu z požadavků.

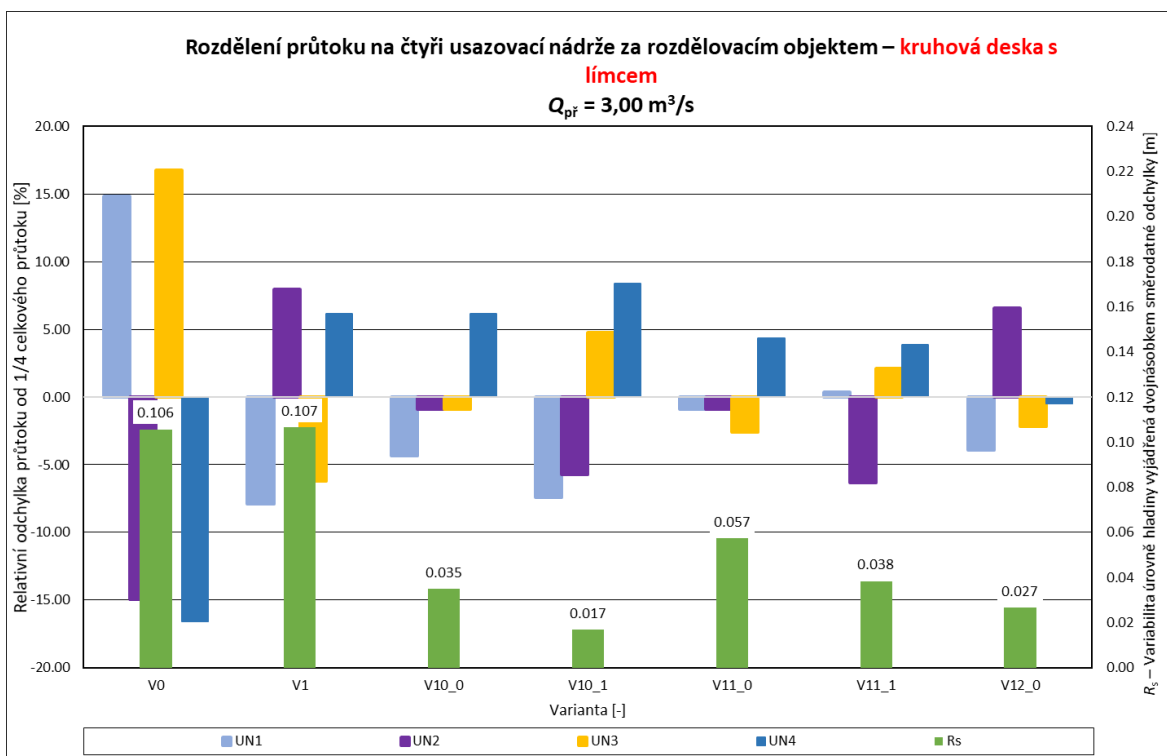
Z této kategorie byl vybraný do kategorie doporučené varianty k realizaci tlumicí prvek V10 v obou variantách V10_0 a V10_1.

Tab. 5 Výsledky spočítaných kritérií pro kombinované

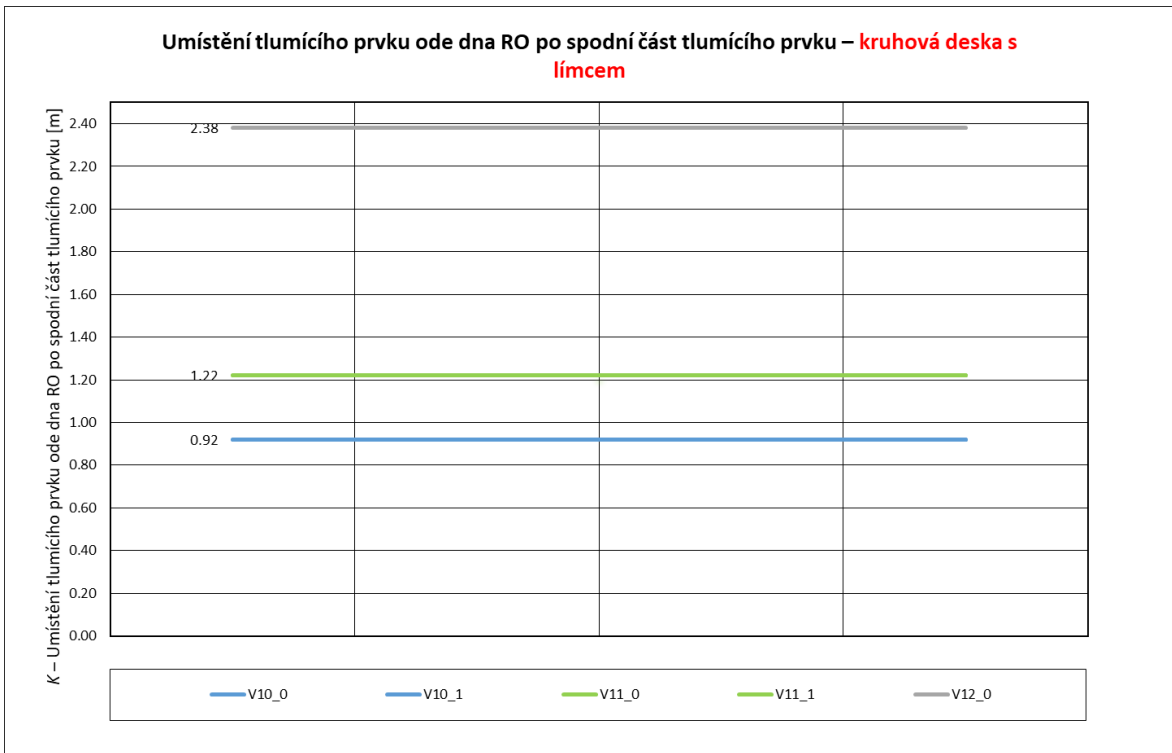
VARIANTA	AKTUÁLNÍ PRŮTOK	O_r				H_{tlak}	R_s	K
		UN1	UN2	UN3	UN4			
	m ³ /s	%	%	%	%	m	m	m
0	3.01	14.80	-14.97	16.72	-16.55	0.38	0.11	-
1	2.97	-7.89	7.96	-6.20	6.12	0.47	0.11	-
9_0	3.05	NESTANOVENO						
9_1	3.12							
10_0	3.09	-4.34	-0.91	-0.91	6.16	0.44	0.03	0.92
10_1	3.02	-7.42	-5.74	4.75	8.40	0.44	0.02	0.92
11_0	3.14	-0.88	-0.88	-2.59	4.36	1.31	0.06	1.22
11_1	3.21	0.38	-6.35	2.11	3.86	1.31	0.04	1.22
12_0	3.13	-3.90	6.58	-2.20	-0.48	0.46	0.03	2.38
12_1	3.13	NESTANOVENO						



Graf 14 Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m] – kombinované



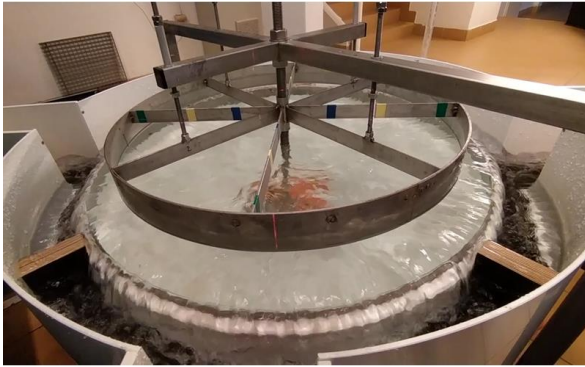
Graf 15 Relativní odchylka průtoku od ¼ celkového průtoku – O_r [%] a Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [%] – kombinované



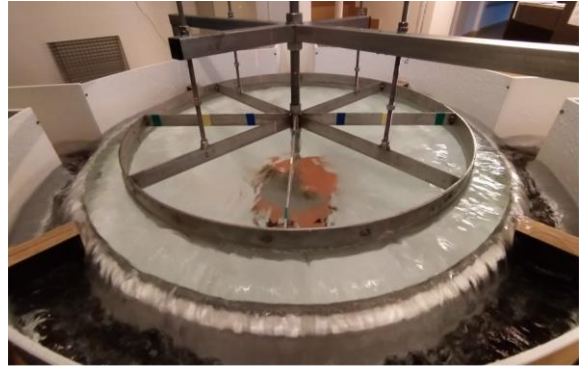
Graf 16 Shodné umístění tlumícího prvku ode dna rozdělovací nádrže po spodní část tlumícího prvku s a bez norné stěny – K [m] – kombinované



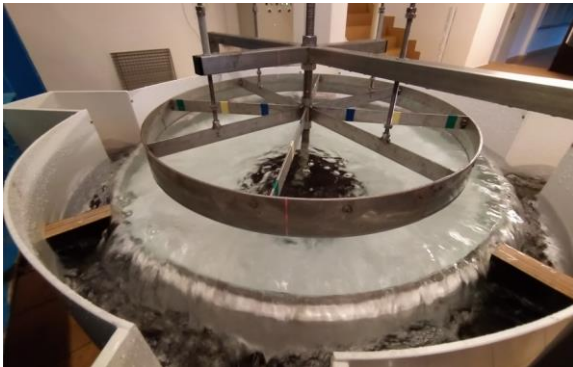
V9_0



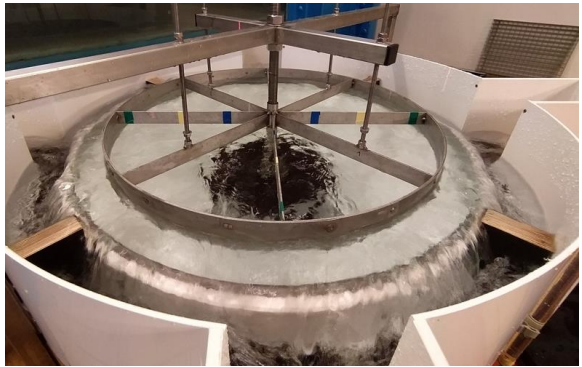
V10_0



V10_1



V11_0



V11_1



V12_0

Obr. 32 Proudové poměry při jmenovitém průtoku $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ – kombinované

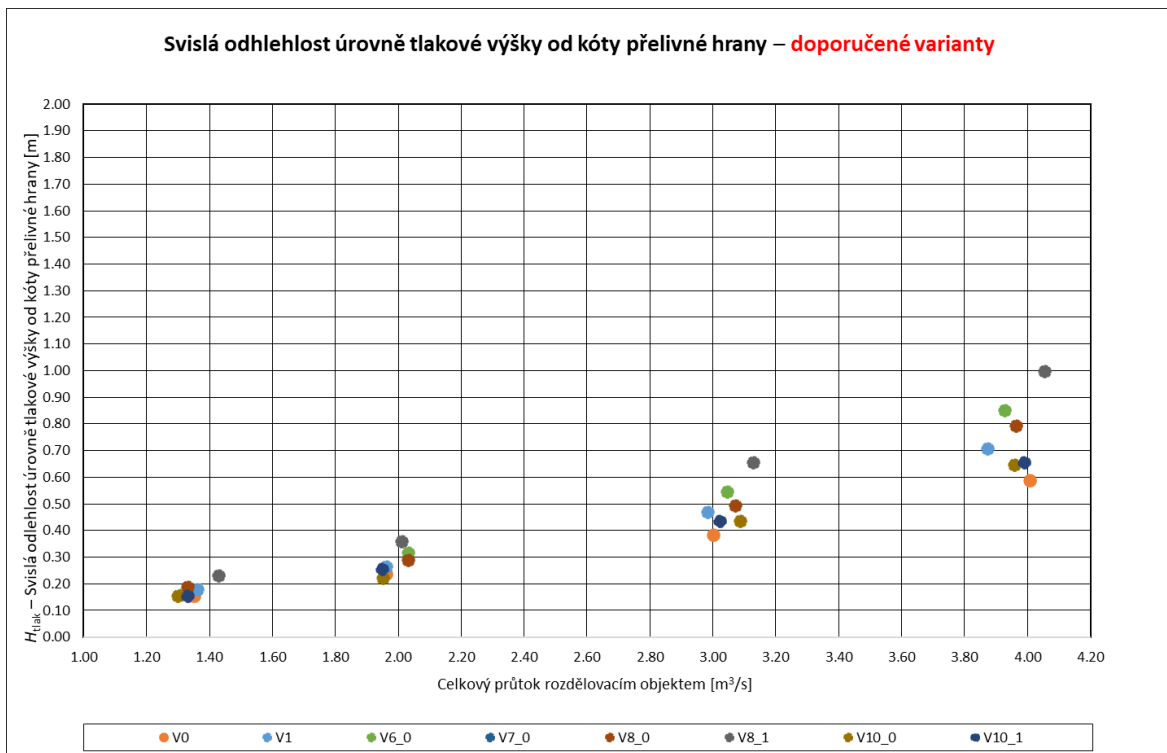
7.5 VARIANTY DOPORUČENÉ K REALIZACI

Do této kategorie byly zařazené varianty z výše prezentovaných kategorií, které měly „nejlepší“ hodnoty kritérií H_{tlak} , O_r , R_s a K a jsou tak vhodné a doporučitelné pro realizaci. Těmito variantami jsou z kategorie půlkruhové desky V6_0, V7_0, V8_0 a V8_1 a z kategorie kruhové desky s límce V10_0 a V10_1. Jejich geometrické parametry jsou uvedeny v Tab. 1.

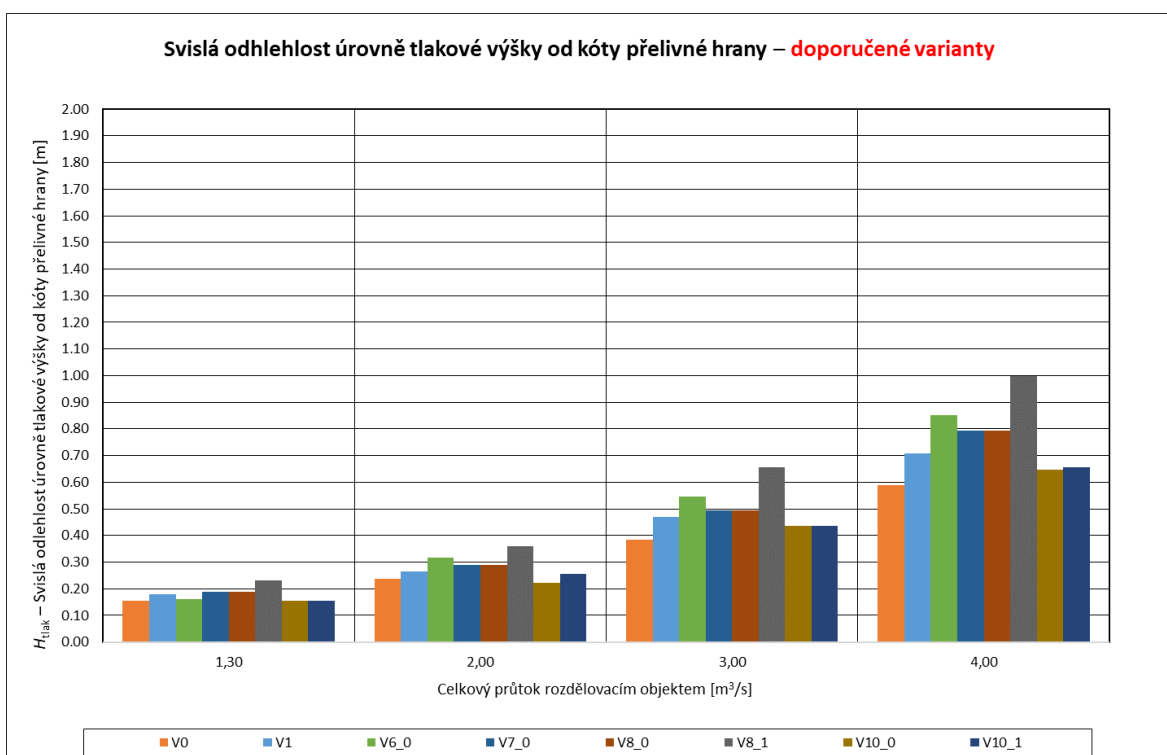
Dosažené hodnoty pro vybrané varianty byly popsány v jednotlivých kategoriích, v této kapitole je pouze číselně a graficky porovnáme.

Tab. 6 Výsledky spočítaných kritérií doporučené k realizaci

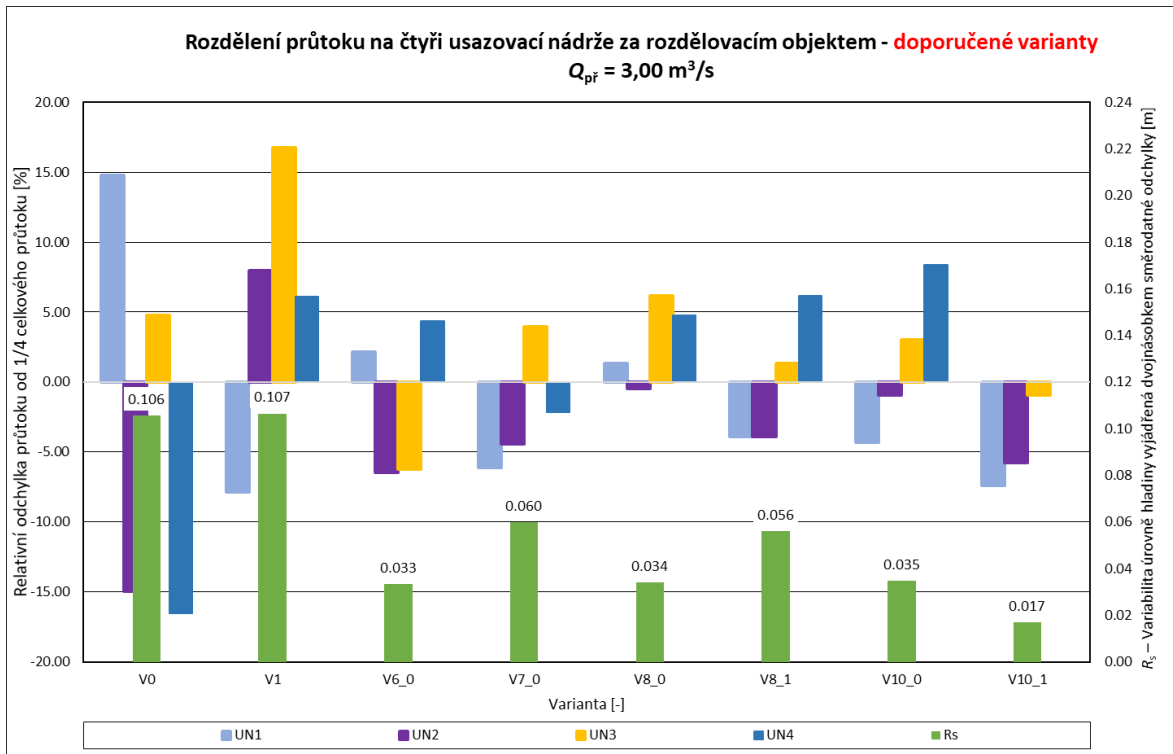
VARIANTA	AKTUÁLNÍ PRŮTOK	O_r				H_{tlak}	R_s	K
		UN1	UN2	UN3	UN4			
	m^3/s	%	%	%	%	m	m	m
0	3.00	14.80	-14.97	16.72	-16.55	0.38	0.11	-
1	2.98	-7.89	7.96	-6.20	6.12	0.47	0.11	-
6_0	3.05	2.15	-6.47	3.93	0.39	0.55	0.03	0.32
7_0	3.03	-6.10	-4.41	6.16	4.35	0.55	0.06	0.12
8_0	3.07	1.31	-0.44	1.31	-2.17	0.49	0.03	0.46
8_1	3.13	-3.90	-3.90	3.01	4.78	0.66	0.06	0.34
10_0	3.09	-4.34	-0.91	-0.91	6.16	0.44	0.03	0.92
10_1	3.02	-7.42	-5.74	4.75	8.40	0.44	0.02	0.92



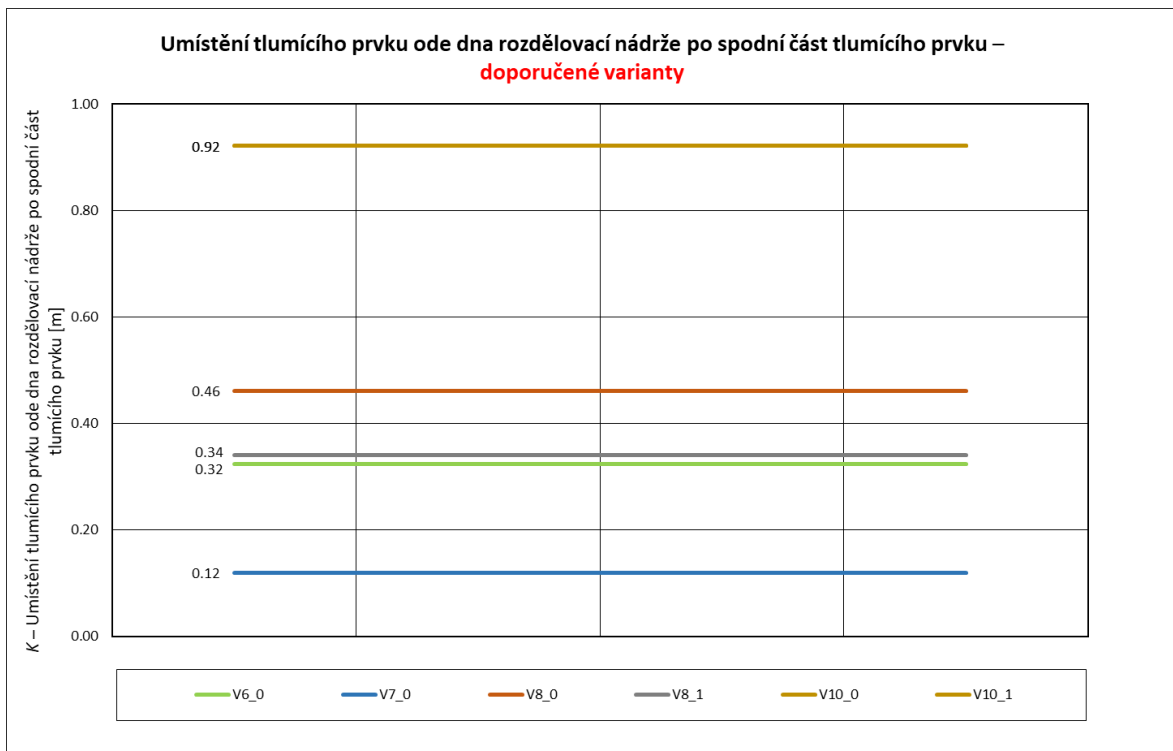
Graf 17 Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m] (bodový graf) – doporučené k realizaci



Graf 18 Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany – H_{tlak} [m] (sloupcový graf) – doporučené k realizaci



Graf 19 Relativní odchylka průtoku od ¼ celkového průtoku – O_r [%] a Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky – R_s [%] – doporučené k realizaci



Graf 20 Shodné umístění tlumícího prvku ode dna rozdělovací nádrže po spodní část tlumícího prvku s a bez normé stěny – K [m] – doporučené k realizaci

Protože všechny hodnoty výsledků kritérií pro jmenovitý průtok 3,00 m³/s byly uvedené v jednotlivých kategoriích, v této kapitole bude vybrán nejvhodnější tlumicí prvek pro realizaci v rozsahu všech jmenovitých průtoků (1,30 – 4,00) m³/s. Výběr bude probíhat pomocí bodového systému, kdy doporučené varianty budou seřazeny od nejvhodnější (ohodnoceno 1 bodem) po nejméně vhodnou variantu (ohodnoceno 8 body) podle kritérií a jmenovitých průtoků. Varianta s nejmenším počtem bodů bude nejvhodnější variantou.

Tab. 7 Bodové ohodnocení podle H_{tlak} – Svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od kóty přelivné hrany

Varianta	Pořadí podle jmenovitého průtoku				Celkový součet	Celkové pořadí
	1,3 m ³ /s	2,0 m ³ /s	3,0 m ³ /s	4,0 m ³ /s		
V0	1	1	1	1	4	1
V1	6	3	4	4	17	4
V6_0	3	7	7	7	24	7
V7_0	5	6	6	6	23	6
V8_0	7	5	5	5	22	5
V8_1	8	8	8	8	32	8
V10_0	2	2	2	3	9	2
V10_1	4	4	3	2	13	3

Podle bodového systému u kritéria H_{tlak} je z tab. 7 zřejmé, že nejvhodnější variantou je V0. H_{tlak} je porovnávána se skutečným stavem díla a to s variantou V1, z toho vyplývá, že při odstranění norné stěny dojde ke snížení H_{tlak} . Ale úprava hydraulických poměrů pro variantu V0 se řešila V1, proto v tomto případě považujeme za nejvíce vyhovující variantu V10_0 jako druhou v pořadí. Třetí nejlepší bodové ohodnocení měla varianta V10_1.

Tab. 8 Bodové ohodnocení podle O_r – Relativní odchylka průtoku od ¼ celkového průtoku

Varianta	Pořadí podle jmenovitého průtoku				Celkový součet	Celkové pořadí
	1,3 m ³ /s	2,0 m ³ /s	3,0 m ³ /s	4,0 m ³ /s		
V0	8	8	8	8	32	8
V1	1	7	7	7	22	6
V6_0	2	4	3	2	11	2
V7_0	5	6	5	6	22	6
V8_0	6	5	1	5	17	4
V8_1	7	2	4	4	17	4
V10_0	3	3	2	1	9	1
V10_1	4	1	6	3	14	3

Pro kritérium O_r získala nejlepší bodové ohodnocení varianta V10_0, která má nejlepší rovnoměrné rozdělení průtoku při jmenovitém průtoku 4,00 m³/s. (tab. 8) Jako druhý skončila varianta V6_0 a jako třetí byla varianta V10_1.

Tab. 9 Bodové ohodnocení podle R_s – Variabilita úrovně hladiny vyjádřená dvojnásobkem směrodatné odchylky

Varianta	Pořadí podle jmenovitého průtoku				Celkový součet	Celkové pořadí
	1,3 m ³ /s	2,0 m ³ /s	3,0 m ³ /s	4,0 m ³ /s		
V0	8	8	7	8	31	8
V1	5	7	8	7	27	7
V6_0	3	4	2	4	13	4
V7_0	6	6	6	5	23	6
V8_0	2	3	2	1	8	1
V8_1	7	3	5	6	21	5
V10_0	1	1	4	3	9	2
V10_1	4	5	1	2	12	3

Z tab. 9 je zřejmé, že nejlépe ke snížení deformace hladiny došlo u varianty V8_0 jako druhá skončila varianta V10_0 a jako třetí varianta V10_1.

Tab. 10 Celkové bodové ohodnocení podle kritérií a stanovení nejvhodnějšího tlumícího prvku

Varianta	Pořadí podle			Celkový součet	Celkové pořadí
	Δ	R_s	H_{tlak}		
V0	8	8	1	17	5
V1	6	7	4	17	5
V6_0	2	4	7	13	4
V7_0	6	6	6	18	8
V8_0	4	1	5	10	3
V8_1	4	5	8	17	5
V10_0	1	2	2	5	1
V10_1	3	3	3	9	2

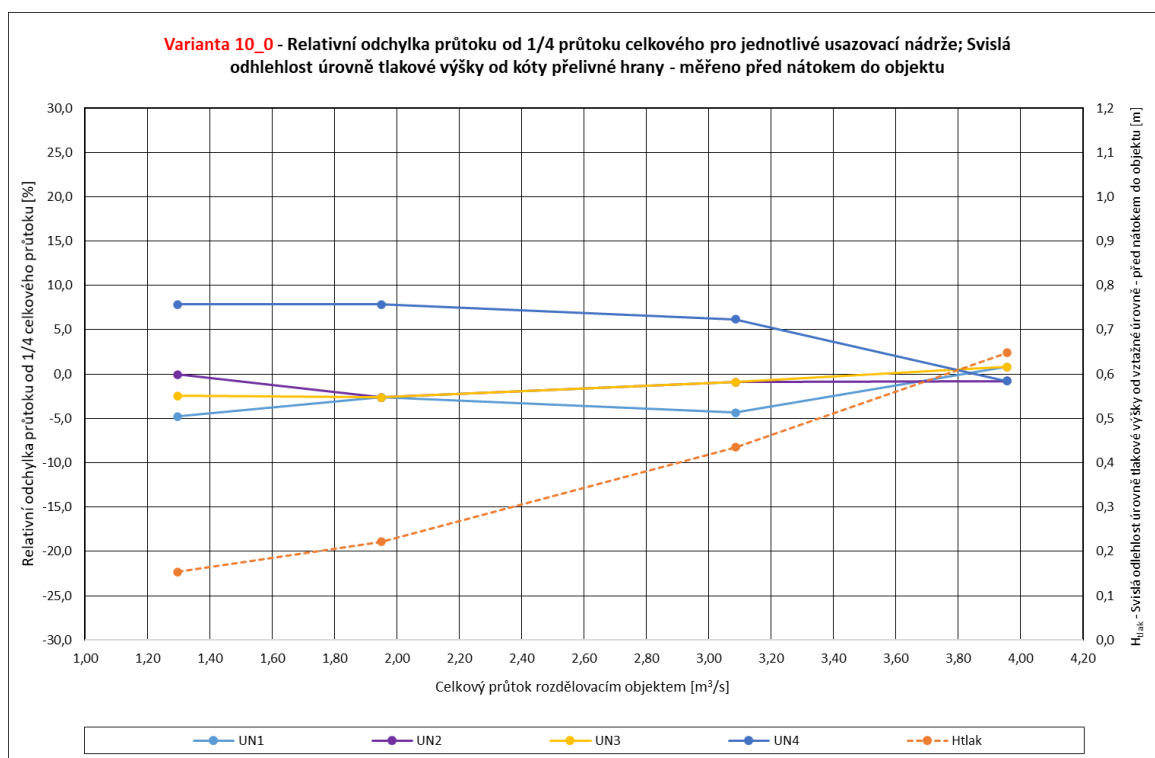
Z bodového ohodnocení byl vybrán jako nejvhodnější tlumící prvek V10, který dosáhl nejméně bodů bez norné stěny i s nornou stěnou a jeho výškové umístění je v obou variantách shodné. Tento tlumící prvek splňuje všechny požadavky uvedené v kapitole 2.1 Požadavky na zlepšení funkce.

7.5.1 Preferovaná varianta V10

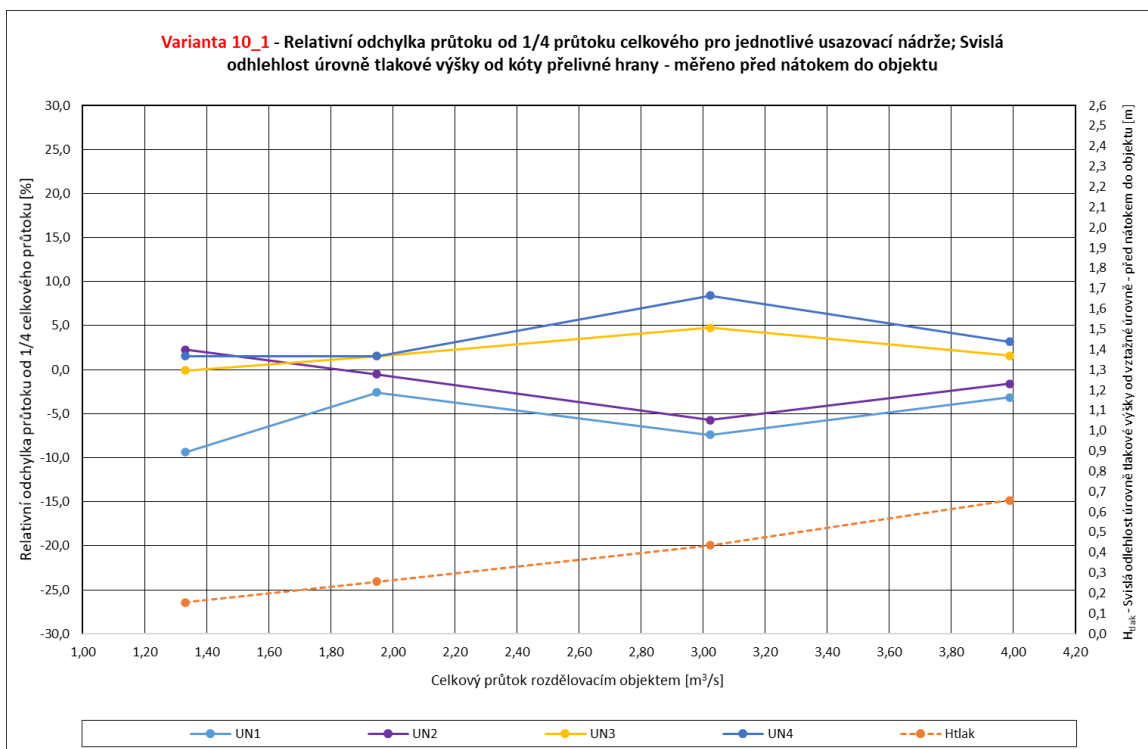
Tlumicí prvek V10 byl vyhodnocený jako nejvíce vyhovující a dle experimentálních zkoušek výrazně snižuje všechny nežádoucí jevy na RO a rovnoměrně rozděluje průtok na UN1 – UN4, jak při průtoku 1,30 m³/s tak při maximálním jmenovitém 4,00 m³/s. Varianta V10 jako jedna z mála vyhovuje s normou stěnou i bez ní. V neposlední řadě je na nás stanovit, která varianta z V10_0 a V10_1 je pro zlepšení funkce RO ta správná.

V této kapitole budeme tedy posuzovat mezi sebou variantu V10 s normou stěnou a bez ní.

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole ztráta mechanické energie v prostoru RO pro variantu V10 v porovnání s variantou V1 je prakticky neutrální. Tudíž nedojde ke zpětnému vzduť a následnému zvýšení hladiny v prostoru vtokové jímky.



Graf 21 Výsledky pro variantu V10_0



Graf 22 Výsledky pro variantu V10_1

Podle parametru variability hladiny jsou zde patrné rozdíly, které lze pozorovat na obr. 33 a obr. 34. Ale obě varianty dle celkového hodnocení parametru variability hladiny jsou velmi příznivé.



$Q_{př} = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$



$Q_{př} = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$



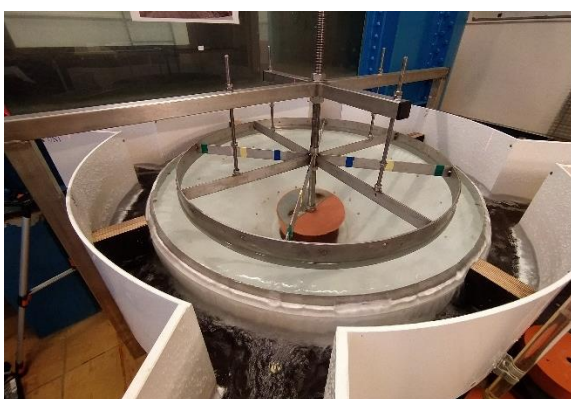
$Q_{př} = 3,00 \text{ m}^3/\text{s}$



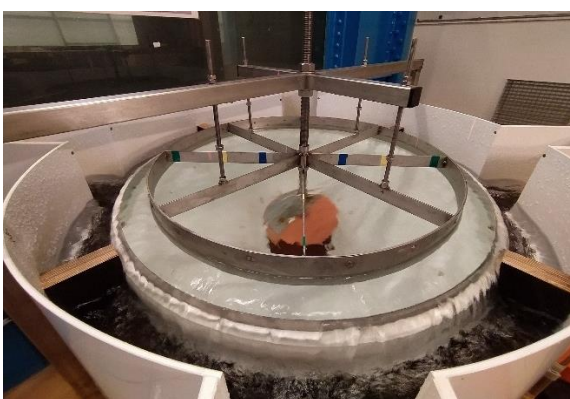
$Q_{př} = 4,00 \text{ m}^3/\text{s}$

Obr. 33 Proudové poměry při variantě V10_0

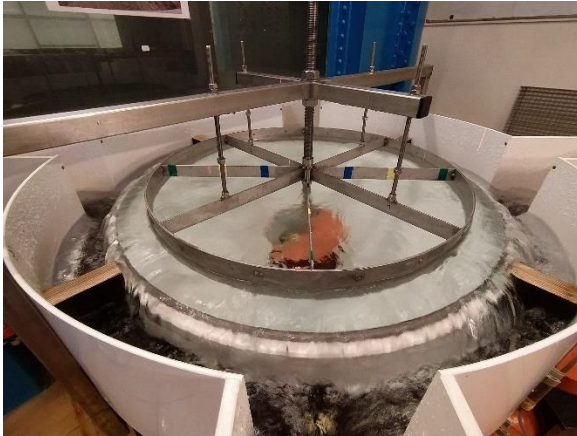
Na obr. 33 a obr. 34 lze pozorovat rozdíl úrovní hladin ve spadišti. Úroveň hladiny ve spadišti na modelu neodpovídala úrovni hladiny na díle. Vzhledem k identické geometrii odtokových potrubí k jednotlivým UN lze očekávat, že jsou jednotlivé sekce shodné a že dělení celkového průtoku na $\frac{1}{4}$ musí být shodné. Proto proběhlo měření na modelu se zvýšenou hladinou při konfiguraci odpovídající variantě V10_1 při jmenovitém průtoku $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Rozdíl hladin výšek ve spadišti při přepočtu na dílo činí výšku cca $0,03 \text{ m}$, což lze zanedbat.



$Q_{př} = 1,30 \text{ m}^3/\text{s}$



$Q_{př} = 2,00 \text{ m}^3/\text{s}$

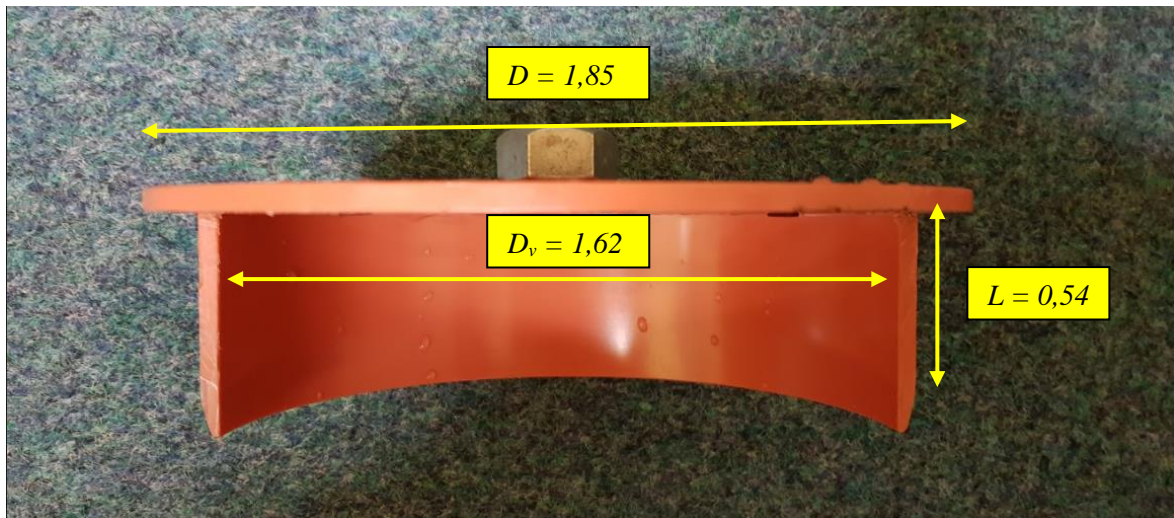


$$Q_{\text{př}} = 3,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{př}} = 4,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obr. 34 Proudové poměry při variantě V10_1

Tvar a rozměry námi preferovaného tlumícího prvku lze pozorovat na obr. 32 a jsou přepočítány na dílo dle stanoveného měřítka. Tlumící prvek V10 je kombinovaný, skládá se z horní kruhové desky o průměru $D = 1,85$ m, límce na polovině obvodu desky, jehož vnitřní průměr je $D_v = 1,62$ m a výška je $L = 0,54$ m. Výškové umístění tohoto prvku ode dna RO po spodní hranu kruhové desky je $K = 0,92$ m.



Obr. 35 Tvar usměrňovacího prvku pro variantu V10, kótováno [m]

Vzhledem k celkovému ponoření tlumícího prvku, hydrostatické tlakové síle, která bude prakticky bez zatížení, a k jeho velikosti lze vztlková síla zanedbat.

8 REALIZACE NÁPRAVNÝCH OPATŘENÍ A JEJICH PROVÁDĚNÍ

Objednavatelem byla zvolena námi doporučená varianta tlumícího prvku V10_0. Výrobu tlumícího prvku realizovala firma Záhorský syn, spol. s r. o. Firma zhotovila návrh výroby tlumícího prvku včetně jeho ukotvení ve spolupráci se statikem. (Obr. 36)

Tlumící prvek je vyrobený z nerezového materiálu tl. 12 mm. Všechny části tlumícího prvku byly vyřezány a spojeny svarem. Pro zvýšení odolnosti tlumícího prvku proti očekávaným působícím silám byla kruhová deska i límec vyztuženy žebrováním. Tlumící prvek je opatřený čtyřmi kotvícími rovinnými deskami.

Tlumící prvek byl instalovaný na RO dne 3. června 2021, kdy došlo k odstávce RO a UN a byly využity 2 náhradní UN. Po odstavení přítoku směrem k RO byla uzavřena stavidla odtokových jímek jednotlivých UN a prostor RO byl zcela vyprázdněn mobilním čerpadlem a následně zbaven největších nečistot oplachem. [10]

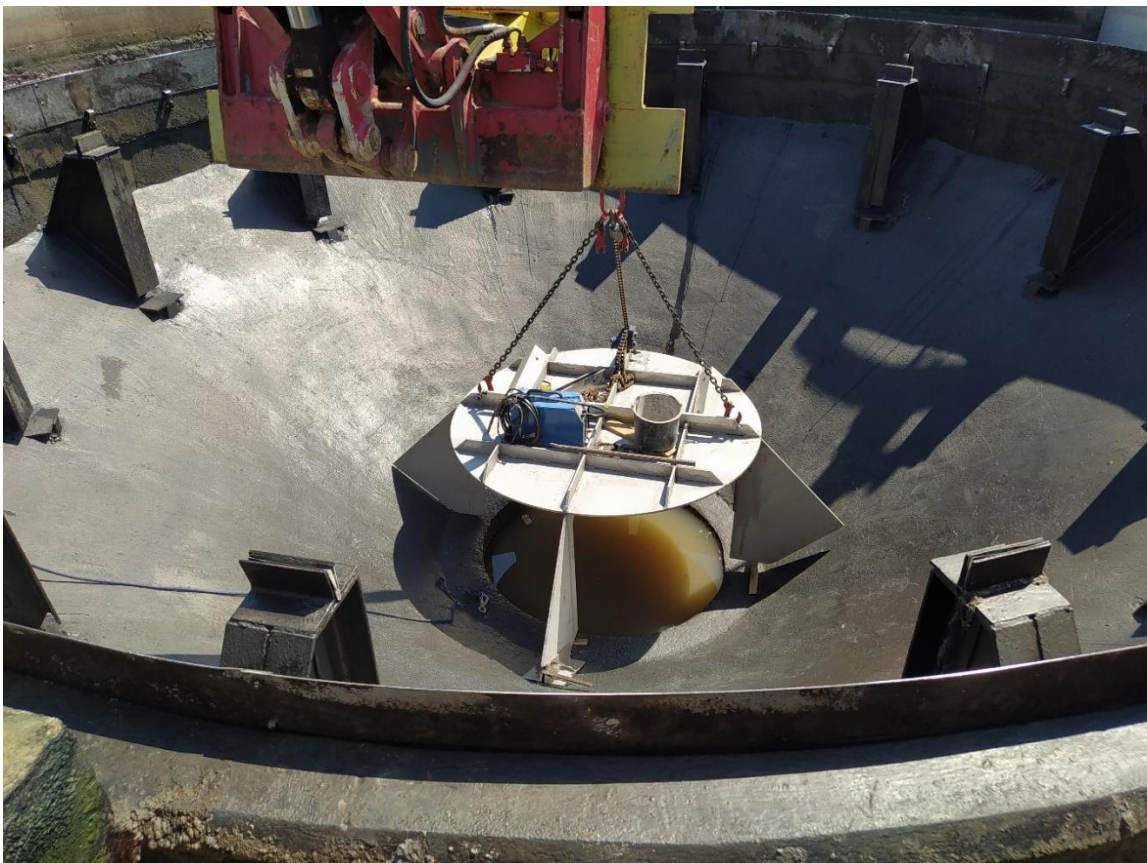
Po odstávce RO byla demontována normá stěna za pomoci jeřábu, z toho důvodu, že se objednatel rozhodl instalaci realizovat bez normé stěny. Úchytné pilíře normé stěny zůstaly součástí RO.

Po provedení přípravných prací mohl být na RO umístěn tlumící prvek za pomoci jeřábu a pracovníků. Na RO byl směrově usazený stejně jako na modelu při experimentálních zkouškách, tedy je umístěný do středu RO nad přívodní potrubí s tím, že límec je blíže UN1 a UN3.

V první fázi při umísťování byl tlumící prvek provizorně upevněn a byly zaměřeny potřebné úpravy tvaru konce úchytných desek podle nerovností stěn RO. (Obr. 37) Po úpravě byl tlumící prvek spuštěn do prostoru RO a pomocí vodováhy a podkladních klínů vyrovnán do roviny. Následně z každé strany úchytné desky byl do stěny RO přišroubovaný L profil pomocí kotev ukotvených za pomoci chemické malty. Následně byly tyto přivařeny k tlumícímu prvku. Po dokončení prací a úklidu mohl být RO uveden zpátky do provozu.



Obr. 36 Tlumící prvek V10 před usazením na RO



Obr. 37 Usazení tlumícího prvku V10 na RO



Obr. 38 Usazený tlumící prvek V10 na RO

8.1 PODOBNOST PROUDOVÝCH POMĚRŮ EXPERIMENTÁLNÍCH ZKOUŠEK A REÁLNÉHO PROVOZU

Po nainstalování varianty tlumícího prvku V10_0 na RO došlo ke zklidnění deformace hladiny při průtoku $1,30 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento průtok byl puštěný na RO hned po nainstalování. Vzhledem k velkým letním bouřkám byl na RO pozorován i průtok $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$, kdy byl tlumící prvek maximálně zatížen a otestován.

Z obr. 39 a 40 lze pozorovat úspěch s podobností chování vody na modelu a na díle, snížení deformace hladiny a prakticky stejnoměrné hydraulické zatížení po celém obvodu přelivné hrany. Lze tak opět za těchto provozních podmínek počítat s rovnoměrností rozdělení celkového průtoku na čtvrtiny. [11] Celkové hodnocení je pouze kvalitativní a po instalaci tlumícího prvku nedošlo k měření jednotlivých parametrů (úrovni hladin či jednotlivých dílčích průtoků).

Potěšující rovněž bylo i to, že došlo ke snížení hladiny ve vtokové jímce před RO i při jmenovitém průtoku $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$. A tudíž došlo ke shodě experimentálních zkoušek s výsledkem zjištěným na ČOV. Snížení hladiny ve vtokové jímce, resp. její nenavýšení bylo

jedno z důležitých rozhodujících kritérií objednatele pro výběr varianty vhodného tlumícího prvku. Nyní tak lze navýšit kapacitu příslušné linky ČOV až o $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. 39 Proudové poměry upraveného RO při $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$



Obr. 40 Proudové poměry na modelu RO při $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo najít vhodnou úpravu hydraulických poměrů v prostoru rozdělovacího objektu čtyř usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice pomocí experimentálních zkoušek na fyzikálním modelu (v délkovém měřítku 1:8,53).

Z předběžného posouzení RO bylo navrženo na RO umístit tlumící prvek. Na modelu byly zkoušeny 3 kategorie tlumících prvků (kruhové desky, půlkruhové desky a kombinované) o různých rozměrech v celkovém počtu 11. V minulosti došlo k dočasnému upravení hydraulických poměrů pomocí norné stěny, proto byly tlumící prvky pozorovány ve dvou variantách s a bez norné stěny. Na ČOV se průtoky pohybují v rozmezí (1,30 – 4,00) m³/s. Z tohoto rozmezí byly stanovené čtyři jmenovité průtoky 1,30 m³/s, 2,00 m³/s, 3,00 m³/s a 4,00 m³/s, při kterých byly pozorovány na modelu hydraulické poměry s jednotlivými tlumícími prvky.

Při experimentálních zkouškách byly měřené parametry, ze kterých byla stanovena porovnávací kritéria, podle kterých se hledalo vhodné řešení při jednom vybraném jmenovitém průtoku 3,00 m³/s. Ze všech kategorií bylo vybráno 6 doporučených tlumících prvků, které byly předloženy investorovi. Jednalo se o všechny tlumící prvky v kategorii půlkruhové desky, kde vyhověly všechny bez norné stěny, pouze půlkruhová deska o největším průměru vyhověla i s nornou stěnou. Z kategorie kruhové desky nevyhověl žádný tlumící prvek a z kategorie kombinované vyhověla kruhová deska s límcem okolo poloviny jejího obvodu. Tento prvek vyhověl s nornou stěnou i bez ní.

Investorem byla vybrána varianta kombinovaného tlumícího prvku ve variantě bez norné stěny. Na výrobu tlumícího prvku bylo vyhlášeno výběrové řízení, které vyhrála firma Záhorský a syn, spol. s. r. o.. Tato firma ve spolupráci s pracovníky LVV a statikem navrhla materiál, spoje, ukotvení a vyztužení tlumícího prvku při zachování námi navržených geometrických parametrů. K instalaci tlumícího prvku na RO došlo 3. června 2021 za příznivých podmínek a po několika hodinové odstávce byl RO i s tlumícím prvkem uvedený do provozu.

Dle kvalitativního hodnocení tlumící prvek splnil svůj účel a upravil hydraulické poměry na RO ve shodě s hydraulickými poměry při pozorování experimentálních zkoušek na modelu. Realizací tak došlo ke snížení nežádoucích jevů na RO a umožnění navýšit kapacitu příslušné linky ČOV o 0,10 m³/s.

10 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] ŽOUŽELA M., ŠENKOVÁ M. *Optimalizace hydraulických poměrů rozdělovacího objektu UN na ČOV Brno-Modřice (fyzikální modelový výzkum)*. Brno, 2020. Výzkumná zpráva. LVV – FAST – VUT v Brně, 2020.
- [2] Čištění odpadních vod. In: *České vysoké učení technické v Praze: Portál Fakulty stavební* [online]. s. 26 [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Cistení_odpadnich_vod.pdf
- [3] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX a Radim MIFKA. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 1 STOKOVÁNÍ*. Brno, 2006. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
- [4] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX a Radim MIFKA. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 2 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD*. Brno, 2006. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] BOOR, Boris. *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1968. 516 s.
- [6] *VEGAspol v.o.s.: Čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <http://www.cistirna-odpadnich-vod.cz/>
- [7] NÁDRŽE NA DEŠŤOVOU VODU AS-REWA. *Asio: čištění a úprava vod* [online]. 2011 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-rewa>
- [8] KUNCL, VOJTĚCH. *VYHODNOCENÍ PROVOZU ČOV KRÁLOVICE*. Praha, 2017. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [9] ČÁBELKA, Jaroslav a Pavel GABRIEL. *Matematické a fyzikální modelování v hydrotechnice*. Praha: Academia, 1987.
- [10] ŽOUŽELA M., SKŘÍTESKÝ L. Usměrnovací prvek pro homogenizaci proudových poměrů v rozdělovacím objektu usazovacích nádrží na ČOV Brno-Modřice. Brno, SOVAK: *ČASOPIS OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ*. 2021; 30(11):22-25.
- [11] ŽOUŽELA M., ŠENKOVÁ M., SKŘÍTESKÝ L. Optimalizace hydraulických poměrů rozdělovacího objektu před čtyřmi usazovacími nádržemi na ČOV Brno-Modřice. Brno, SOVAK: *ČASOPIS OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ*. 2021; 30(3):24-31.
- [12] ŽOUŽELA M., ŠNELEROVÁ M., Rekonstrukce a provoz nejstarší čerpací stanice Laboratoře Ústavu vodních staveb Fakulty stavební VUT v Brně. *SOVAK: ČASOPIS OBORU VODOVODŮ A KANALIZACÍ*. 2009, 18(10), 5.

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 PŘEHLED POSUZOVANÝCH VARIANT S GEOMETRICKÝMI PARAMETRY PO PŘEPOČTU NA DÍLO.....	49
TAB. 2 VÝSLEDKY SPOČÍTANÝCH KRITÉRIÍ PRO STÁVAJÍCÍ STAV	51
TAB. 3 VÝSLEDKY SPOČÍTANÝCH KRITÉRIÍ PRO KRUHOVÉ DESKY	55
TAB. 4 VÝSLEDKY SPOČÍTANÝCH KRITÉRIÍ PRO PŮLKRUHOVÉ DESKY	59
TAB. 5 VÝSLEDKY SPOČÍTANÝCH KRITÉRIÍ PRO KOMBINOVANÉ	62
TAB. 6 VÝSLEDKY SPOČÍTANÝCH KRITÉRIÍ DOPORUČENÉ K REALIZACI	66
TAB. 7 BODOVÉ OHODNOCENÍ PODLE HTLAK – SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY	69
TAB. 8 BODOVÉ OHODNOCENÍ PODLE OR – RELATIVNÍ ODCHYLKA PRŮTOKU OD ¼ CELKOVÉHO PRŮTOKU	69
TAB. 9 BODOVÉ OHODNOCENÍ PODLE RS – VARIABILITA ÚROVNĚ HLADINY VYJÁDŘENÁ DVOJNÁSOBKEM SMĚRODATNÉ ODCHYLKY	70
TAB. 10 CELKOVÉ BODOVÉ OHODNOCENÍ PODLE KRITÉRIÍ A STANOVENÍ NEJVHODNĚJŠÍHO TLUMÍČÍHO PRVKU	70

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 KRUHOVÁ/RADIÁLNÍ ROZDĚLOVACÍ NÁDRŽ [9]	12
OBR. 2 ROZDĚLOVACÍ (OBJEKT) POTRUBÍ – PŘELIVNÁ HRANA [6]	13
OBR. 3 ČOV MORAVSKÁ TŘEBOVÁ – ŽLABOVÝ RO S NÁVODNÍMI PILÍŘI [10]	13
OBR. 4 KOMBINOVANÝ RO S NÁVODNÍMI PILÍŘI I PŘELIVNÝMI HRANAMI [9]	14
OBR. 5 TVARY NÁDRŽÍ A) KRUHOVÁ/VÁLCOVÁ B) RADIÁLNÍ/TRYCHTÝŘOVÁ C) PRAVOÚHLÁ D) KOMBINOVANÁ [8,9]	15
OBR. 6 HORIZONTÁLNÍ ZAÚSTĚNÍ PŘÍVODNÍHO POTRUBÍ BLÍŽE KE DNU [10]	16
OBR. 7 SESTAVA NA KONCI PŘÍVODNÍHO POTRUBÍ PŘI NÁTOKU DO RO	18
OBR. 8 NÁVRH ČOV ASIO SPOL., DOSAZOVACÍ NÁDRŽ, SMĚR NÁTOKU HORIZONTÁLNÍ, VTOKOVÝ OBJEKT UKLIDŇOVACÍ VÁLEC [5]	19
OBR. 9 RO, ODTOKOVÝ OBJEKT – PŘELIVNÁ HRANA + SPADIŠTĚ [9]	20
OBR. 10 NÁVRH ČOV ASCIO SPOL., ODTOKOVÁ ČÁST, ROZDĚLENÍ POMOCÍ NORNÉ STĚNY [5]	20
OBR. 11 SITUACE RO V MÍSTĚ ČOV BRNO-MODŘICE [3]	21
OBR. 12 POHLED DO PROSTORU RO BĚHEM INSTALACE TLUMÍČÍHO PRVKU JIŽ S DEMONTOVANOU NORNOU STĚNOU	22
OBR. 13 MONTÁŽ NORNÉ STĚNY	23
OBR. 14 ŘEZ RO [3]	23
OBR. 15 PŮDORYS RO [3]	24
OBR. 16 PROUDOVÉ POMĚRY V PROSTORU RO PŘI PRŮTOKU CCA 3,00 m ³ /s PŘI ODTOKU NA UN	25
OBR. 17 CELKOVÝ POHLED NA USPOŘÁDÁNÍ MODELU V PROSTORU LABORATOŘE5	28
OBR. 18 SPECIÁLNÍ NOSNÁ KONSTRUKCE	30
OBR. 19 POHLED NA RO, MĚŘÍCÍ A ZÁZNAMOVOU TECHNIKU	31
OBR. 20 PROTIPROUDNÍ POHLED NA SOUPRAVU ČTYŘ IDENTICKÝCH PŘELIVŮ S TROJÚHELNÍKOVÝMI VÝŘEZY	31
OBR. 21 MĚŘENÉ BODY U PARAMETRŮ 1–3	36
OBR. 22 MĚŘENÍ PARAMETRU 4 – VÝŠKOVÉ UMÍSTĚNÍ TLUMÍČÍHO PRVKU POMOCÍ OCELOVÉ MĚRKY	37
OBR. 23 EXTRÉMNÍ SVISLÝCH ODLEHLOSTÍ ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY U V2_1 (VLEVO) A V1 (VPRAVO)	38
OBR. 24 MĚRNÉ BODY NA „ORANŽOVÉ“ RADIÁLE MEZI UN1 A UN4 PRO STANOVENÍ ÚROVNĚ HLADINY	40
OBR. 25 TLUMÍČÍ PRVKY	47
OBR. 26 TLUMÍČÍ PRVEK – KRUHOVÁ DESKA – VARIANTA V3	47
OBR. 27 TLUMÍČÍ PRVEK – PŮLKRUHOVÁ DESKA – VARIANTA V8	48
OBR. 28 TLUMÍČÍ PRVEK – KRUHOVÁ DESKA S C/2 LÍMCEM – VARIANTA V10	48
OBR. 29 PROUDOVÉ POMĚRY PŘI PRŮTOKU OKOLO 3,00 m ³ /s – STÁVAJÍCÍ STAV	53
OBR. 30 PROUDOVÉ POMĚRY PŘI JMENOVITÉM PRŮTOKU 3,00 m ³ /s – KRUHOVÉ DESKY	57
OBR. 31 PROUDOVÉ POMĚRY PŘI JMENOVITÉM PRŮTOKU 3,00 m ³ /s – PŮLKRUHOVÉ DESKY	61
OBR. 32 PROUDOVÉ POMĚRY PŘI JMENOVITÉM PRŮTOKU 3,00 m ³ /s – KOMBINOVANÉ	65
OBR. 33 PROUDOVÉ POMĚRY PŘI VARIANTĚ V10_0	73
OBR. 34 PROUDOVÉ POMĚRY PŘI VARIANTĚ V10_1	74
OBR. 35 TVAR USMĚRŇOVACÍHO PRVKU PRO VARIANTU V10, KÓTOVÁNO [M]	74
OBR. 36 TLUMÍČÍ PRVEK V10 PŘED USAZENÍM NA RO	76
OBR. 37 USAZENÍ TLUMÍČÍHO PRVKU V10 NA RO	76
OBR. 38 USAZENÝ TLUMÍČÍ PRVEK V10 NA RO	77
OBR. 39 PROUDOVÉ POMĚRY UPRAVENÉHO RO PŘI 3,00 m ³ /s	78

OBR. 40 PROUDOVÉ POMĚRY NA MODELU RO PŘI 3,00 M³/S 78

SEZNAM GRAFŮ

GRAF 1 PARAMETR 1 - SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY	38
GRAF 2 PARAMETR 2 – PRŮBĚH HLADIN NA RADIÁLÁCH V PROSTORU RO	39
GRAF 3 PARAMETR 3 – ÚROVEŇ HLADINY PROUDU VEDLE DĚLÍCÍCH PILÍRKŮ	41
GRAF 4 PARAMETR 4 – VÝŠKOVÉ UMÍSTĚNÍ TLUMÍČÍHO PRVKU ODE DNA RO	42
GRAF 5 PARAMETR 5 – PŘEPADOVÁ VÝŠKA NA PŘELIVU ZA ODTOKEM PŘEPOČÍTÁNO NA ROZDĚLENÍ PRŮTOKU NA UN1 – UN4	43
GRAF 6 SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY – H_{TLAK} [M] (SLOUPCOVÝ GRAF) – STÁVAJÍCÍ STAV	51
GRAF 7 RELATIVNÍ ODCHYLKA PRŮTOKU OD ¼ CELKOVÉHO PRŮTOKU – O_R [%] A VARIABILITA ÚROVNĚ HLADINY VYJÁDŘENÁ DVOJNÁSOBKEM SMĚRODATNÉ ODCHYLKY – R_s [%] – STÁVAJÍCÍ STAV	52
GRAF 8 SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY – H_{TLAK} [M] - KRUHOVÉ DESKY	55
GRAF 9 RELATIVNÍ ODCHYLKA PRŮTOKU OD ¼ CELKOVÉHO PRŮTOKU – O_R [%] A VARIABILITA ÚROVNĚ HLADINY VYJÁDŘENÁ DVOJNÁSOBKEM SMĚRODATNÉ ODCHYLKY – R_s [%] – KRUHOVÉ DESKY	56
GRAF 10 SHODNÉ UMÍSTĚNÍ TLUMÍČÍHO PRVKU ODE DNA ROZDĚLOVACÍ NÁDRŽE PO SPODNÍ ČÁST TLUMÍČÍHO PRVKU S A BEZ NORNÉ STĚNY – K [M] – KRUHOVÉ DESKY	56
GRAF 11 SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY – H_{TLAK} [M] (SLOUPCOVÝ GRAF) - PŮLKRUHOVÉ DESKY	59
GRAF 12 RELATIVNÍ ODCHYLKA PRŮTOKU OD ¼ CELKOVÉHO PRŮTOKU – O_R [%] A VARIABILITA ÚROVNĚ HLADINY VYJÁDŘENÁ DVOJNÁSOBKEM SMĚRODATNÉ ODCHYLKY – R_s [%] – PŮLKRUHOVÉ DESKY	60
GRAF 13 SHODNÉ UMÍSTĚNÍ TLUMÍČÍHO PRVKU ODE DNA ROZDĚLOVACÍ NÁDRŽE PO SPODNÍ ČÁST TLUMÍČÍHO PRVKU S A BEZ NORNÉ STĚNY – K [M] – PŮLKRUHOVÉ DESKY	60
GRAF 14 SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY – H_{TLAK} [M] – KOMBINOVANÉ	63
GRAF 15 RELATIVNÍ ODCHYLKA PRŮTOKU OD ¼ CELKOVÉHO PRŮTOKU – O_R [%] A VARIABILITA ÚROVNĚ HLADINY VYJÁDŘENÁ DVOJNÁSOBKEM SMĚRODATNÉ ODCHYLKY – R_s [%] – KOMBINOVANÉ	63
GRAF 16 SHODNÉ UMÍSTĚNÍ TLUMÍČÍHO PRVKU ODE DNA ROZDĚLOVACÍ NÁDRŽE PO SPODNÍ ČÁST TLUMÍČÍHO PRVKU S A BEZ NORNÉ STĚNY – K [M] – KOMBINOVANÉ	64

GRAF 17 SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY – H_{TLAK} [M] (BODOVÝ GRAF) – DOPORUČENÉ K REALIZACI.....	67
GRAF 18 SVISLÁ ODLEHLOST ÚROVNĚ TLAKOVÉ VÝŠKY OD KÓTY PŘELIVNÉ HRANY – H_{TLAK} [M] (SLOUPCOVÝ GRAF) – DOPORUČENÉ K REALIZACI.....	67
GRAF 19 RELATIVNÍ ODCHYLKA PRŮTOKU OD $\frac{1}{4}$ CELKOVÉHO PRŮTOKU – O_r [%] A VARIABILITA ÚROVNĚ HLADINY VYJÁDŘENÁ DVOJNÁSOBKEM SMĚRODATNÉ ODCHYLKY – R_s [%] – DOPORUČENÉ K REALIZACI	68
GRAF 20 SHODNÉ UMÍSTĚNÍ TLUMÍČÍHO PRVKU ODE DNA ROZDĚLOVACÍ NÁDRŽE PO SPODNÍ ČÁST TLUMÍČÍHO PRVKU S A BEZ NORNÉ STĚNY – K [M] – DOPORUČENÉ K REALIZACI..	68
GRAF 22 VÝSLEDKY PRO VARIANTU V10_0.....	71
GRAF 23 VÝSLEDKY PRO VARIANTU V10_1	72

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV ... čistírna odpadních vod

RO ... rozdělovací objekt

UN ... usazovací nádrž

UN1 – UN4 ... usazovací nádrže

P ... pilíř

LVV ... Laboratoř vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty Stavební Vysokého učení technického v Brně

ČS ... čerpací stanici

PVC ... polyvinylchlorid

l ... délka

t ... čas

m ... hmotnost

v ... vztažná rychlost proudu [m/s]

g ... gravitační zrychlení [m^2/s]

l_s ... charakteristický vztažný rozměr ve skutečnostech (dílo) [m]

l_m ... charakteristický vztažný rozměr na modelu [m]

v ... rychlost proudu [m/s]

Q ... průtok [m^3/s]

n_s ... předpokládaná drsnost omočeného povrchu na díle [-]

n_m ... předpokládaná drsnost omočeného povrchu na modelu [-]

V ... varianta

H_{tlak} ... svislá odlehlost úrovně tlakové výšky na reálném díle [m]

Z ... svislá odlehlost mezi vztažnou úrovní a laserovou rovinou [m]

Z_{tlak} ... svislá odlehlost úrovně tlakové výšky od laserové roviny = parametr 1 [m]

M ... měřítko délek [-]

Q_{UN} ... průtok na přelivu za odtokem [m^3/s]

z_{UN} ... přepadová výška na přelivu za odtokem [m]

O_r ... relativní odchylka průtoku [m]

$1/4 Q$... čtvrtina aktuálního průtoku [m^3/s]

Z_h ... svislá odlehlost úrovně hladiny vody od laserové roviny = parametr 2 [m]

x_a ... aritmetický průměr svislé odlehlosti mezi hladinou a laserovou rovinou [mm],

x_i ... svislá odlehlost mezi hladinou a laserovou rovinou na reálném díle v prostoru norné stěny [mm],

n ... počet naměřených bodů – 13 [-].

R_s ... variabilita úrovně hladiny = dvojnásobek směrodatné odchylky [-]

K ... svislá odlehlost umístění tlumícího prvku [m]

Z_L ... svislá odlehlost od úrovně dna RO po laserovou rovinu = 0,508 [m]

z ... svislá odlehlost od úrovně umístění tlumícího prvku po laserovou rovinu [m]

tl ... tloušťka desky tlumícího prvku [m]

M ... měřítko délek [-]

D ... průměr kruhové desky [m]

L ... výška límce [m]

C ... délka límce po obvodu kruhové desky [-]

D_v ... vnitřní průměr [m]

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Graf 1 – 7 Kruhové desky
- P2 Graf 8 – 14 Půlkruhové desky
- P3 Graf 15 – 21 Kruhová deska s límcem = kombinované desky
- P4 Graf 22 – 28 Doporučené varianty