

VŠB – Technická Univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zařízení pro měření silového účinku vodního paprsku

**Equipment for the Measurement of the Force Effect of
the Water Jet**

Student:

Martin Petráš

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jaroslav Janalík, CSc.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Petráš**
Studijní program: B2341 Strojirenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Zařízení pro měření silového účinku vodního paprsku**
Equipment for the Measurement of the Force Effect of the Water Jet

Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro měření silového účinku vodního paprsku.

1. Vypracujte teorii vodního paprsku v ovzduší a ve vakuu
2. Navrhněte varianty pro měření silového účinku vodního paprsku a vyberte nejvhodnější řešení, pro které zvolíte vhodné prvky zařízení.
3. Navrhněte měření potřebných fyzikálních veličin.
4. Vytvořte návody do měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NOSKIEVIČ, J. *Mechanika tekutin*. Praha. SNTL Praha, 1987. 354 s.
- [2] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. VŠB-TU Ostrava, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [3] JANALÍK, J. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: Skripta VŠB-TU Ostrava, 1995. 155 s.
- [4] BOJKO, M., KOZUBKOVÁ, M., RAUTOVÁ, J. *Základy hydromechaniky a zásobování hasiv*. SPBI Ostrava, 2008. 198 s. ISBN 978-80-7385-033-3.
- [5] ČSN 01 6910 *Úprava písemnosti psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [6] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Rautová, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Marian Bojko, Ph.D.

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

Kozubková

doc. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry



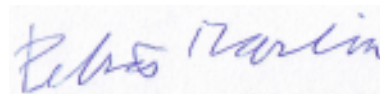
Farana

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2010

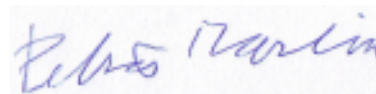


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevydělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2010



.....
podpis

Martin Petráš
Brandlova 125
Kyjov
697 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PETRÁŠ, M. *Zařízení pro měření silového účinku vodního paprsku*: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2010, 46 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Janalík, CSc.

V úvodu bakalářské práce je popsáno několik typů používaných proudů v praxi. Dále užití vodního paprsku při dělení materiálu. Bakalářská práce se zabývá teorií vodního paprsku ve vzduchu a ve vakuu. Hlavním obsahem bakalářské práce je návrh zařízení pro měření silového účinku vodního paprsku. V této práci jsou navržena dvě zařízení. První zařízení obsahuje nádrž s čerpadlem a potrubí. U druhého návrhu zařízení je nádrž, čerpadlo a potrubí nahrazeno vysokotlakým čističem. Dále jsou v práci uvedeny výpočty pro stanovení silového účinku vodního paprsku. V závěru je vybráno vhodnější řešení. Součástí práce jsou vytvořené návody do cvičení pro měření silového účinku vodního paprsku.

ANNOTATION OF THE BACHELOR THESIS

PETRÁŠ, M. *Equipment for the Measurement of the Force Effect of the Water Jet*: Bachelor thesis. Ostrava: VSB-Technical university Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2010, 46 p. Supervisor: prof. Ing. Jaroslav Janalík, CSc.

In the introduction of the Bachelor thesis are described several types of jets, which are used in practice. Next I described using of the jets for material separation. Bachelor thesis deals with the theory of the water jets in the air and in the vacuum. The main content of the Thesis is proposal of equipments for measurement power effect of the water jet. In this work are proposed two equipments. The first equipment contains tank with the pump and pipeline. In the second equipment is tan pump and pipeline supersede by high pressure cleaning. Next in Bachelor thesis are calculations for establishment of effective power water jet. At the end the best solution is selected. The thesis also includes instruction for measurement of power effect of water jet.

OBSAH

Seznam použitých značek.....	9
1 Úvod	10
2 Vodní paprsek	11
2.1 Řezání pomocí vodního paprsku	11
2.1.1 Řezání čistou vodou.....	12
2.1.2 Řezání s přidáním abraziva.....	13
2.1.3 Výhody řezání vodním paprskem.....	13
3 Vodní paprsek v požární praxi.....	14
3.1 Rozdělení vodních proudů.....	14
3.1.1 Plný proud.....	15
3.1.2 Mlhový proud	15
3.1.3 Sprchový proud.....	16
4 Pohyb paprsku	16
4.1 Pohyb paprsku ve vakuu	16
4.1.1 Trajektorie paprsku ve vakuu	17
4.2 Výtoková rychlost malým otvorem	19
4.3 Pohyb paprsku ve vzduchu	22
4.4 Trysky pro roztříštěný proud kapaliny	24
5 Měřené veličiny potřebné k výpočtu	25
5.1 Měření tíhového zatížení	25
5.2 Měření průtoku	26
5.3 Měření tlaku.....	27
6 Návrh zařízení pro měření vodního paprsku	28
6.1 Popis zařízení.....	29
6.1.1 Specifikace použitých prvků a jejich parametry.....	29
6.2 Výpočet silového účinku vodního paprsku.....	33
6.2.1 Příklad výpočtu pro jeden řádek	34
6.3 Rozměry zařízení	36
6.4 Cenová bilance použitých prvků	36
7 Návrh zařízení s využitím vysokotlakého čističe	37
8 Návody do měření.....	38
8.1 Popis měřicího zařízení.....	38
8.2 Postup měření	39

8.3	Postup výpočtu.....	39
9	Řízení průtoku pomocí frekvenčního měniče.....	42
10	Závěr	43
11	Použitá literatura	44

Seznam použitých značek

Značka	Význam	Jednotka
F_P	silový účinek vodního paprsku	[N]
H_t	teoretická výška	[m]
H_S	skutečná výška	[m]
Q	průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
Q_v	objemový průtok	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
S	průřez vodního paprsku	$[m^2]$
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
V	objem	$[m^3]$
d	průměr	[m]
g	gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
h	výška	[m]
h_z	ztrátová výška	[m]
l	délka	[m]
p	tlak	[Pa]
p_0	tlak ovzduší	[Pa]
t	čas	[s]
v	rychlost kapaliny	$[m \cdot s^{-2}]$
v_0	výsledná rychlost	$[m \cdot s^{-2}]$
v_t	teoretická rychlost	$[m \cdot s^{-2}]$
v_x	rychlost ve směru osy x	$[m \cdot s^{-2}]$
v_y	rychlost ve směru osy y	$[m \cdot s^{-2}]$
x_{max}	max. hodnota ve směru osy x	[m]
y_{max}	max. hodnota ve směru osy y	[m]
α_0	úhel mezi proudnicí a vodorovnou rovinou	[°]
ε	součinitel kontrakce	[-]
ζ	ztrátový součinitel	[-]
λ	součinitel tření	[-]
μ	výtokový součinitel	[-]
φ	rychlostní součinitel	[-]
ν	kinematická viskozita	$[N \cdot s \cdot m^{-2}]$
ρ	hustota kapaliny	$[kg \cdot m^{-3}]$

1 Úvod

Navrhované zařízení bude sloužit k určení silového účinku vodního paprsku. Budu navrhovat laboratorní zařízení, které bude sloužit studentům jako laboratorní úloha. Proto musím brát ohled na bezpečnost (např. max. tlak vodního paprsku, ochrana před tryskajícím paprskem atd.). Navrhnu dvě tyto zařízení, které by bylo možno použít pro laboratorní měření. Z těchto zařízení nakonec vyberu to nejvhodnější pro laboratorní měření. Dále se budu zabývat měřením základních fyzikálních veličin, které jsou pro tuto laboratorní úlohu nezbytné. Princip, na jakém bude zařízení fungovat, si lze nejjednodušeji představit na proudu vody vytékajícího z kohoutku na váhu. Na váze se odečte tíhové zatížení, které proud vody vytvoří a poté se vypočítá silový účinek.

V teoretické části se budu zabývat využitím vodního paprsku v praxi. Dále pak pohybem paprsku ve vakuu a ve vzduchu.

2 Vodní paprsek

Vodní paprsek je proud vody od průměru několika milimetrů (vodní paprsek určený k řezání) až do průměru několika centimetrů (proud vody sloužící k hašení požárů), u hasičských zařízení mluvíme o proudu vody než o proudu vodního paprsku. Tvar vodního paprsku je závislý na tvaru trysky, kterou vodní paprsek vystupuje do okolí.



Obr.2.1 Ukázka vodního paprsku

Vodní paprsek lze využít např.:

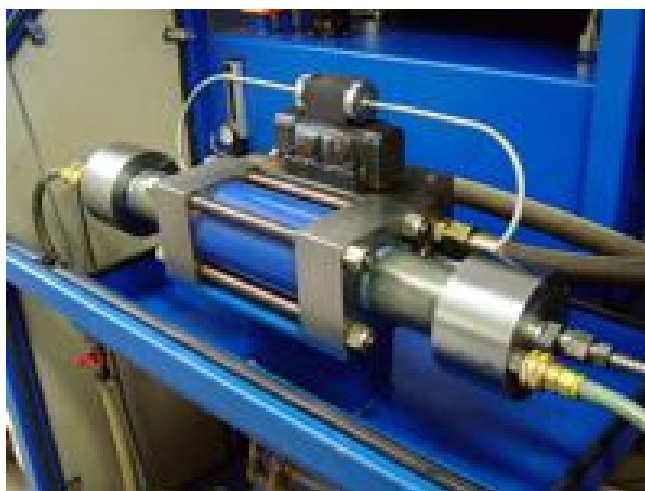
- řezání materiálů
- v požární praxi
- sanace betonových konstrukcí
- při nástřiku barviv

2.1 Řezání pomocí vodního paprsku

Řezání pomocí vodního paprsku má v dnešní době velké zastoupení. Princip řezání spočívá ve vytvoření tenkého vodního paprsku pod velkým tlakem. Řezání se může provádět buď pomocí samotné vody, nebo přidáním abraziva.

Pracovní tlaky se při řezání pohybují v rozmezí (50 až 650) MPa a u některých aplikací i více. K vyvození tak velkého tlaku se využívají vysokotlaká čerpadla obr. 2.2 o příkonech (11-75) kW a s průtokem vody (1,2 – 7,6) l/min. Vodní paprsek vzniká v řezací hlavě, na jejímž konci je umístěna tryska. Právě v trysce se proud z vysokotlakého potrubí

mění na vodní paprsek, který má rychlost až čtyřnásobně větší než rychlost zvuku. Celý proces se řídí pomocí PC a je snadno programovatelný.



Obr. 2.2 Vysokotlaké čerpadlo

2.1.1 Řezání čistou vodou

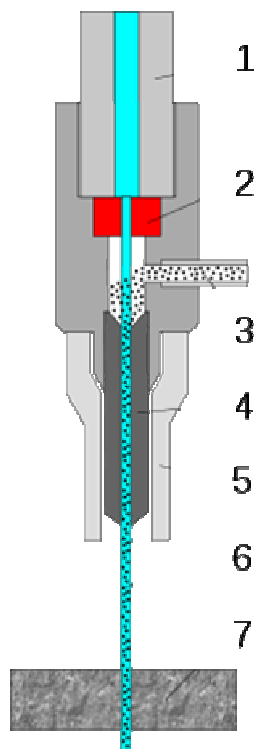
Řezání čistou vodou patří k původnímu dělení materiálu vodou obr. 2.3. První aplikace tohoto druhu se vyskytly již v roce 1970. Tento typ řezání se používá zejména pro řezání měkkých materiálů. Průměr paprsku se pohybuje v rozmezí (0,1 do 0,24) mm. Materiál není nijak tepelně ovlivňován na rozdíl od jiných technologií jako je řezání laserem. Po dokončení řezu je voda zachycena v lapači. Řezná rychlost u tohoto způsobu řezání je do 20 m/min.



Obr. 2.3 Řezání čistou vodou

2.1.2 Řezání s přidáním abraziva

Přidáním abraziva, obr. 2.4, do vodního paprsku se odlišuje od řezání čistou vodou v několika směrech.. Čistý vodní paprsek nahlodává materiál nadzvukovým proudem vody. U abrazivního dělení vodní paprsek urychluje abrazivní částice, které narušují materiál. Síla abrazivního paprsku je i tisíckrát silnější než u čistého vodního paprsku. Tento způsob řezání se využívá pro tvrdé materiály (kovy, kámen, keramika, atd.). Také při abrazivním řezání nedochází k tepelnému ovlivňování materiálu. Průměr paprsku se pohybuje v rozmezí (0,3 až 1,35) mm.



Obr.2.4 Řezání s přidáním abraziva

Popis obrázku:

1. vysokotlaký přívod vody, 2. tryska, 3. abrazivo, 4. směšovací trubička, 5. držák, 6. paprsek, 7. materiál

2.1.3 Výhody řezání vodním paprskem

Výhody řezání vodním paprskem jsou velké. Níže jsou uvedeny alespoň některé z nich.

- můžeme vyřezat jakýkoliv tvar ve vyřezávané ploše
- řez je studený, tedy nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu, který by způsobilo změny struktury
- působení vodního paprsku na materiál je minimální → nedochází ke vzniku mikrotrhlin
- univerzálnost – lze řezat téměř všechny materiály i jinak velmi obtížně dělitelné materiály
- vzniklý řez je bez otřepů → odpadá nutnost dalšího opracování (ostré hrany)
- jedinou operací lze provést i nejsložitější tvary
- „prořez“ materiálu je malý → úspora materiálu
- jednou z největších výhod je ekologičnost, nevznikají žádné zplodiny

3 Vodní paprsek v požární praxi

V požární praxi se spíše než o vodním paprsku mluví o proudu vody, protože proud vody má několikrát větší průměr než vodní paprsek. Vodní proud lze definovat jako tok hasící látky, která vychází z proudnice do té doby, než zasáhne cíl. Intenzita proudu a množství vody je dáno tlakem. Pohybem vody v hadici dochází k třecím ztrátám.

Aby došlo k zmenšení třecích ztrát v hadici, lze provést několik opatření:

- používat co nejméně drsné hadice
- nahrazovat poškozené spojky novými
- zamezit ohybu hadice
- používat co nejkratší vedení

3.1 Rozdělení vodních proudů

Vodní proudy můžeme rozdělit podle tvaru na:

- plný proud (kompaktní)
- mlhový proud
- sprchový proud (tříštěný)

3.1.1 Plný proud

Tento proud se používá pro dosažení co největšího dostřiku proudu nebo dosažení co největší síly, obr. 3.1. Proud vody v tomto případě zůstává kompaktní po dlouhou dráhu letu. Proud má dvě části letu kompaktní a tříštěnou. Tento typ proudu má velký dostřik, velkou průnikovou sílu, ale absorbuje méně teplo.



Obr. 3.1 Plný proud [7]

3.1.2 Mlhový proud

Je to typ proudu, kdy dochází k rozptýlení kapaliny na malé kapičky obr. 3.2. Kvalita rozprašené vody se posuzuje podle velikosti vodních kapiček (většinou 0,1 až 0,8) mm. Povrchová plocha je tím větší, čím je menší průměr kapiček. Kapky také tím, že se vznášejí ve vzduchu zabraňují šíření tepla sáláním. K rozprašení se používá několik způsobů (názvem na pevnou překážku, tříštěním vodních paprsků o sebe). Mlhové proudnice u nás využívají k vytvoření rozprašeného proudu principu tříštění vodních paprsků o sebe.



Obr. 3.2 Mlhový proud [7]

3.1.3 Sprchový proud

Sprchový proud, obr. 3.3, v sobě zahrnuje všechny formy tříštění proudu mezi plným a tříštěným proudem. Aby se dosáhlo co největšího rozptýlení hasiva, vychází proud z hubice v rozptýleném stavu. Vznik sprchového proudu se děje průtokem vody přes perforovaný plech nebo nárazem vody na pevnou překážku, která je vhodně umístěna. Dalším možným způsobem vyvození sprchového proudu je udělením rotace vodě, která tak koná dva pohyby, jeden podélný postupný ve směru osy proudu a další rotační. U hlavic hasícího zařízení se sprchového proudu docílí roztríštěním vody na deflektor (růžici).



Obr. 3.3 Sprchový proud [7]

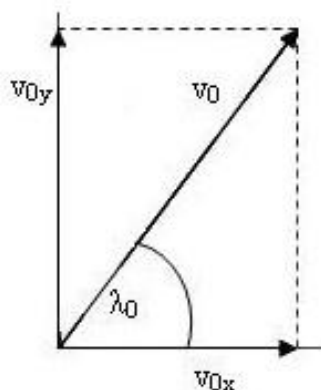
4 Pohyb paprsku

V této části se budu zabývat pohybem paprsku v ovzduší a ve vakuu. Budu sestrojovat trajektorii vodního paprsku ve vakuu, který bude vystupovat z proudnice pod různými úhly. Dále se budu zabývat kompaktním proudem vody a jeho dostřikem. V souvislosti s větou o změně hybnosti se budu zabývat účinkem paprsku na kolmou desku.

4.1 Pohyb paprsku ve vakuu

Uvažuje se buď přímo pohyb vodního paprsku ve vakuu nebo v prostředí, kde můžeme zanedbat třecí síly. Z těchto důvodů můžeme uvažovat, že paprsek je kompaktní.

Při pohybu kapaliny rychlostí v_0 a pod úhlem α_0 dochází k rozložení rychlosti na dvě složky na $v_{0,x}$ a $v_{0,y}$ obr. 4.1



Obr. 4.1 Rozložení složek rychlosti

Pomocí goniometrických funkcí pak lze vyjádřit pohybovou rovnici pro každý z pohybů. V případě pohybu ve směru osy x se jedná o rovnoměrný přímočarý pohyb. Pro složku rychlosti ve směru osy x lze tedy vyjádřit rovnicí:

$$v_x = v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha_0 \quad (4.1.1)$$

Velikost rychlosti ve směru osy y lze vyjádřit rovnicí:

$$v_y = v_{0y} - g \cdot t = v_0 \cdot \sin \alpha_0 - g \cdot t \quad (4.1.2)$$

4.1.1 Trajektorie paprsku ve vakuu

Při proudění paprsku ve vakuu nedochází k tření paprsku o vzduch. Trajektorii paprsku bude tvořit parabola. Tato parabola bude mít počátek v nulové hodnotě souřadného systému, který budou tvořit osy x a y [m]. Jak výška vrcholu paraboly, tak i maximální vzdálenost dopadu jsou dány rovnicemi. Jejich výsledný tvar je:

$$x_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2 \cdot \alpha_0 \quad (4.1.1.1)$$

$$y_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha_0}{2 \cdot g} \quad (4.1.1.2)$$

kde:

v_0 je rychlost kapaliny při výstupu z proudnice

λ_0 je úhel, který svírá proudnice s vodorovnou rovinou

Obecný bod paraboly je vyjádřen vztahem:

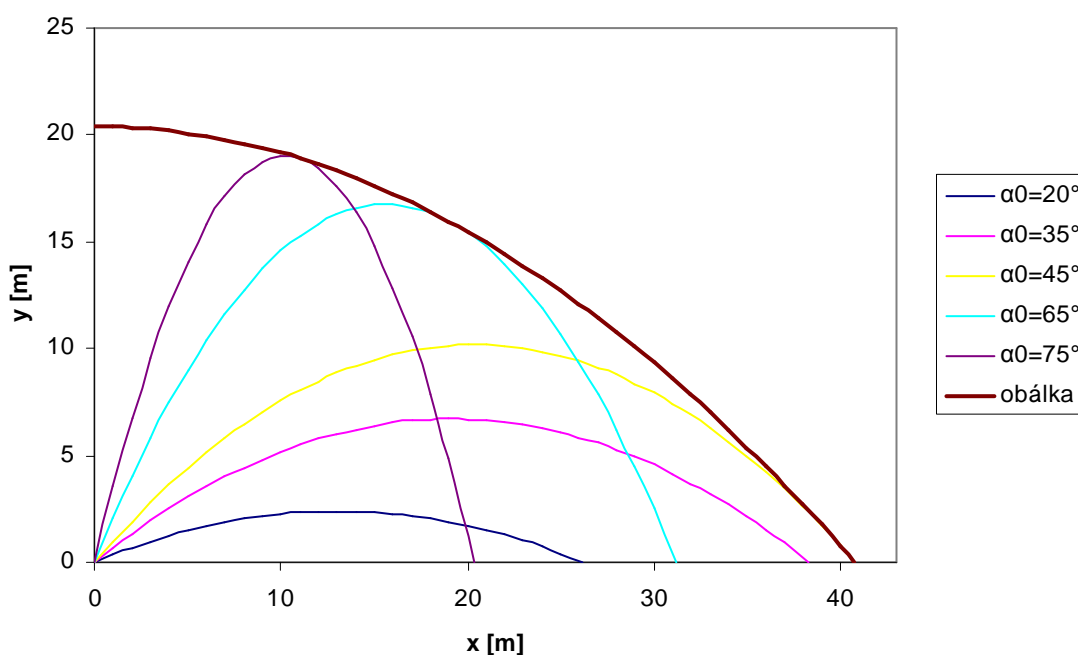
$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{1}{2} \cdot \frac{g \cdot x^2}{v_0^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0) \quad (4.1.1.3)$$

V tabulce na obr. 4.2 jsou uvedeny jednotlivé souřadnice pro několik bodů paraboly. Trajektorie budou sestavovat pro paprsky, které budou vystupovat z proudnice postupně pod úhly $\lambda_0=20^\circ; 35^\circ; 45^\circ; 65^\circ; 75^\circ$. Rychlost kapaliny jsem zvolil 20 ms^{-1} .

x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,47	10	5,17	10	7,55	10	14,58	5	14,08
10	2,25	20	6,69	20	10,19	15	16,72	10	19,01
20	1,72	30	4,56	30	7,93	20	15,43	15	14,79
26,21	0	38,32	0	40,77	0	31,24	0	20,39	0

Obr.4.2 Tabulka pro jednotlivé body paraboly

Trajektorie pro různé hodnoty α_0



Obr. 4.3 Graf trajektorií paprsku ve vakuu

Z grafu na obr. 4.3 je patrné, že nejdelší dosah paprsku ve vakuu je pod úhlem 45° a nejvyšší dostřik má paprsek pod úhlem 75°. Pro ostatní hodnoty úhlu se dosah snižuje. Tučně je v grafu vyznačena obalová křivka, tzv. obálka, která spojuje body tečen jednotlivých křivek a zároveň udává také maximální dosah paprsku ve vakuu. Rovnice obalové křivky má tvar:

$$y = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} - \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot v_0^2} \quad (4.1.1.4)$$

V následující tabulce na obr. 4.4 jsou uvedeny maximální hodnoty dostřiku paprsků jak pro osu x, tak i pro osu y.

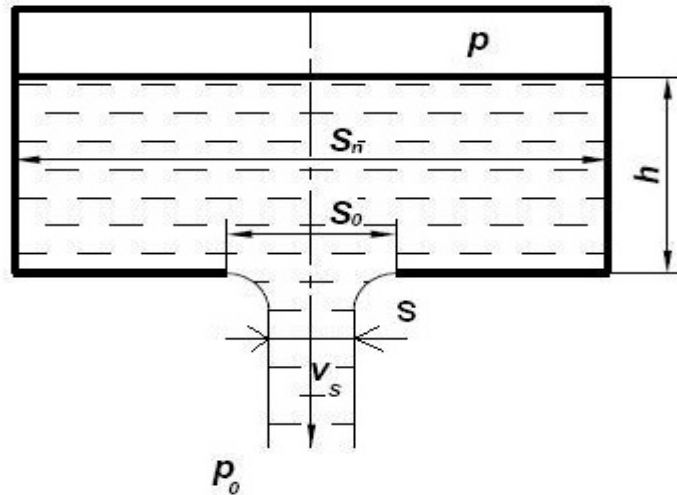
20°		35°		45°		65°		75°	
x_{\max}	26,20948	x_{\max}	38,3157	x_{\max}	40,77472	x_{\max}	31,23525	x_{\max}	20,38736
y_{\max}	2,384868	y_{\max}	6,707236	y_{\max}	10,19368	y_{\max}	16,74605	y_{\max}	19,02167

Obr.4.4 Maximální hodnoty dostřiku paprsků ve směru os x a y

4.2 Výtoková rychlost malým otvorem

Na obr. 4.5 je vidět výtok kapaliny malým otvorem ve dně. Polohová výška je pro celý otvor konstantní, proto je rychlost výtoku kapaliny v otvoru rovnoměrně rozložena. Z Bernoulliho rovnice se proto vypočítá výtoková rychlost. V nádrži je tlak p , který je však odlišný od tlaku ovzduší p_0 , do kterého kapalina vytéká otvorem o průřezu S_0 . S_n je konstantní průřez nádoby, která je naplněna do výšky h . Bernoulliho rovnice pro skutečnou kapalinu vytékající malým otvorem psaná pro hladinu v nádrži a pro výtokový průřez má tvar:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v_0^2}{2} + g \cdot h = \frac{p_0}{\rho} + \frac{v^2}{2} + g \cdot h_z \quad (4.2.1)$$



Obr. 4.5 Výtok z nádoby malým otvorem [5]

Z Bernoulliho rovnice pak lze vyjádřit rovnici pro výtokovou rychlost:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \cdot \sqrt{2 \cdot \left(gh + \frac{p-p_0}{\rho} \right)} = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot \left(gh + \frac{p-p_0}{\rho} \right)} \quad (4.2.2)$$

Lze také vypočítat teoretickou výtokovou rychlost, kde se uvažuje $\zeta = 0$, pak má rovnice tvar:

$$v_t = \sqrt{2 \cdot \left(gh + \frac{p-p_0}{\rho} \right)} \quad (4.2.3)$$

Rovnice pro skutečnou rychlost kapaliny je doplněna o rychlostní součinitel φ . Jeho velikost je dána poměrem rychlosti skutečné a teoretické.

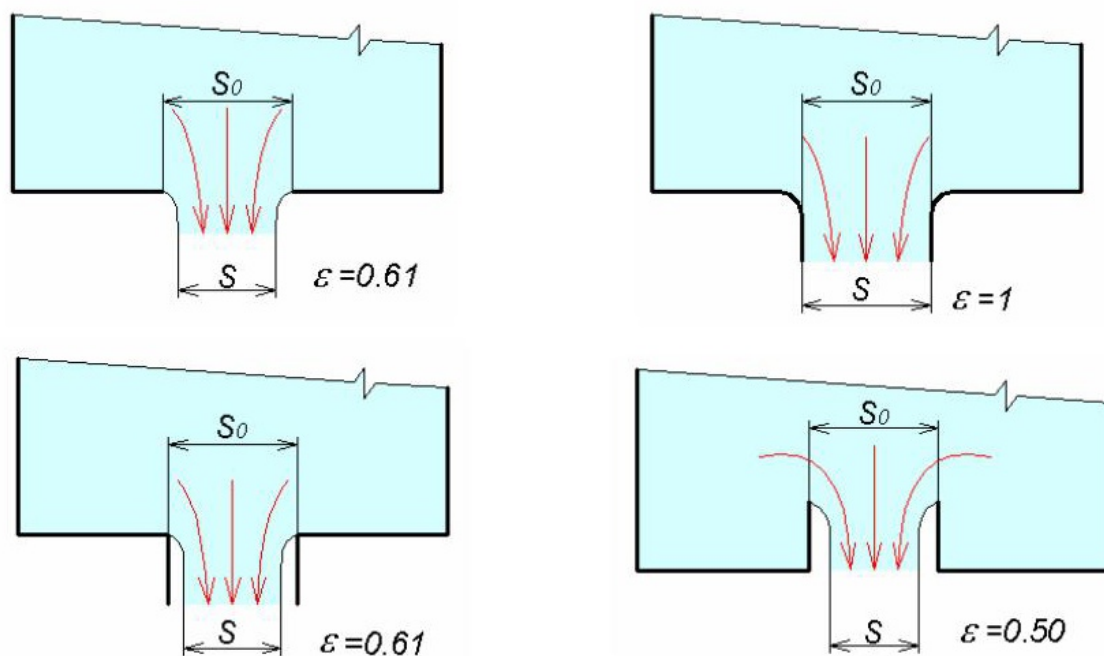
$$\varphi = \frac{v}{v_t} = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} < 1 \quad (4.2.4)$$

Kapalina při výtoku z nádoby nevyplňuje zpravidla celý výtokový otvor, protože proudnice se nemohou okamžitě zakřivit tak, jaký je tvar hran otvorů. Setrvačností částic kapaliny je způsobena kontrakce paprsku. Hodnota této kontrakce je dána součinitelem kontrakce a má tvar:

$$\varepsilon = \frac{S}{S_0} < 1 \quad (4.2.5)$$

kde S je skutečný průřez, kterým kapalina vytéká
 S_0 je průřez otvoru

Na obr. 4.6 je ukázka několika případů závislosti součinitele kontrakce na tvaru výtokového otvoru.



Obr. 4.6 Závislost součinitele kontrakce na výtokovém otvoru [5]

Výtok kapaliny je také ovlivněn výtokovým součinitelem. Tento součinitel závisí na tvaru otvoru nebo nátrubku a na Re čísle. Je dán rovnicí:

$$\mu = \frac{Q_v}{Q_{vt}} = \varepsilon \cdot \varphi < 1 \quad (4.2.6)$$

4.3 Pohyb paprsku ve vzduchu

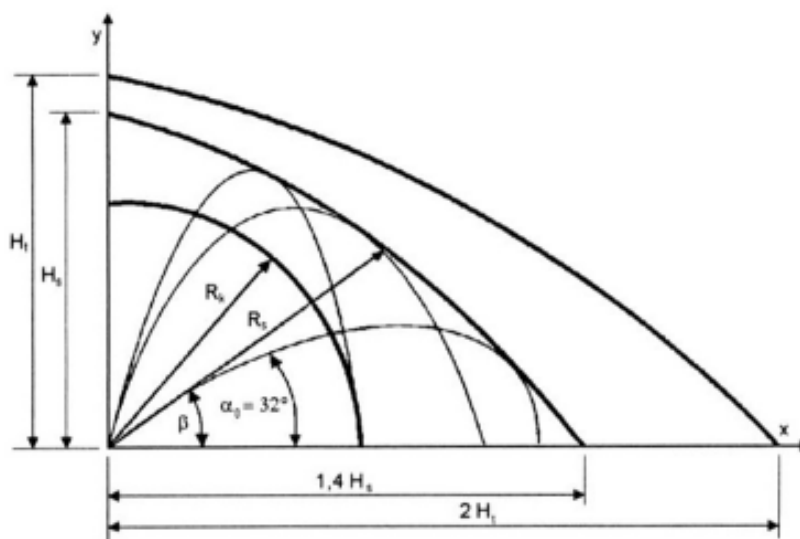
Při pohybu vodního paprsku ve vzduchu se musí uvažovat se třením paprsku o vzduch. Tuto ztrátu lze vyjádřit vzorcem, který je známý pro výpočet ztrátové výšky v potrubí. Tento vzorec má tvar:

$$h_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \quad (4.3.1)$$

Pro paprsek, který stříká kolmo vzhůru, lze sestavit rovnici. Tato rovnice udává jeho teoretickou výšku dostřiku. Jde tedy o dosah ve vakuu.:

$$H_t = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \quad (4.3.2)$$

Na obr. 4.7 jsou vidět trajektorie vodního paprsku ve vzduchu a jejich obálka. Z grafu je patrné, že největší dosah paprsku ve vzduchu je pod úhlem 32°C, který svírá proudnice s vodorovnou rovinou.



Obr. 4.7 Trajektorie vodního paprsku v ovzduší a jejich obálka [1]

Výška H_s určuje skutečný dosah paprsku ve vzduchu. Její hodnota se vypočítá z hodnoty teoretické H_t :

$$H_s = \frac{H_t}{1 + \psi \cdot H_t} \quad (4.3.3)$$

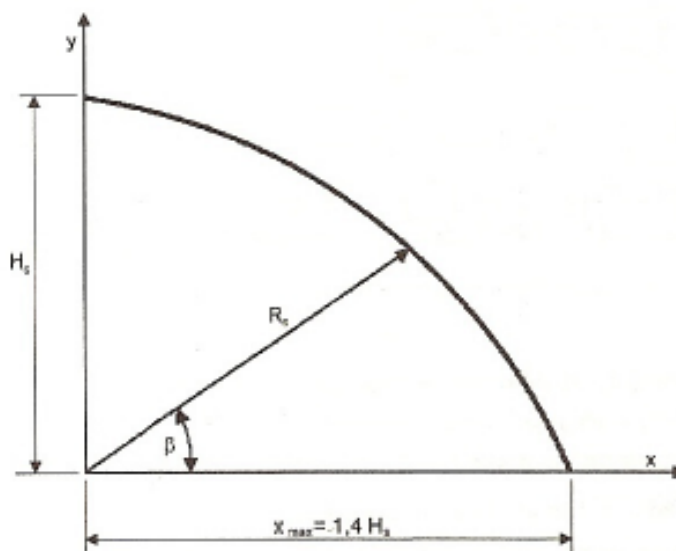
kde ψ je součinitel a je funkcí průměru a platí:

$$d = 10 \div 18 \div 30 \text{ je součinitel } \psi = 0,023 \div 0,01 \div 0,004$$

V praxi je nejběžnější určit dosah paprsku, respektive zjistit obálku příslušných trajektorií vodního paprsku. Pro konstrukci obálky se využívá průvodiče bodu obálky R_S . Průvodič R_S je funkcí skutečného dostřiku paprsku H_S a je dán funkcí:

$$R_S = f_1 \cdot H_S \quad (4.3.4)$$

Na obr.4.8 je vidět průvodič R_S pod úhlem sklonu β . Součinitel f_1 je funkcí sklonu průvodiče β .



Obr. 4.8 Konstrukce obalové čáry trajektorií vodního paprsku ve vzduchu [1]

V tabulce na obr. 4.9 jsou uvedeny hodnoty součinitele f_1 pro některé vybrané hodnoty úhlu β .

β	0°	30°	45°	75°	90°
f_1	1,4	1,2	1,12	1,03	1

Obr. 4.9 Hodnoty součinitele f_1 pro vybrané hodnoty úhlu β

Hodnota H určuje obecnou výšku dosahu paprsku ve vzduchu. Její hodnota je dána vztahem:

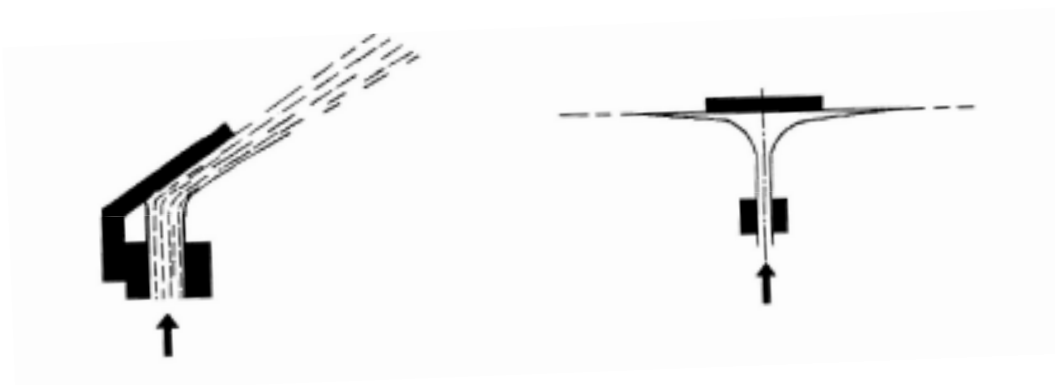
$$H = R_S \cdot \sin \beta = f_1 \cdot H_S \cdot \sin \beta \quad (4.3.5)$$

4.4 Trysky pro roztržitý proud kapaliny

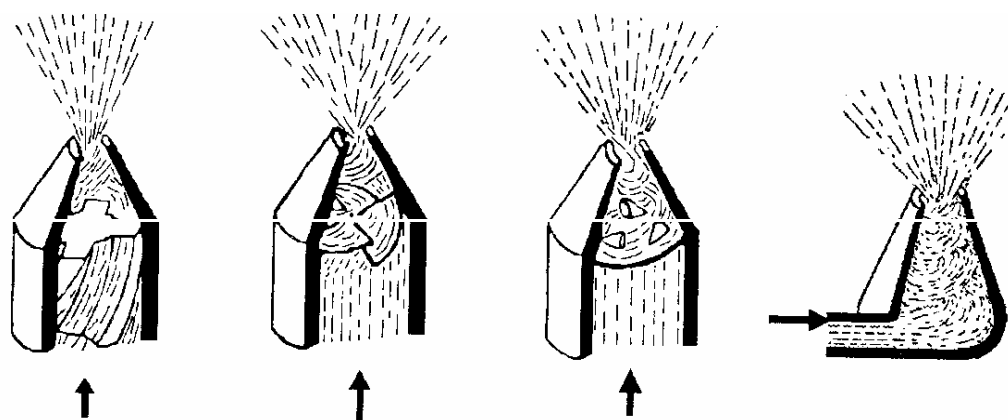
Trysky se používají k získání roztržitého proudu, nebo proudu kapek, u kterého je oproti plnému proudu kapaliny několikanásobně větší plocha, která nám umožňuje účinný přestup tepla z hořlavé látky do hasiva. Trysky dělíme podle způsobu tříštění proudu vody. Tříštění proudu vody se děje několika způsoby, které jsou zobrazeny na obrázku.

způsoby tříštění:

- tříštění nárazem na pevnou překážku (obr. 4.10)
- tříštění interakcí proudu (obr 4.12)
- odstředivý princip (obr 4.11)



Obr. 4.10 Tříštění proudu vody nárazem na překážku [1]



Obr. 4.11 Odstředivý princip [1]



Obr. 4.12 Interakce proudu [1]

5 Měřené veličiny potřebné k výpočtu

Pro výpočet silového účinku je nutné znát jeho tíhové zatížení. Pro jiný způsob výpočtu je potřeba znát hodnotu průtoku.

5.1 Měření tíhového zatížení

Měření silového účinku je hlavní součástí pro celé navrhované zařízení. Měření samotného silového účinku se však nebude měřit, ale bude se počítat ze vzorce. Určení velikosti síly, kterou vodní paprsek vyvine je možno provádět vážením a následným výpočtem. Proto jsem pro určení tíhové síly zvolil využití digitální váhy, na kterou vodní paprsek bude dopadat. Protože měření bude probíhat při styku s vodou, volil jsem váhu, která je vodotěsná. Displej, na kterém se bude zobrazovat naměřená hodnota, je opatřen přívodním kabelem, díky kterému jej lze umístit mimo dosah vody. Váha je na obr.5.1.



obr. 5.1 Vodotěsná váha

Výsledný silový účinek vodního paprsku se pak vypočítá podle vztahu:

$$F_P = m \cdot g \quad (5.1.1)$$

kde ρ - je hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 Q - je průtok vody [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
 S - je průřez vodního paprsku [m]

$$F_P = \rho \cdot \frac{Q^2}{S} \quad (5.1.2)$$

kde F - je silový účinek [N]
 m - je hmotnost paprsku působícího na váhu [kg]
 g - gravitační konstanta [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Protože ve vzorci pro výpočet silového účinku je hustota vody ρ konstantní, průřez S je taky konstantní, bude velikost silového účinku závislá na velikosti průtoku Q . Průtok Q se bude regulovat pomocí kulového kohoutu.

5.2 Měření průtoku

Hodnota průtoku je pro velikost silového účinku rozhodující. Průtok lze měřit několika způsoby. Můžu využít velkého množství průtokoměrů. Protože je cena těchto průtokoměrů vysoká, volím několikanásobně levnější variantu. Tato varianta spočívá ve využití vodoměru a stopek. Do obvodu se zapojí vodoměr a stopkami se bude měřit množství protečené vody za danou dobu. Zvolená varianta je levnější a pro laboratorní úlohu postačující. Na obr. 5.2 je zvolený průmyslový vodoměr. Jedná se o vodoměr průmyslový Flostar-M DN 40



Obr. 5.2 Průmyslový vodoměr Flostar-M DN 40

Hodnotu průtoku dostaneme z vodoměru přepočtem pomocí jednoduchého vzorce:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5.2.1)$$

kde

V – je objem protečené vody [m³]

t – doba za kterou dané množství kapaliny protéklo [s]

Stopky, kterými bude probíhat měření času, za který proteče vodoměrem dané množství vody, jsou na obr. 5.3. Jedná se o klasické profesionální stopky JVD system ST 34.4 – BASIC.



Obr. 5.3 Stopky JVD system ST 34.4-BASIC

5.3 Měření tlaku

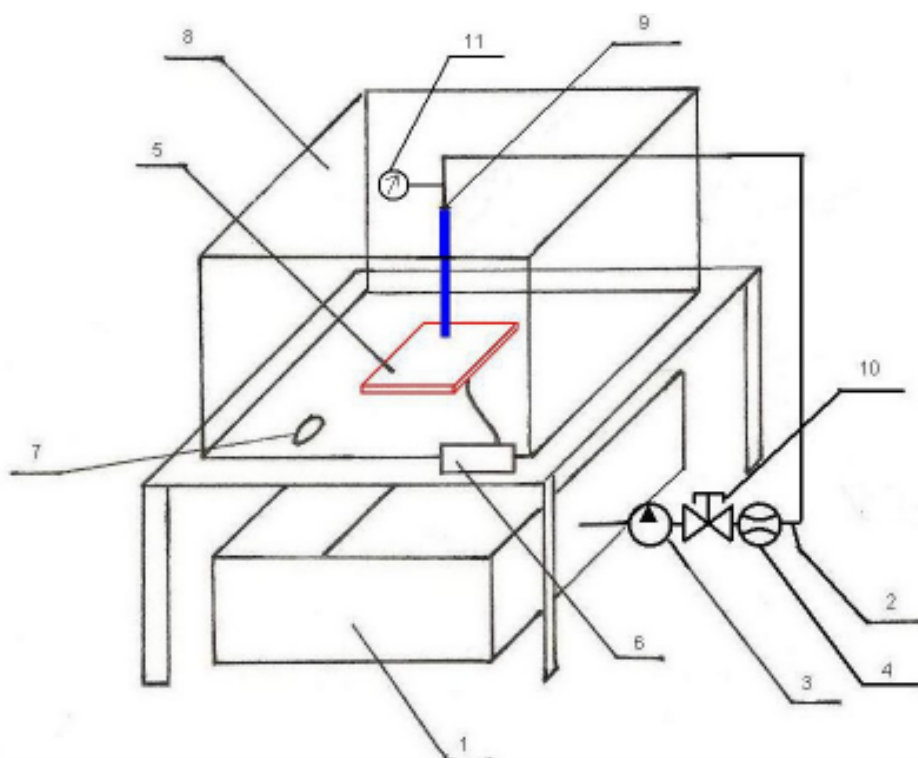
Tlak se bude měřit použitím běžného manometru. Tento manometr je umístěn před tryskou. Obrázek manometru je na obr. 5.4. Jde o manometr od firmy STASTO Automation



Obr. 5.4 Manometr STASTO Automation

6 Návrh zařízení pro měření vodního paprsku

Zařízení, které navrhnu bude založeno na principu vážení pomocí vodotěsné váhy. Proud vody bude pomocí čerpadla dopravován potrubím až k trysce, ze které bude svým silovým účinkem působit na váhu. Funkce průtokoměru bude zastoupena vodoměrem, u kterého budeme měřit množství protečené vody za čas, který se bude měřit stopkami. Aby celé zařízení nefungovalo jen s jedním konstantním průtokem, je v obvodu umístěn kulový kohout, pomocí kterého se bude průtok regulovat a bude možné měřit více hodnot silového účinku paprsku.. Schéma celého zařízení je na obr. 6.1.



Obr.6.1 Náčrt zařízení pro měření vodního paprsku

Popis obrázku:

1. nádrž s vodou, 2. potrubí, 3. čerpadlo, 4. vodoměr, 5. vodotěsná váha, 6. displej, 7. výtokový otvor, 8. ochranné plexisklo, 9. vodní tryska, 10. kulový kohout, 11. manometr

6.1 Popis zařízení

Hlavním prvkem celého zařízení je čerpadlo (3). Čerpadlo je umístěno vedle nádrže (1), ze které sacím potrubím čerpá vodu dále do potrubí (2). Za čerpadlem je umístěn vodoměr (4), který bude sloužit k určení průtoku Q . Dále za vodoměrem je umístěn kulový kohout (10), který bude sloužit k regulaci průtoku. Nakonec přes vodní trysku (9) vystupuje vodní paprsek do okolí a dopadá na vodotěsnou váhu (5). Před tryskou je ještě v obvodu zapojen manometr (11) pro zjištění tlaku kapaliny. Na displeji (6) se odečte naměřená hodnota. Voda poté odtéká výtokovým otvorem (7) zpět do nádrže. Protože je v zařízení umístěn výtokový otvor, musí mít celé zařízení mírný spád kvůli odtoku kapaliny. Protože však váha musí být ve vodorovné poloze, docílím toho nastavitelnými držáky u misky váhy. Cele zařízení je kryto plexisklem (8) z důvodů ochrany před tryskající vodou a z bezpečnostních důvodů.

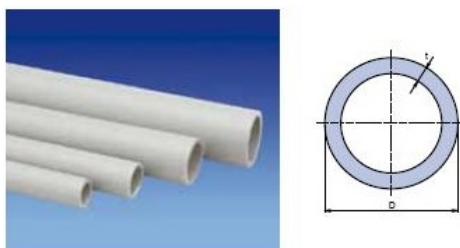
6.1.1 Specifikace použitých prvků a jejich parametry

Nádrž (1):

Jedná se o nádrž o objemu 60 l. Výrobce je Valter Špalek – plexi

Potrubí (2):

Jde o typ potrubí STR040P10X. Vnější průměr potrubí je 40 mm, tloušťka stěny je 3,7 mm. Potrubí je od výrobce WAVIN Ekoplastik s.r.o. Na obr. 6.1 je zobrazeno použité potrubí.



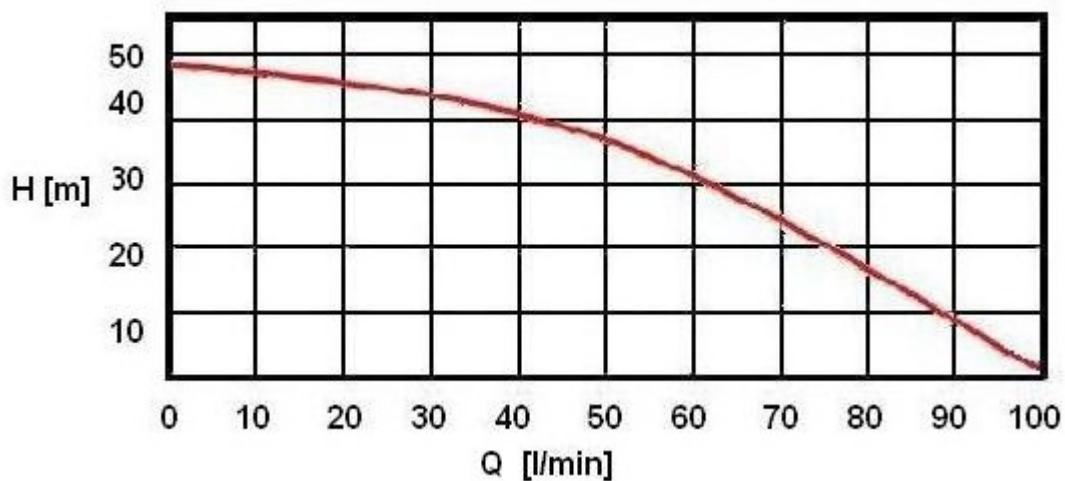
Obr. 6.1 Použité potrubí

Čerpadlo (3):

Jako čerpadlo jsem zvolil vícestupňové odstředivé čerpadlo MAXIJET 4-100 S. Maximální pracovní tlak je 6 bar. Rychlost otáček je 2850 ot/min. Výrobce čerpadla je firma AQUACUP s.r.o. Na obr. 6.2 je zobrazeno čerpadlo a na obr. 6.3 je charakteristika čerpadla.



Obr. 6.2 Odstředivé čerpadlo MAXIJET 4-100 S



Obr. 6.3 Charakteristika čerpadla

Z grafu charakteristiky čerpadla je vidět závislost průtoku Q na dopravní výšce H . S rostoucím průtokem dochází ke snižování dopravní výšky H . Pro zvolené zařízení je však dopravovaná výška dostačující.

Vodoměr (4):

Vodoměr bude v obvodu sloužit jako průtokoměr (viz výše). Vodoměr FLOSTAR-M DN40. Jmenovitý průtok je 10 m³/h. Maximální průtok 20 m³/h. Pracovní tlak 1,6 MPa. Pracovní teplota 50°C. Vodoměr je na obr. 6.5



Obr. 6.5 Vodoměr FLOSTAR-M DN40

Vodotěsná váha (5), displej (6):

Vodotěsná váha bude sloužit k určení silového účinku vodního paprsku. Jedná se o digitální vodotěsnou váhu od firmy HEPNAR s přívodním kabelem k displeji. Váha WPW 15 C1/K, maximální váživost 15 kg, velikost měřicí misky 290 mm x 360 mm, pracovní teplota je -10°C až +40°C. Displej LCD s přívodním kabelem. Váha je na obr.6.6.



Obr.6.6 Vodotěsná váha WPW 15 C1/K

Ochranné plexisklo (8):

Plexisklo slouží k ochraně před tryskající vodou a před poraněním vodním paprskem. Na pokrytí celého zařízení bude potřeba 2,4 m² plexiskla (viz Rozměry zařízení). Jedná se o plexisklo firmy Značky Kladno s.r.o.

Vodní tryska (9):

Vodní tryska k vytvoření tenkého vodního paprsku. Jedná se o trysku od firmy GEKA. Výstupní průměr trysky je 5 mm. Uvedená tryska je na obr. 6.7



Obr. 6.7 Vodní tryska

Kulový kohout (10):

V obvodu bude kohout sloužit k regulaci průtoku. Jde o kulový plastový kohout firmy WAVIN Ekoplastik s.r.o. Kohout je na obr. 6.8.



Obr. 6.8 Kulový kohout

Manometr (11):

Manometr je v obvodu zapojený před tryskou pro odečtení tlaku. Jde o manometr od firmy STASTO Automation typu 110.36-KD. Rozsah teplot -40°C až 60°C. Manometr je na obr.6.9.



Obr. 6.9 Manometr

6.2 Výpočet silového účinku vodního paprsku

Z charakteristiky čerpadla budu pro výpočet uvažovat a počítat s rozsahem průtoků od 20 l/min do 80 l/min. Což je od $3,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ do $1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$. Průměr potrubí je 32,6 mm. Průměr vodní trysky je 5 mm. V následující tabulce na obr.6.10 jsou uvedeny všechny vypočítané hodnoty. Rychlost uvedená v tabulce je rychlost kapaliny vytékající z trysky a také hodnota Reynoldsova čísla je pro proudění kapaliny z trysky.

Q [m ³ /s]	v [m/s]	Re [-]	m [kg]	F [N]
0	0	0	0	0
$3,33 \cdot 10^{-4}$	17	84695	0,58	5,67
$5 \cdot 10^{-4}$	25,5	127043	1,3	12,76
$6,67 \cdot 10^{-4}$	34	169390	2,31	22,68
$8,33 \cdot 10^{-4}$	42,5	211738	3,61	35,43
$1 \cdot 10^{-4}$	51	254086	5,2	51,02
$1,17 \cdot 10^{-4}$	59,5	296433	7,08	69,44
$1,33 \cdot 10^{-4}$	68	338781	9,25	90,7

Obr. 6.10 Tabulka vypočtených hodnot

6.2.1 Příklad výpočtu pro jeden řádek

V této části provedu výpočty pro jeden řádek tabulky, aby bylo jasné jak jsem dané hodnoty získal a vypočítal.

Hodnoty průtoku Q jsem odečetl z charakteristiky čerpadla a pro výpočet jsem použil hodnoty uvedené v tabulce.

Výpočet pro 4. řádek tabulky:

$$Q = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (6.2.1.1)$$

$$Q = S \cdot v \quad (6.2.1.2)$$

příčemž S je plocha výtokového otvoru trysky ($d=5 \text{ mm}$)
 Q průtok
 v rychlost kapaliny při výtoku z trysky

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,005^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (6.2.1.3)$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{8,33 \cdot 10^{-4}}{1,96 \cdot 10^{-5}} = 42,5 \text{ m/s} \quad (6.2.1.4)$$

Výpočet Reynoldsova čísla:

Hodnota kinematické viskozity vody při 20°C je $\nu = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{42,5 \cdot 0,005}{1,004 \cdot 10^{-6}} = 211738 \quad (6.2.1.5)$$

Z vypočtené hodnoty Reynoldsova čísla je patrné, že se jedná o turbulentní proudění. O turbulentní proudění jde i ve všech dalších případech.

Výpočet silového účinku vodního paprsku:

Výsledný silový účinek vodního paprsku působícího na váhu se vypočítá podle dvou vztahů. Buď pomocí hmotnosti m a nebo průtoku Q a to:

$$F = \rho \cdot \frac{Q^2}{S} = 1000 \cdot \frac{(8,33 \cdot 10^{-4})^2}{1,96 \cdot 10^{-5}} = 35,4 \text{ N} \quad (6.2.1.6)$$

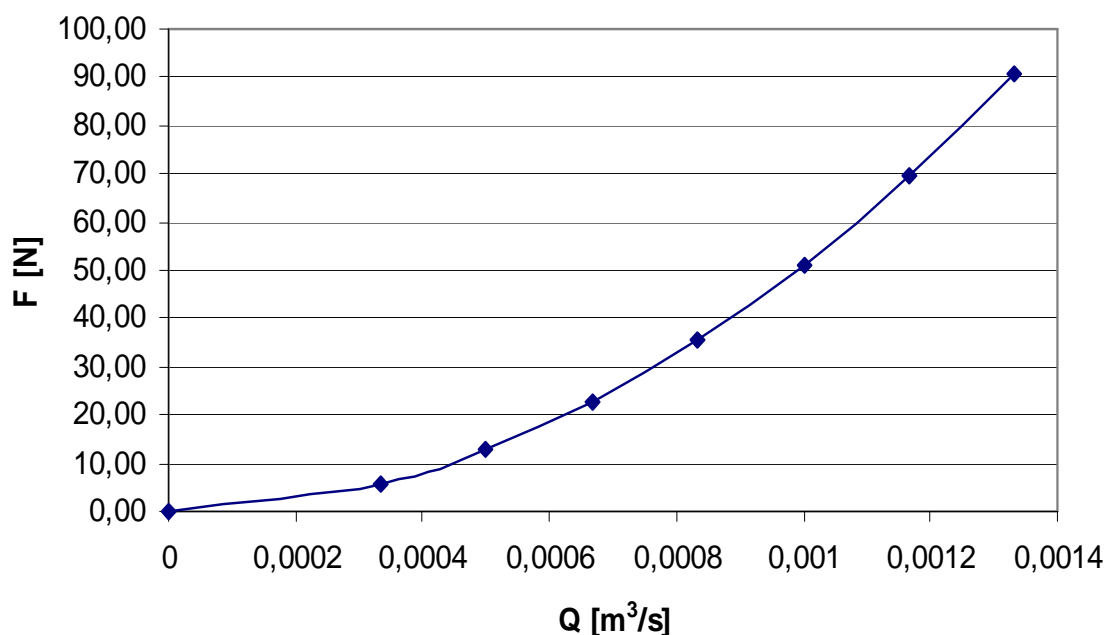
- hodnota $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

nebo:

$$F = m \cdot g \Rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{35,4}{9,81} = 3,61 \text{ kg} \quad (6.2.1.7)$$

Na obr. 6.11 je graf závislosti silového účinku vodního paprsku na průtoku. Parabolický průběh závislosti je dán druhou mocninou průtoku ve vzorci (viz výše). Z grafu je patrné, že s rostoucím průtokem dochází ke zvyšování silového účinku vodního paprsku.

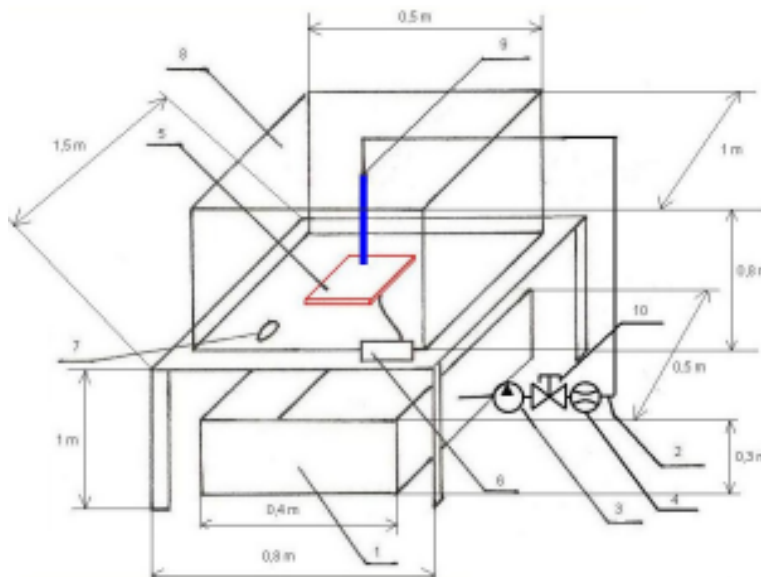
Závislost silového účinku na průtoku



Obr. 6.11 Graf závislosti silového účinku vodního paprsku na průtoku

6.3 Rozměry zařízení

Na obr. 6.12 jsou zakótovány všechny rozměry. Jsou zde uvedeny všechny rozměry pracovního stolu, ochranného plexiskla a nádrže.



Obr. 6.12 Rozměry zařízení

6.4 Cenová bilance použitých prvků

V této části se budu zabývat pořizovacími náklady jednotlivých prvků. Celkové náklady mohou být pohyblivé. Ke snížení nebo zvýšení může dojít zejména použitím jiného čerpadla a jiné váhy. Hlavní snížení celkových nákladů spočívá v zařazení vodoměru místo průtokoměru, který je dražší. Ceny jednotlivých částí celého zařízení jsou uvedeny níže.

1. nádrž	450 Kč
2. potrubí	220 Kč
3. čerpadlo	3 700 Kč
4. vodoměr + stopky	5 800 + 200=6 000 Kč
5. vodotěsná váha	22 680 Kč
7. plexisklo	1560 Kč
8. tryska	220 Kč
9. kulový kohout	385 Kč
<u>10. manometr</u>	<u>267 Kč</u>
<u>CELKEM:</u>	<u>35 482 Kč</u>

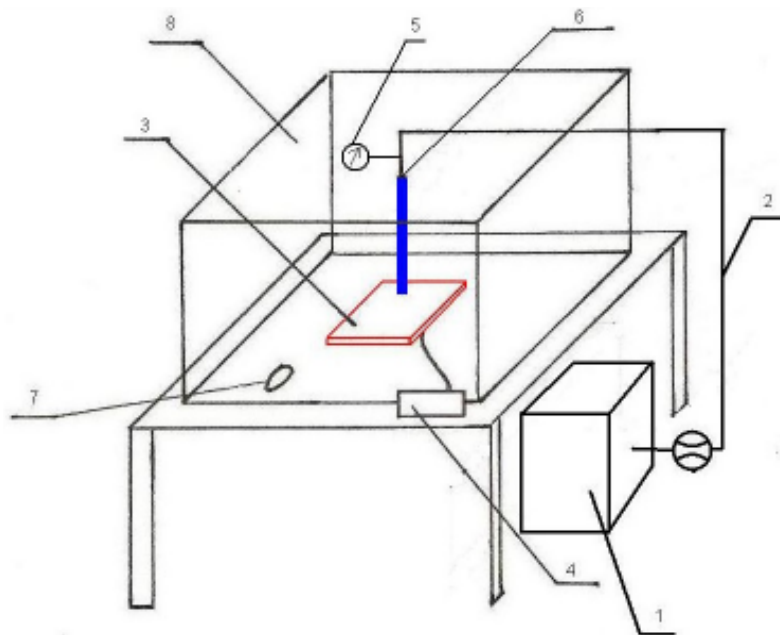
7 Návrh zařízení s využitím vysokotlakého čističe

Další zařízení, které navrhnu bude využívat vysokotlaký čistič, který je na obr. 7.1. Jedná se o vysokotlaký čistič Wap Poseidon 8-125 ST od firmy Mýval. Při použití vysokotlakého čističe z obvodu odpadá nádrž, čerpadlo a kulový kohout. Všechny tyto prvky jsou součástí čističe.



Obr. 7.1 Vysokotlaký čistič Wap Poseidon 8-125 ST

Problém vznikne při zjišťování průtoku. Součástí je pouze regulátor průtoku, nikoliv průtokoměr. Tento problém lze vyřešit pomocí vysokotlaké hadice, kterou lze libovolně připojovat a odpojovat. Lze tedy použít dvě hadice, mezi které se umístí buď průtokoměr, nebo vodoměr jako u předcházejícího zařízení. Totéž se provede s použitím vodní trysky, kterou lze namontovat. Schéma tohoto zařízení je na obr.7.2.



Obr. 7.2 Schéma s využitím vysokotlakého čističe

Princip celého zařízení je obdobný jako u předcházejícího návrhu. I při použití vysokotlakého čističe je možnost regulovat průtok, ale v menším rozsahu. Součástí je i manometr pro odečtení tlaku.

Schéma zařízení je obdobné, pouze je zde nádrž a čerpadlo nahrazeno vysokotlakým čističem (1).

Jako nevýhoda se může uvažovat spotřeba vody. Při použití tohoto zařízení voda nekoluje, ale odvádí se pryč. Čistič musí být po celou dobu v provozu připojen na zdroj vody. Avšak největší nevýhodou je pořizovací cena tohoto čističe, která se pohybuje kolem 100 000 Kč.

Postup při výpočtu silového účinku vodního paprsku je stejný (viz kapitola 6.2). Silový účinek opět lze počítat pomocí dvou vzorců:

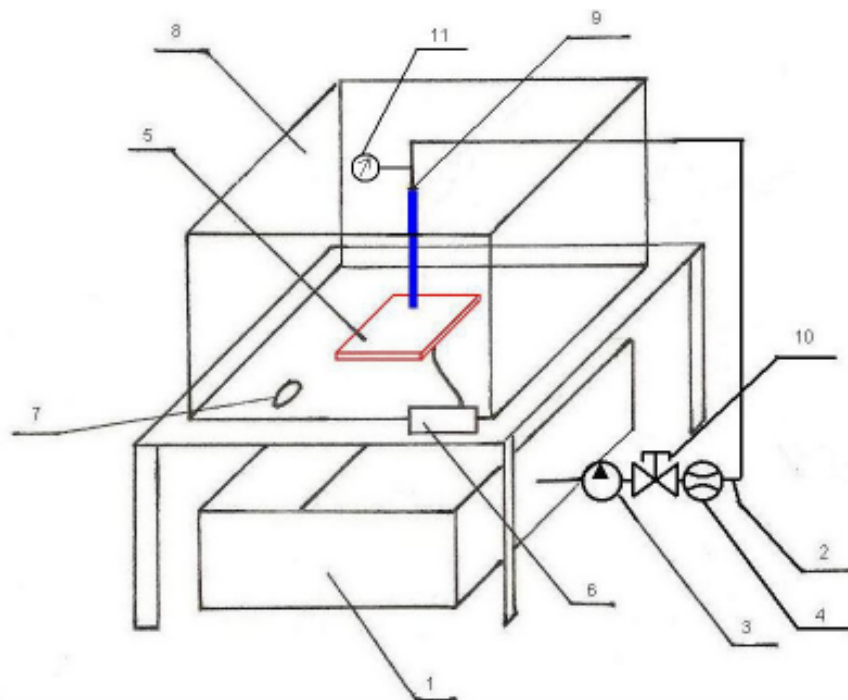
$$F_p = m \cdot g \quad [N] \quad (7.1)$$

$$F_p = \rho \cdot \frac{Q^2}{S} \quad [N] \quad (7.2)$$

8 Návody do měření

8.1 Popis měřícího zařízení

Na obr. 8.1 je schéma měřícího zařízení, na kterém bude měření probíhat. Zařízení se skládá z vodní nádrže (1), na které je připojeno čerpadlo (3) pomocí potrubí (2). Průměr potrubí v celém obvodu je 32,6 mm. Dále za čerpadlem je umístěn kulový kohout (10) a vodoměr (4). Na konci potrubí je umístěna vodní tryska (9) o průměru 5mm. Z té dopadá vodní paprsek na vodotěsnou váhu (5) umístěnou na pracovním stole ve vodorovné poloze. Na displeji (6) se poté odečítají naměřené hodnoty. Celé zařízení je kryto ochranným plexisklem (8). Specifikace jednotlivých prvků jsou uvedeny v kapitole 6.1.1.



Obr. 8.1 Měřící zařízení

8.2 Postup měření

- po zapnutí čerpadla nám začne voda proudit potrubím a vodní paprsek bude působit na váhu
- první měření provedeme pro zcela otevřený kulový kohout
- postupně budeme kulový kohout uzavírat, díky tomu docílíme regulaci průtoku
- pomocí stopek a vodoměru se určí daný průtok
- na displeji váhy odečteme příslušné tíhové zatížení
- měření se provádí alespoň pro 7 hodnot průtoku
- nejmenší možný průtok je takový, kdy nám váha je schopna zobrazit dané zatížení (vzhledem k její odečitelnosti)

8.3 Postup výpočtu

Při výpočtu postupujeme následovně:

- a) jako první krok se zjistí plocha S u vodní trysky

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [m^2] \quad (8.3.1)$$

- b) dále se bude postupovat zjišťováním průtoku. Vzhledem k tomu, že v obvodu je umístěn vodoměr, je nutné pomocí stopek změřit daný objem protečené vody V za danou dobu t podle vzorce:

$$Q = \frac{V}{t} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (8.3.2)$$

- c) rychlost vodního paprsku při výstupu z trysky se určí z rovnice kontinuity:

$$Q = S \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q}{S} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (8.3.3)$$

- d) Reynoldsovo číslo se vypočítá, uvažujeme kinematickou viskozitu při 20°C $\nu = 1,004 \cdot 10^{-6} m^2 \cdot s^{-1}$, ze vztahu:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad [-] \quad (8.3.4)$$

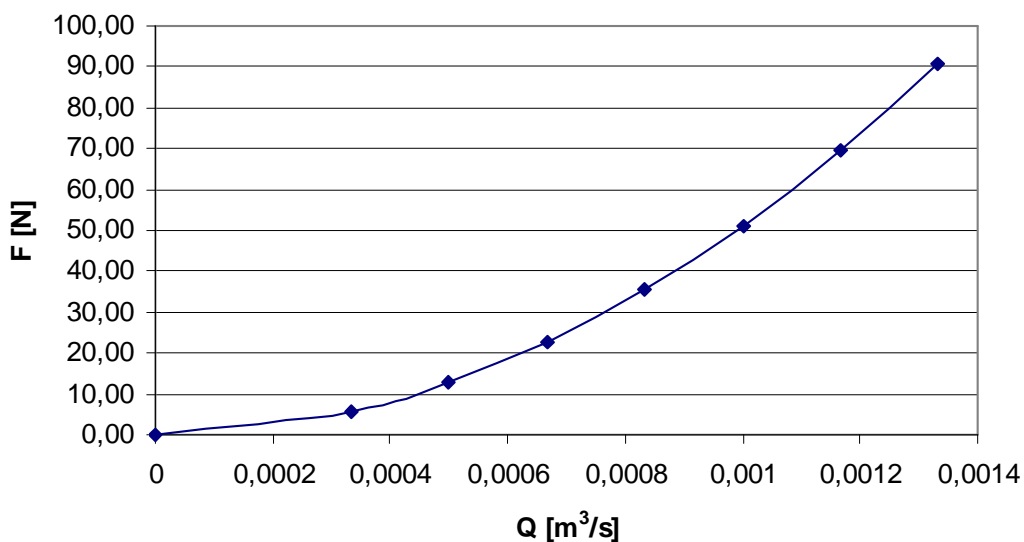
- e) výsledný silový účinek vodního paprsku se vypočítá pomocí dvou vztahů:

$$F_p = m \cdot g \quad [N] \quad (8.3.5)$$

$$F = \rho \cdot \frac{Q^2}{S} \quad [N] \quad (8.3.6)$$

- f) sestaví se graf $F=f(Q)$ závislosti silového účinku vodního paprsku F na průtoku Q
obr: 8.2

Závislost silového účinku na průtoku



Obr. 8.2 Graf závislosti silového účinku vodního paprsku na průtoku

g) veškeré naměřené a vypočtené hodnoty se uvedou do tabulky na obr.8.3. Měření se provede alespoň pro 7 hodnot průtoku Q.

Měření	Naměřené hodnoty		Vypočtené hodnoty		
	Q [m³·s ⁻¹]	m [kg]	v [m·s ⁻¹]	Re [-]	F _p [N]
1					
2					
....					

Obr. 8.3 Tabulka pro naměřené a vypočtené hodnoty

- h) provede se porovnání výsledků pro oba dva způsoby výpočtu silového účinku
- i) zhodnotí se měření a napíše se závěr

9 Řízení průtoku pomocí frekvenčního měniče

Jako jinou alternativu, pro řízení průtoku, lze využít zapojení frekvenčního měniče k čerpadlu. Na katedře hydraulických a pneumatických zařízení jsou k dispozici tyto frekvenční měniče, které lze pro zařízení použít. Frekvenční měnič je na obr. 9.1.



Obr. 9.1 Frekvenční měnič [8]

10 Závěr

V bakalářské práci jsem provedl návrh zařízení, které bude sloužit jako zařízení k určení silového účinku vodního paprsku. Navrhl jsem zařízení, kde určení silového účinku spočívá v měření jeho tíhového zatížení. Na váze se odečte naměřená hodnota a poté se dále pokračuje ve výpočtu. První zařízení jsem navrhl tak, že voda je z nádrže potrubím dopravována čerpadlem až k trysce odkud vodní paprsek dopadá na vodotěsnou váhu. U dalšího návrhu jsem volil využití vysokotlakého čističe. U tohoto zařízení je nádrž a čerpadlo nahrazeno právě vysokotlakým čističem s trvalým přívodem vody. Ostatní části zařízení jsou obdobné u obou dvou případů. Výpočty u jednotlivých zařízení jsou stejné.

Jako vhodnější zařízení pro laboratorní měření volím klasické využití nádrže a čerpadla. U tohoto zařízení lze řídit průtok pomocí kulového ventilu. Na rozdíl od druhého zařízení voda koluje neustále dokola a není nutné ji odvádět. Avšak hlavním důvodem je pořizovací cena obou zařízení. Cena zvoleného vysokotlakého čističe je řádově i 25 x větší než cena čerpadla. Po zhodnocení těchto faktorů volím pro laboratorní měření první navrhované zařízení.

V závěru práce jsem vytvořil návod do měření silového účinku vodního paprsku.

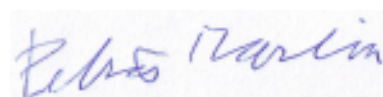
11 Použitá literatura

- [1] Bojko, M.,Kozubková, M.,Rautová, J. *Základy hydromechaniky a zásobování hasivy*. SPBI Ostrava, 2008. 198 s. ISBN 978-80-7385-033-3.
- [2] NOSKIEVIČ, J. *Mechanika tekutin*. Praha. SNTL Praha, 1987. 354 s.
- [3] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. VŠB-TU Ostrava, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [4] JANALÍK, J. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: Skripta VŠB-TU Ostrava, 1995. 155 s.
- [5] JANALÍK, J., ŠTÁVA P. *Mechanika tekutin*. VŠB-TU Ostrava, 2002. 128 s. ISBN 80-248-0038-1.
- [6] STREETER, L.,V., WYLIE, E. B. *Fluid mechanics*. Michigan, 1979. 562 s. ISBN 0-07-062232-9
- [7] MACHT, K. *Hašení vodou , vodní proudy, proudnice*. Praha, 2005 16 s.
- [8] KOZUBKOVÁ, M. a kol. *Mechanika tekutin-návody pro laboratorní cvičení*. VŠB-TU Ostrava, 2007. 113 s.
- [9] Firemní katalog dostupný z <<http://www.hepnar.cz>> [cit. 2009-11-10]
- [10] Firemní katalog dostupný z <<http://www.ekoplastik.cz>> [cit. 2009-11-10]
- [11] Firemní katalog dostupný z <<http://www.e-cerpadla.cz>> [cit. 2010-1-7]
- [12] Firemní katalog dostupný z <<http://www.shop.rekshop.cz>> [cit. 2010-2-4]
- [13] Firemní katalog dostupný z <<http://www.awac.cz>> [cit. 2010-2-4]

- [14] Firemní katalog dostupný z <<http://www.flowcorp.cz>> [cit. 2010-3-3]
- [15] Firemní katalog dostupný z <<http://www.chps.cz>> [cit. 2010-3-3]
- [16] Firemní katalog dostupný z <<http://www.itron.cz>> [cit. 2010-3-3]
- [17] Firemní katalog dostupný z <<http://www.znackykladno.cz>> [cit. 2010-4-3]
- [18] Firemní katalog dostupný z <<http://www.myval.cz>> [cit. 2010-4-15]
- [19] <<http://www.wikipedie.cz> >

Poděkování

Děkuji panu prof. Ing. Jaroslavu Janalíkovi, CSc. za vedení bakalářské práce a za poskytnutí cenných rad, které mně během vypracování bakalářské práce uděloval.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Petr Janalík".