

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

OKRUŽNÍ POTRUBÍ PELTONOVY TURBÍNY

DISTRIBUTION PIPE OF PELTON TURBINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ROBIN HALABRIN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV ŠTIGLER, Ph.D.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁČE

student(ka): Halabrin Robin

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Okružní potrubí Peltonovy turbíny

v anglickém jazyce:

Distribution Pipe of Pelton Turbine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem okružního potrubí peltonovy turbíny je, přivést kapalinu k dýzám peltonovy turbíny s minimální hydraulickou ztrátou a rovnoměrným rozdělením průtoků na jednotlivé dýzy. Při technickém řešení je však třeba zohledňovat i ekonomické hledisko. Výroba hydraulicky optimalizovaného okružního potrubí je ekonomicky náročná. Pro je třeba hledat tvary výrobně jednodušší, při zachování vysoké účinnosti.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit se s problematikou návrhu okružního potrubí Peltonovy turbíny.

Zjistit jakými způsoby je možné navrhovat zjednodušená okružní potrubí.

Provést rešerši jakými způsoby je možné řešit problém hydraulické optimalizace a výrobních nákladů.

Seznam odborné literatury:

Internet.

HIMR, D. Návrh zjednodušeného okružního potrubí Peltonovy turbíny. Brno, 2007. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně na Odboru fluidní inženýrství Energetického ústavu. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

Další podklady dodané vedoucím diplomové práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08

V Brně, dne 21.11.2007

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje problematiku návrhu okružního potrubí Peltonovy turbíny a uvádí způsoby zjednodušení realizace tohoto potrubí. Srovnávána je zde varianta potrubí vyrobeného ze svařovaných plechů, s variantou z bezešvých trubek spojených taktéž svařováním. Úkolem je zhodnocení předem daných návrhů z hlediska výrobních nákladů a hydraulické optimalizace.

Klíčová slova: Peltonova turbína, okružní potrubí

ABSTRACT

This bachelor's thesis describes problems of concept distribution pipe of Pelton turbine and it shows other ways it's possibly simplify this pipeline. There is compared the version made of welding plate with the other version made of welding pipes. The aim is the cost analyse and hydraulic optimalization.

Key words: Pelton turbine, distribution pipe

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HALABRIN, R. *Okružní potrubí Peltonovy turbíny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Okružní potrubí Peltonovy turbíny vypracoval samostatně s použitím uvedené odborné literatury.

Datum

.....
Jméno a přímení bakaláře

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jaroslavu Štiglerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

OBSAH	- 8 -
1. ÚVOD	- 9 -
2. CÍL	- 9 -
3. PELTONOVA TURBÍNA	- 10 -
3.1 Popis funkce	- 11 -
3.2 Hydraulické řešení oběžného kola	- 11 -
3.2.1 Výpočet průměru paprsku, průměr oběžného kola a měrné otáčky	- 11 -
3.2.2 Rychlostní diagram	- 12 -
3.2.3 Výpočet síly a výkonu	- 13 -
3.3 Regulační prvky	- 14 -
3.3.1 Dýza a jehla	- 14 -
3.3.2 Deflektor a deviátor	- 15 -
4. SEZNÁMENÍ S PROBLÉMEM OKRUŽNÍHO POTRUBÍ	- 16 -
4.1 Současný tvar potrubí	- 16 -
4.2 Zjednodušené potrubí	- 17 -
4.2.1 Varianta I	- 18 -
4.2.2 Varianta II	- 19 -
4.2.3 Varianta III	- 20 -
5. POSTUP VYHODNOCENÍ NUMERICKÝCH MODELŮ	- 21 -
6. HYDRAULICKÁ ANALÝZA	- 23 -
6.1 Originální potrubí	- 23 -
6.2. Varianta I	- 25 -
6.3 Tabulky vypočtených hodnot	- 27 -
7. EKONOMICKÁ ANALÝZA	- 28 -
7.1 Zjednodušený pevnostní výpočet	- 29 -
7.2 Potrubí svařované z plechu	- 31 -
7.2.1 Náklady na materiál	- 32 -
7.2.2 Náklady na svařování	- 36 -
7.2.3 Čas svařování	- 38 -
7.3 Potrubí svařované z trubek	- 39 -
7.3.1 Náklady na materiál	- 40 -
7.3.2 Náklady na svařování	- 43 -
7.3.3 Čas svařování	- 44 -
7.4 Zhodnocení nákladů a doby svařování	- 45 -
7.5 Grafické porovnání nákladů a doby svařování	- 47 -
8. ZÁVĚR	- 49 -
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 50 -
10. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	- 51 -

1. ÚVOD

Vodní turbíny jsou stroje, které získávají energii z vodních toků. Voda se přitom dostává z míst o vyšší poloze do míst s nižší polohou, tedy turbíny využívají její potenciální energii. Voda protéká nejprve pevnými rozváděcími kanály, v nichž se buď celá tlaková energie nebo její část mění v energii kinetickou. Tato energie pohání hydraulický stroj, spojený s hřídelí a ta je následně spojena s generátorem, který vytváří elektrickou energii.

Vodní turbíny se dělí na přetlakové a rovnotlaké – u přetlakových turbín se tlak před a za oběžným kolem liší, zatím co u rovnotlakých se tlak po lopatce nemění. Mezi přetlakové turbíny patří Kaplanova a Francisova turbína, do rovnotlakých zejména Peltonova turbína.

Kromě tohoto dělení, ještě rozlišuje turbíny podle směru přitékání a odtékání kapalina z oběžného kola vzhledem k hřídeli turbíny. Protéká-li kapalina rovnoběžně s hřídelí oběžného kola, jedná se o axiální turbínu. Protéká-li kapalina kolmo na hřídel oběžného kola, jedná se o radiální turbínu. Mění-li se směr protékané kapaliny mezi axiální a radiálním směrem, jedná se o radiaxiální turbínu.

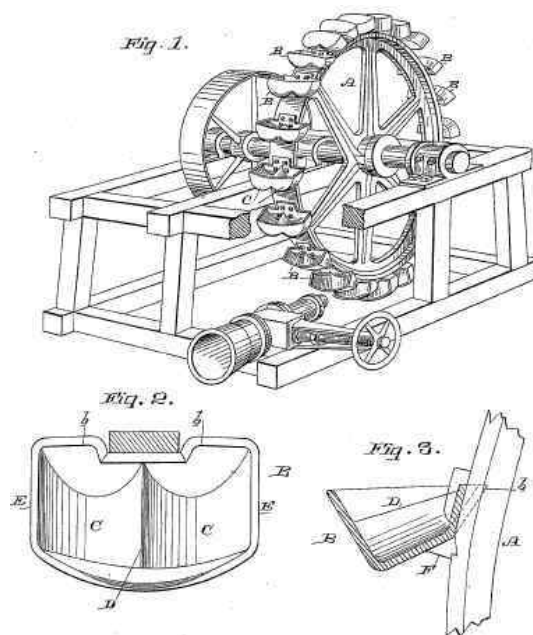
2. CÍL

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s problematikou návrhu okružního potrubí Peltonovy turbíny. Úkolem je přivést kapalinu k dýzám Peltonovy turbíny s co nejmenší hydraulickou ztrátou a zajistit optimální rozdělení průtoků na jednotlivé dýzy. Energii získanou z kapaliny následně předat lopatkám Peltonovy turbíny a dosáhnout tak co největší účinnosti.

Okružní potrubí je náročné na výrobu, a proto je nutné zahrnout do návrhu i ekonomické hledisko, které je v dnešní době jedním z důležitých kritérií při návrhu jakéhokoliv strojního zařízení.

3. PELTONOVA TURBÍNA

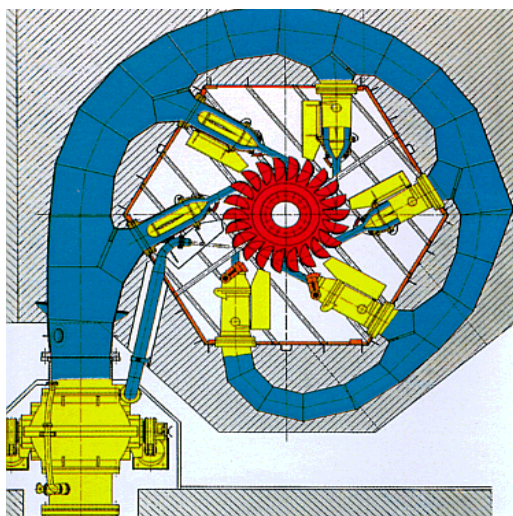
Peltonova turbína byla vynalezena Lestrem Allanem Peltonem v roce 1880 (obr.1), který byl synem amerického farmáře z Ohia.



Obr.1 Původní patent Peltonovy turbíny z roku 1880, Zdroj:[8]

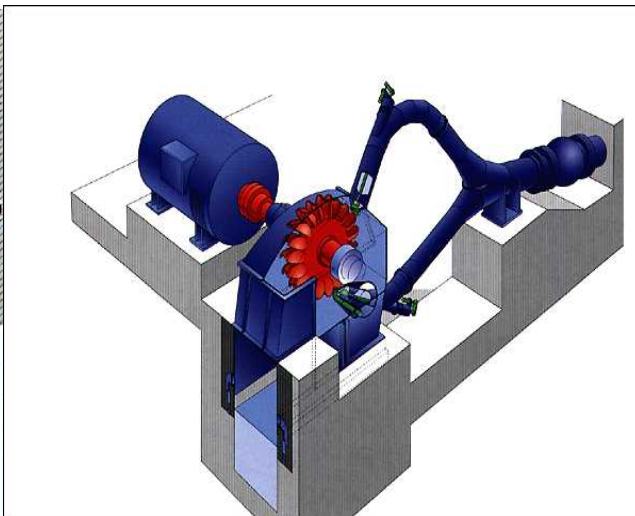
Tato turbína je rovnotlaká s parciálním tangenciálním ostřikem. Používá se pro velmi vysoký spád vody, a to až do 1800 m a pro malý průtok do 3 m³/s. Jsou vyráběny v různých velikostech. Turbíny jsou umístěny buď horizontálně nebo vertikálně.

U horizontálního uložení jsou maximálně 2 dýzy (obr. 3) a u vertikálního uložení je počet dýz 4 až 6 (obr. 2). V energetice se používá vertikálním uložení a pro výkon až 400 MW. Účinnost u malých turbín je okolo 80 až 85%, u větších je účinnost okolo 90 až 95%.



Obr.2

Pětídýzová vertikální Peltonova turbína
Zdroj: [9]



Obr.3

Dvoudýzová horizontální Peltonova turbína
Zdroj: [10]

3.1 Popis funkce

Peltonova turbína je turbína akční, která přivádí vodu z horní nádrže pomocí kruhového potrubí. Potrubí je zakončeno rozváděcím ústrojím, které tvoří tryska (dýza), z níž voda vystupuje ve tvaru volného paprsku a ostříkují lopatky kola. Paprsek musí být celistvý a co nejméně rozčtěn vzduchem, což zajišťuje dýza. Lopatky oběžného kola mají lžičkovitý tvar, který je někdy nazýván korečkový. Každá lopatka je ostřikována proudem vody a ten roztáčí oběžné kolo. Lopatka je umístěna na obvodu oběžného kola, a toto kolo je pevně spojeno s hřídelí, která roztáčí generátor a tím se vytváří elektrická energie. Voda odchází okrajem lopatky s malou kinetickou energií, neboť svou kinetickou energii předala turbíně, a dále je odvedena výstupním potrubím do spodní nádrže.

3.2 Hydraulické řešení oběžného kola

3.2.1 Výpočet průměru paprsku, průměr oběžného kola a měrné otáčky

Nezbytnou součástí Peltonovy turbíny je návrh oběžného kola. Oběžné kolo je tvořeno lopatkami, které jsou vsazeny po obvodu turbíny. Počtu lopatek je třeba věnovat velkou pozornost. Počet lopatek je nutné volit tak, aby nezapadaly často do vodního paprsku a naopak, aby celá kapalina odevzdala svou kinetickou energii oběžnému kolu, proto se dává jen nezbytně nutný počet lopatek. Paprsek vystupující s trysky na Peltonovu turbínu, se nejprve zmenšuje vlivem kontrakce tím narůstá rychlost paprsku.

Nejužší průměr paprsku vypočteme z rovnice kontinuity

$$Q_v = \frac{\pi}{4} d_0^2 c_0 \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3.2.1.1)$$

Při vyhodnocení musí být známa střední rychlost paprsku c_0 , protože jde o akční turbínu, přeměnění se celý spád H v rychlost (potenciální energie se mění v kinetickou), takže výtoková rychlost je dána rovnicí

$$c_0 = \varphi \sqrt{2gH} \quad [\text{m/s}] \quad (3.2.1.2)$$

Po dosazení a vyjádření d_0 dostaneme

$$d_0 = \sqrt{\frac{4Q_v}{\pi\varphi\sqrt{2gH}}} \quad [\text{m}] \quad (3.2.1.3)$$

Po dosazení $\varphi = 0,97$ jako střední hodnotě rychlostního součinitele dostaneme

$$d_0 = 0,55\sqrt{Q_v} \quad [\text{m}] \quad (3.2.1.4)$$

Roztečný průměr oběžného kola

$$D = \frac{2,28 \cdot 60 \cdot \eta_h \sqrt{H}}{\pi \cdot n} \quad [\text{m}] \quad (3.2.1.5)$$

Měrné otáčky vztažené na jednu dýzu

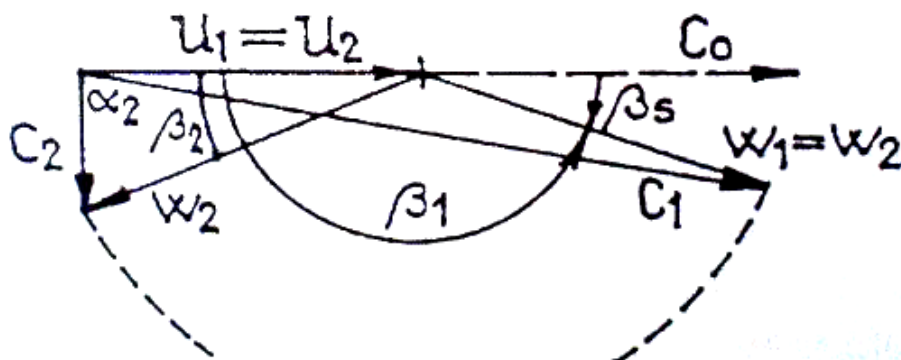
$$n_s = 576u_1 \frac{d_0}{D} \sqrt{c_0 \eta} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (3.2.1.6)$$

3.2.2 Rychlostní diagram

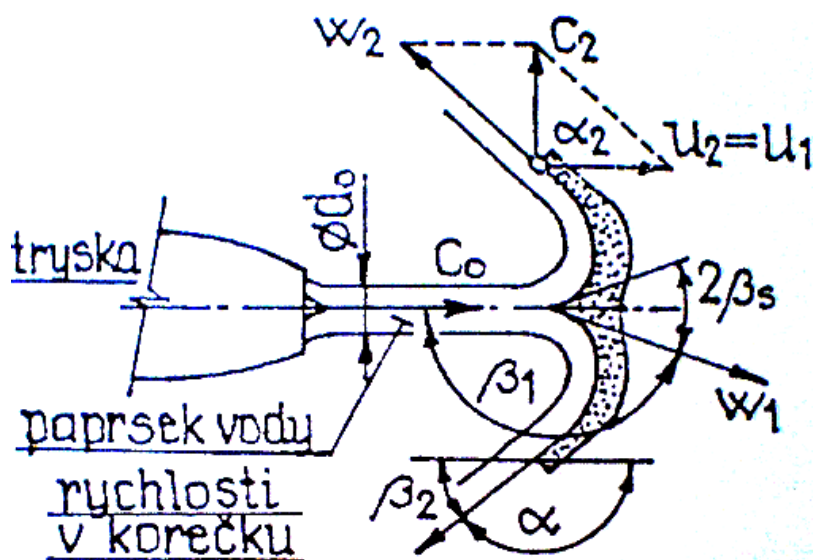
Rychlostní diagramy se vytváří u pomaloběžných turbín, jejichž poměr d_0/D je velmi malý. Protože je průměr paprsku d_0 je velmi malý k průměru rozteče kola, dopadá paprsek doprostřed a kolmo na ostří lopatky, kde se rozlévá rovnoměrně na obě strany.

Diagram představuje grafické znázornění rychlostí na lopatce. Pro měrnou výstupní rychlost c můžeme volit 0,95 – 0,97 hodnoty c_0 . Hodnoty 0,95 – 0,97 představují ztrátový součinitel rychlosti φ . Je to rychlost, kterou ztratí kapalina vlivem tření po lopatce.

Obvodová rychlost $u_1=u_2=u$ se musí určit tak aby byla poloviční, jak výtoková rychlost paprsku v dýze. Relativní rychlost $w_1=w_2$ by měla být konstantní, protože se na lopatce nemění tlak. Rozložení rychlosti na lopatce je znázorněna na obr. 5. Uvedené relativní rozměry jsou vztaženy k jednotkovému průměru paprsku. Úhel břitu β_s , rozdělujícího lopatku na dva korečky, se volí v rozmezí hodnot $\beta_s = (7,5 \text{ až } 15,0)^\circ$ (U vyšších hodnot měrné energie se volí větší úhel). Jeho poloviční hodnota představuje vstupní úhel β_1 na obr. 4. Výstupní úhel β_2 se volí vzhledem k výstupní rychlosti c_2 v rozmezí hodnot $\beta_2 = (4 \text{ až } 10)^\circ$.



Obr.4 Rychlostní trojúhelníky Peltonovy turbíny, Zdroj: [4]



Obr. 5 Rozložení rychlosti na lopatce Peltonovy turbíny, Zdroj: [4]

3.2.3 Výpočet síly a výkonu

Práce turbíny je určena tím, že kapalina v důsledku změny směru proudu, které je vynuceno tvarem lopatek, vyvíjí na lopatky oběžného kola sílu. Tato síla působí na lopatku, přičemž v důsledku se lopatka začne pohybovat a otáčet tak oběžným kolem turbíny.

Síla působící na jednu lopatku ve směru x

$$F = \rho \cdot Q_v \cdot (c_0 - u)(1 - \cos \alpha) \quad [\text{N}] \quad (3.2.3.1)$$

Výkon na jednu lopatku

$$P = F_x \cdot u = \rho \cdot Q_v \cdot u \cdot (c_0 - u)(1 - \cos \alpha) \quad [\text{W}] \quad (3.2.3.2)$$

3.3 Regulační prvky

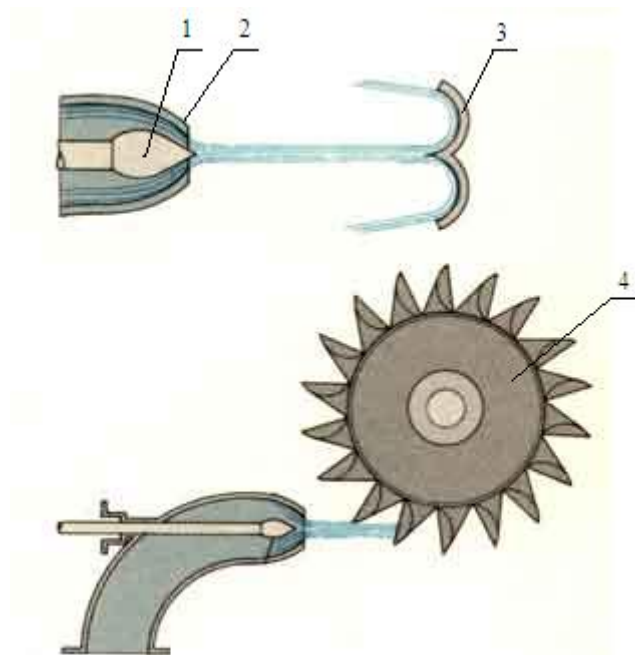
Důležitou součástí celého rozvodného systému jsou prvky sloužící k jeho regulaci. Základní prvky jsou deflektory, deviátory, dýzy a jehly.

3.3.1 Dýza a jehla

U Peltonovy turbíny se výkon celé soustavy reguluje jako u jiných turbín průtokem. Jehla, která je umístěna uvnitř dýzy, se posouvá ve směru proudu. Při vysouvání a zasouvání jehly do hrdla dýzy se reguluje výtok a tím velikost paprsku dopadajícího na lopatky (obr. 6). Podle toho kolik kapaliny projde mezi dýzou a jehlou je určen výkon a otáčky oběžného kola.

Tvar a kompaktnost paprsku závisí na tvaru jehly a hrdla dýzy. V současnosti jsou nejpoužívanější jehly a dýzy kuželovitěho tvaru, které jsou doporučovány v mnoha literaturách.

Jehla se používá pro pomalou regulaci průtoku. Hlavní výhodou při pomalém uzavírání potrubí je, že nevzniká hydraulický ráz, který by mohl poškodit potrubí. Nevýhodou pomalého uzavírání je skutečnost, že se v případě poruchy turbíny nedá rychle odstavit, tím může dojít nejen k poškození turbíny, ale i k poškození jiných částí soustavy.



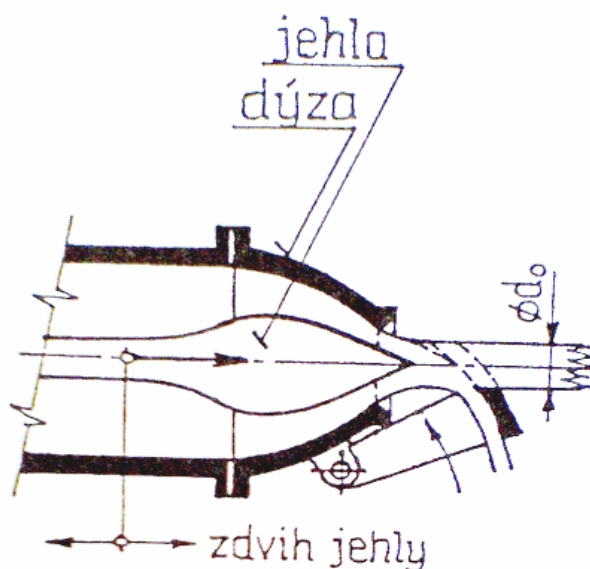
Obr.6 Zobrazení jehly v dýze, Zdroj: [11]

1 – Jehla, 2 – Dýza, 3 – Lopatka turbíny, 4 – Oběžné kolo

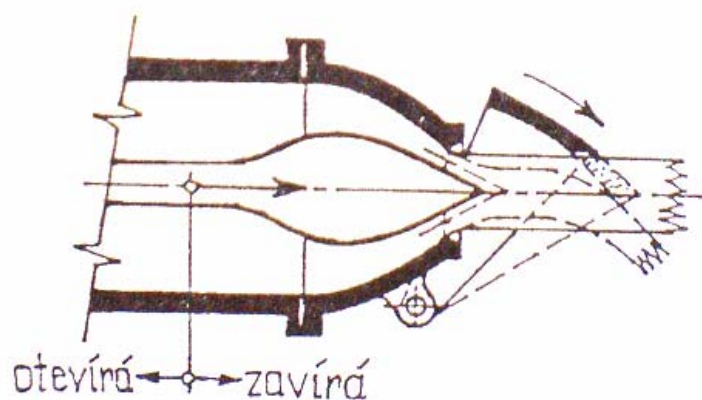
3.3.2 Deflektor a deviátor

Deflektor a deviátor jsou prvky, které se vkládají do systému z důvodu rychlého odstavení turbíny. Jsou to prvky sloužící k odklonění vodního paprsku z ústí hrdla. Vodní paprsek je odkloněn ze své dráhy a odveden do odpadu. Tato regulace je rychlá a nezpůsobuje vodní ráz, proto se využívá v kombinaci s jehlou.

Dojde-li k poruše na vodní turbíně musí se co nejrychleji odstavit k tomuto účelu se používá deflektor či deviátor, který začne paprsek odklánět ze své dráhy. Deflektor začne zajiždět do vodního paprsku z vnější strany a musí vykonávat zdvih rovnající se průměru plného paprsku, aby tento proud kapaliny vychýlil (obr.7). Původní průměr paprsku je rovnoměrně zmenšován až je zcela odkloněn z původní dráhy. Tato regulace se používá častěji, protože má plynulejší průběh. U deviátoru je tomu naopak, ten zajiždí do paprsku z vnitřní strany a k vychýlení mu stačí pouze poloviční zdvih, protože se rozruší horní polovina paprsku a následně i dolní polovina (obr.8). Současně se při vychylování paprsku se pohybuje jehla směrem k ústí dýzy a snižuje se tak její průtok až do úplného uzavření. Konstrukce těchto prvků je jednoduchá a spolehlivá.



Obr.7 Deflektor, Zdroj: [4]



Obr.8 Deviátor, Zdroj: [4]

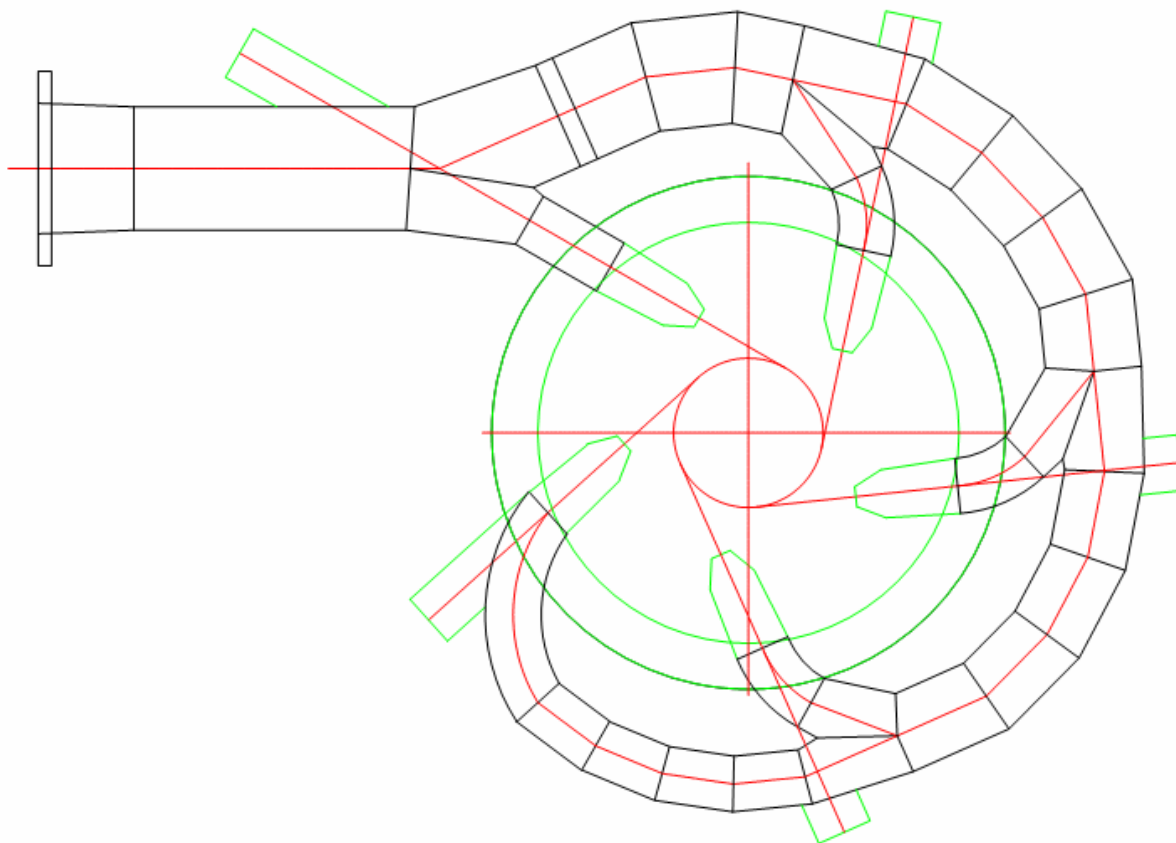
4. SEZNÁMENÍ S PROBLÉMEM OKRUŽNÍHO POTRUBÍ

Hlavním problémem při návrhu Peltonovy turbíny není samotná turbína, ale okružní potrubí, které má kapalinu dovést k lopatkám s co nejmenšími hydraulickými ztrátami a zajistit přitom co nejvyšší účinnost.

4.1 Současný tvar potrubí

V současnosti je užíváno pětídýzové potrubí pro vertikální Peltonovu turbínu. Je tvořeno ze skružovaných plechů, spojených svařováním. Potrubí se dále zužuje tak, aby byl zachován rovnoměrný tlak, rychlost a průtok u každé z dýz. Tato koncepce má velmi vysokou účinnost, která je důležitou součástí každého stroje.

Současný tvar potrubí (obr.9) byl konstruován pro průměry oběžného kola přes 2000 mm a pro spády až 1000 m. Ústí dýzy jsou ve stejné hladině jako přívodní potrubí, které je vsazeno do betonového základu pro pohlcení dynamiky sil. Profil celého potrubí je velmi složitý, ale z hydraulického hlediska se jeví toto řešení jako optimální.



Obr.9 Současný tvar přívodní potrubí na Peltonovu turbínu, Zdroj: [1]

4.2 Zjednodušené potrubí

Důvodem proč vytvářet nové či zlepšovat stávající tvary potrubí je jednoznačně ekonomické hledisko. Při hledání nových tvarů potrubí je nutné redukovat počet svarů, tzn. pracnost a hmotnost celého potrubí. Svary jsou vzhledem k bezpečnosti konstrukce velkým koncentrátorem napětí, proto zde může docházet k poruše celistvosti hydraulické soustavy. Dále je kladen důraz na hydraulickou účinnost jednotlivých variant zjednodušeného potrubí. Všechny tyto stanoviska jsou nezbytné při vytváření nových koncepcí jednotlivých potrubí.

Jednotlivé varianty a modely návrhu potrubí byly získány z diplomové práce, která se zabývala numerickým modelováním proudění. Zvoleny byly tři varianty potrubí, které se nabízely ze šesti numericky zpracovaných modelů. Tyto návrhy jsou označeny jako varianty I až III, a byly srovnány s originálním potrubím. Podle grafů a dat byla zvolena pouze varianta I, která má příznivé hydraulické parametry.

Zjednodušené potrubí vychází z konstantního průměru pro jednodušší výrobu a při snížení optimální hydraulické účinnosti. Jednotlivé varianty jsou navrženy pro menší turbíny s jmenovitým průměrem oběžného kola do 1500 mm a pro spády do 250 m. Potrubí bylo numericky počítáno v programu Fluent 6.2.16 a síť připravena v programu Gambit 2.2.30. Jednotlivé modely byly spočítány z hlediska proudění kapaliny.

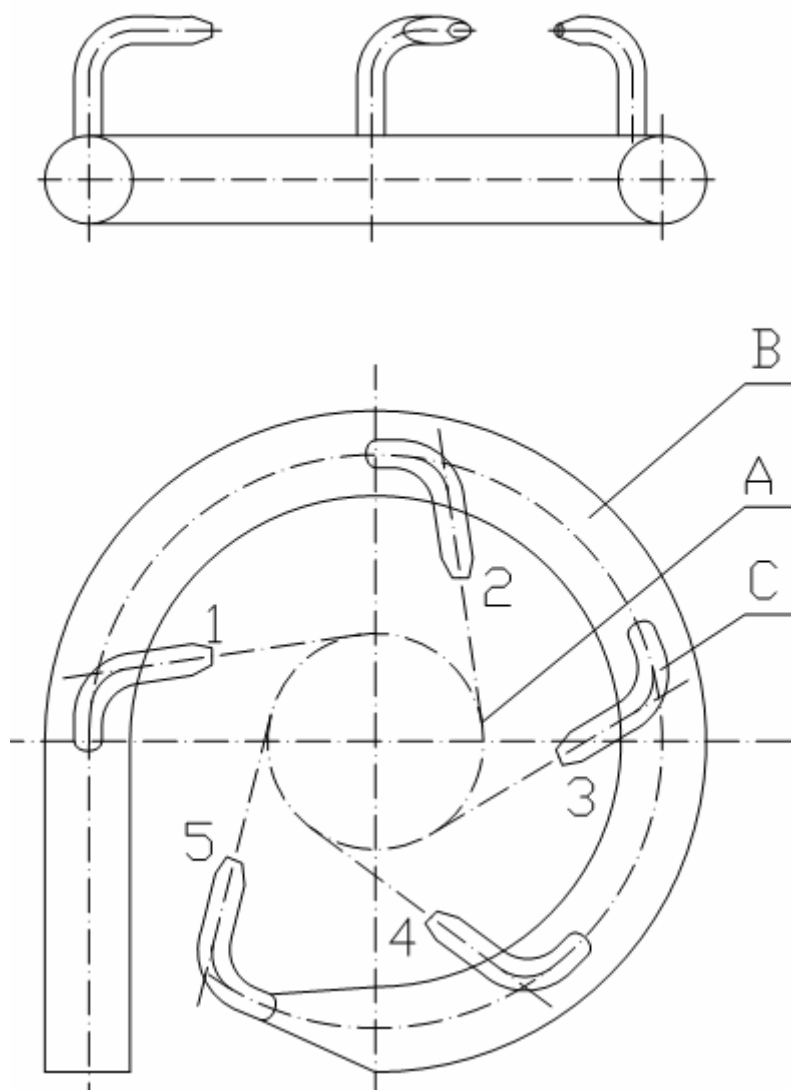
Každý model byl počítán pro Peltonovu turbínu, která má následující parametry.

Základní hydraulické parametry turbíny

Optimální jednotkové otáčky	41 min ⁻¹
Optimální jednotkový průtok na 1 dýzu	0,031
Účinnost turbíny v optimu	90%
Roztečný průměr oběžného kola	1000 mm
Průměr ústí dýzy	135 mm
Vstupní průměr dýzy	370.6 mm

4.2.1 Varianta I

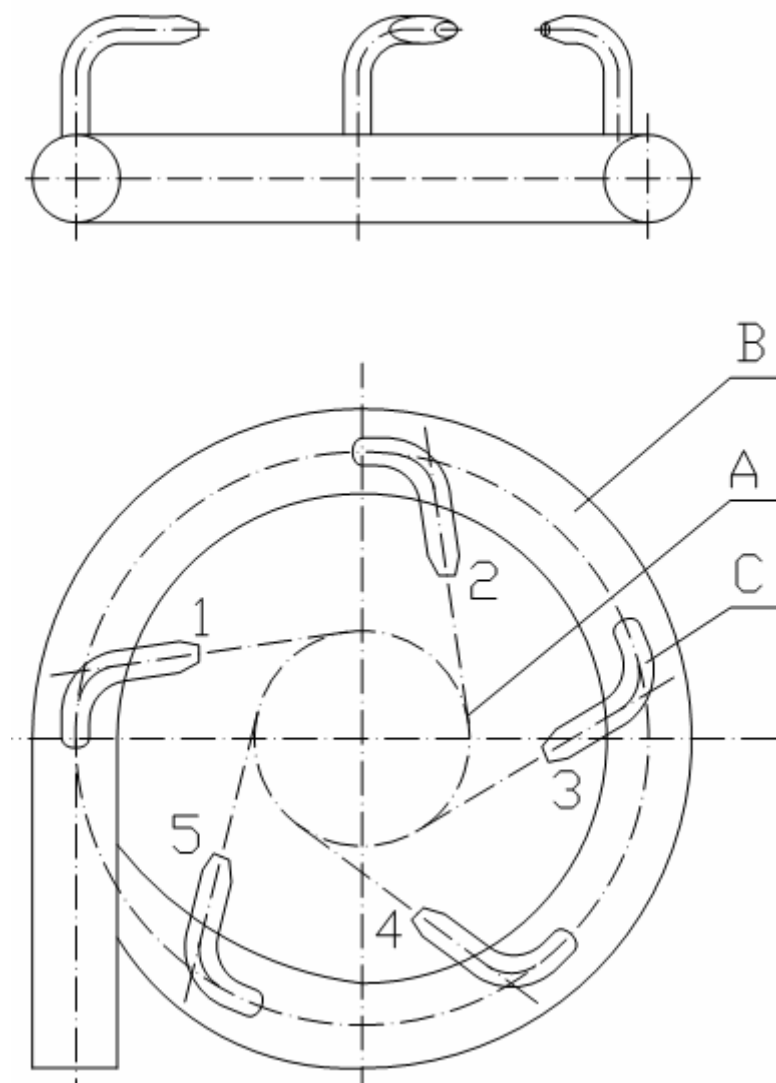
Varianta I je podobná originálnímu porubí s tím rozdílem, že je zachován konstantní průřez po celé délce a odbočnice nejsou ve stejné rovině jako potrubí, ale jsou vysunuty směrem nahoru a opatřeny koleny, na kterých jsou umístěny servomotory pro ovládání jehly v dýze (obr. 10).



Obr. 10 Varianta I návrhu zjednodušeného potrubí, Zdroj: [1]
A – Jmenovitý průměr oběžného kola, B – Hlavní přívodní potrubí, C – Odbočnice,
1 – 5 Označení ústí jednotlivých dýz

4.2.2 Varianta II

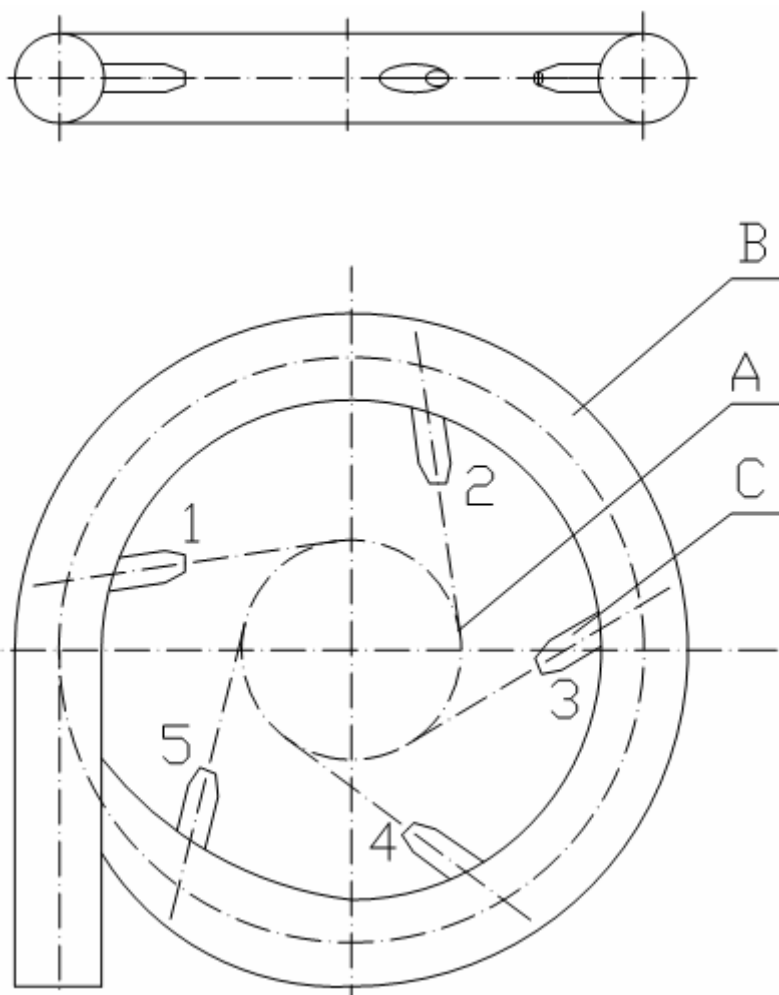
Varianta II se liší od první pouze v tom, že prstenec je kolem dokola uzavřen a na konci nepatrně zúžen (obr. 11).



Obr.11 Varianta II návrhu zjednodušeného potrubí, Zdroj: [1]
A – Jmenovitý průměr oběžného kola, B – Hlavní přívodní potrubí, C – Odbočnice
1 – 5 Označení ústí jednotlivých dýz

4.2.3 Varianta III

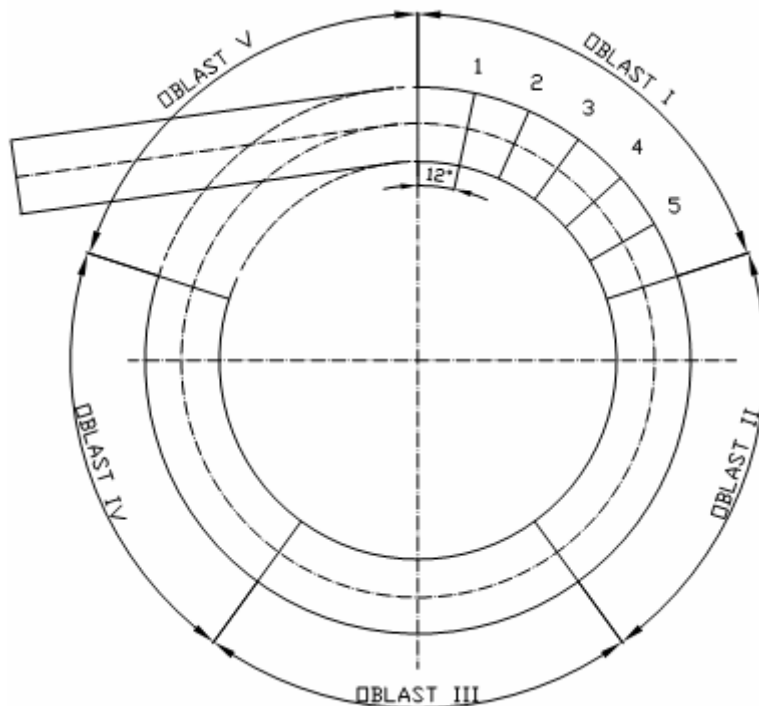
Tato varianta se liší od předchozích dvou v tom, že ústí dýzy jsou ve stejné rovině jako rozvodné potrubí (obr. 12)



Obr.12 Varianta III návrh zjednodušeného potrubí, Zdroj: [1]
A – Jmenovitý průměr oběžného kola, B – Hlavní přívodní potrubí, C – Odbočnice
1 – 5 Označení ústí jednotlivých dýz

5. POSTUP VYHODNOCENÍ NUMERICKÝCH MODELŮ

Prstenec okružního potrubí je rozdělen do pěti oblastí, které jsou značeny římskými číslicemi I – V. V každé s těchto oblastí je pět řezů od sebe vzdálených o 12° a každý řez je označen číslicemi 1- 5 ve směru proudu.



Obr.13 Systém vyhodnocení, Zdroj: [1]

Tlaky

Tlaky jsou vypisovány do grafů jako vážené průměry v daných řezech. Tento tlak je statický.

$$p_{stat} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad [\text{Pa}] \quad (5.1)$$

Průtoky

Průtoky jsou počítány z hmotnostních toku pro danou plochu.

$$Q_V = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5.2)$$

Výpočet vstupní rychlosti

Vstupní rychlost byla vypočítána ze zadaných parametru dle rovnic (5.3) a (5.4)

$$Q_V = Q_{11opt} \cdot n \cdot D^2 \cdot \sqrt{H} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5.3)$$

$$c = \frac{4 \cdot Q_V}{\pi \cdot d^2} \quad [\text{m/s}] \quad (5.4)$$

Dosazované hodnoty

Optimalní jednotkový průtok na jednu dýzu	Q_{11opt}	0,031
Počet dýz	n	5
Průměr oběžného kola	D	1 m
Spád	H	60 m
Vstupní průměr	d	0,825 m

U všech modelovaných potrubí byly nastaveny stejné okrajové podmínky, a proto lze srovnávat jednotlivé varianty mezi sebou.

Hlavní rozměry

Průměr prstence	0,825 m	
Výstupní průměr dýzy	0,135 m	
Poloměr zakřivení prstence	2,55 m	
Průměr odbočnic	0,3706 m	
Umístění dýz	2 m	nad rovinou prstence (vyjma varianty III)
Umístění první odbočnice	21°	od počátku zakřivení prstence

6. HYDRAULICKÁ ANALÝZA

Na základě dat získaných z diplomové práce jsou zde uvedeny dva modely, na kterých byly provedeny numerické výpočty proudění kapaliny. Při hydraulické analýze byly porovnány u originálního potrubí (obr.14) a varianty I (obr.15).

Jednotlivá hydraulická data jsou pouze vztaženy k rozložení tlaku a průtoku jednotlivými oblastmi a řezy, jak již bylo uvedeno na obr. 13.

6.1 Originální potrubí

Potrubí je koncipováno s co nejmenšími hydraulickými ztrátami. Hlavní potrubí zmenšuje svůj průměr za každou z odbočnic, a to proto, aby byl zachován tlak a rychlost na každou dýzu. Je zhotoven ze svařovaných segmentů a každý segment je jedinečný. Odbočnice jsou vyvedeny ve stejné rovině jako hlavní potrubí.

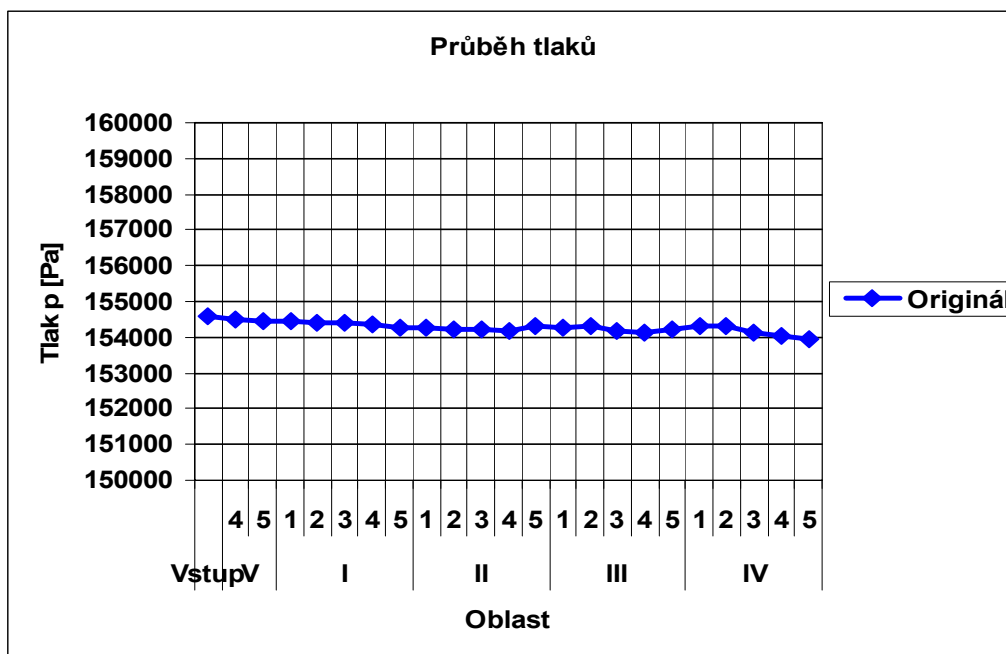


Obr.14 Model originálního potrubí, Zdroj: [1]

Vyhodnocení:

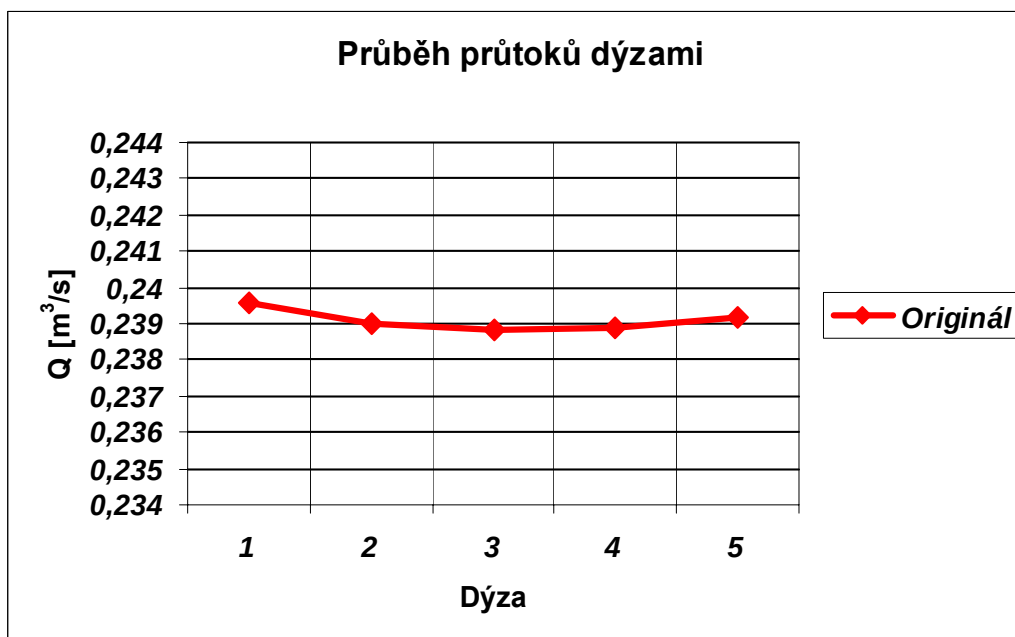
a) Tlak

Z grafu je patrné, že tlak v celém potrubí je téměř rovnoměrný, a tedy je hydraulicky optimálně navrženo.



b) Průtok

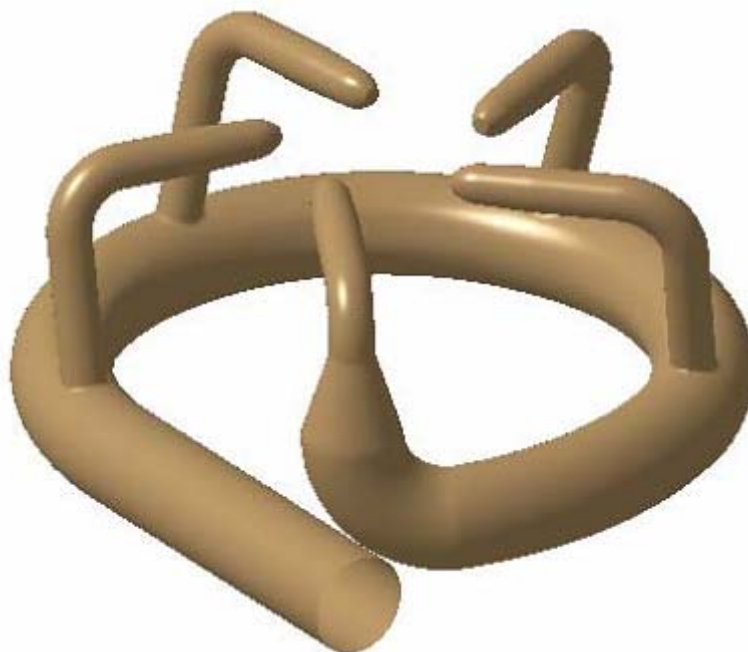
Průtok jednotlivými dýzami je téměř konstantní až na pokles průtok u třetí dýzy, což je způsobeno zakřivením potrubí.



6.2. Varianta I

Tato varianta se jeví jako nejpříjemnější ze všech numericky modelovaných potrubí. V tomto potrubí je zachován stejný průřez po celé rozvodné délce. Vyústění dýz neleží ve stejné rovině jako hlavní potrubí, ale je posunuto směrem nahoru.

Jednotlivé odbočky jsou mírně zakřiveny pro zlepšení proudění v jednotlivých oddílech.

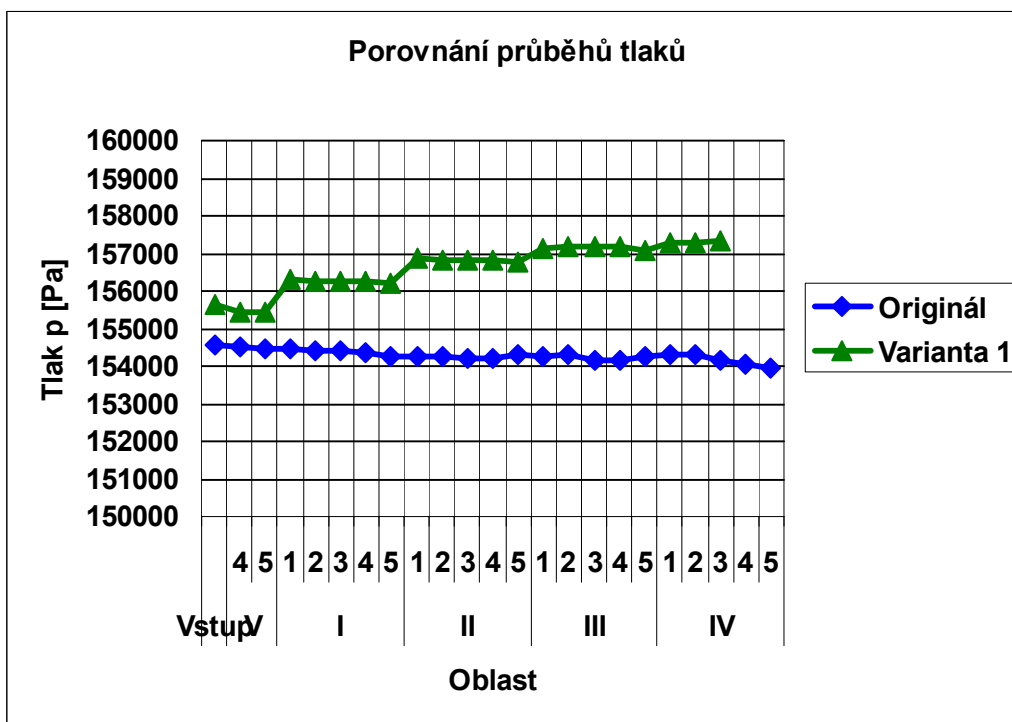


Obr.15 Model varianty I, Zdroj: [1]

Vyhodnocení:

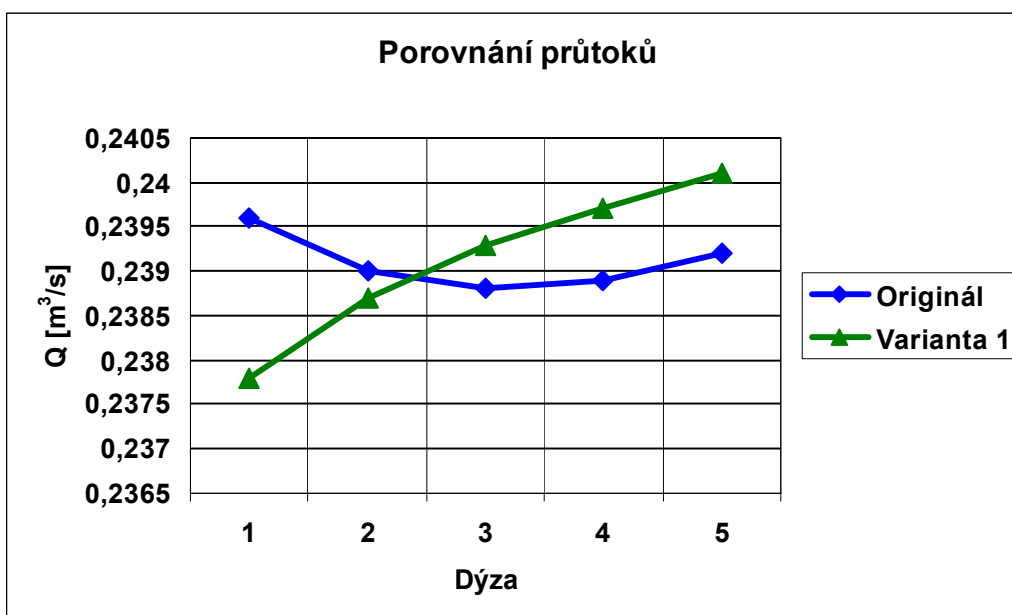
a) Tlak

Na vstupu, jak je patrné z grafu, dochází k mírnému navýšení tlaku, které se postupně schodovitě zvětšuje s každým odběrem dýzy. Toto zvyšování tlaku se děje na úkor snižování rychlosti proudění. Nejvyšší nárůst tlaku je za první a druhou dýzou, protože rychlost proudění je zde nejvyšší.



b) Průtoky

U této varianty na rozdíl od originálního potrubí je průtok u první odbočky menší a s každým dalším odběrem neustále roste.



6.3 Tabulky vypočtených hodnot

Oblast	Řez	Originál	Varianta I
Vstup		154583,9	155620,64
V	4	154506,29	155454,49
	5	154457,41	155412,65
I	1	154439,79	156292,94
	2	154405,4	156262,58
	3	154390,93	156244,3
	4	154351,01	156237,57
	5	154243,7	156201,31
II	1	154253,02	156851,96
	2	154242,64	156840,97
	3	154222,67	156833,88
	4	154189,66	156830,33
	5	154318,55	156764,14
III	1	154267,9	157147,03
	2	154312,3	157176,72
	3	154177,66	157184,79
	4	154148,35	157184,79
	5	154232,08	157093,74
IV	1	154309,11	157258,48
	2	154291,05	157275,01
	3	154138,07	157315,19
	4	154027,56	
	5	153929,74	

Tab. 1 – Tlaky

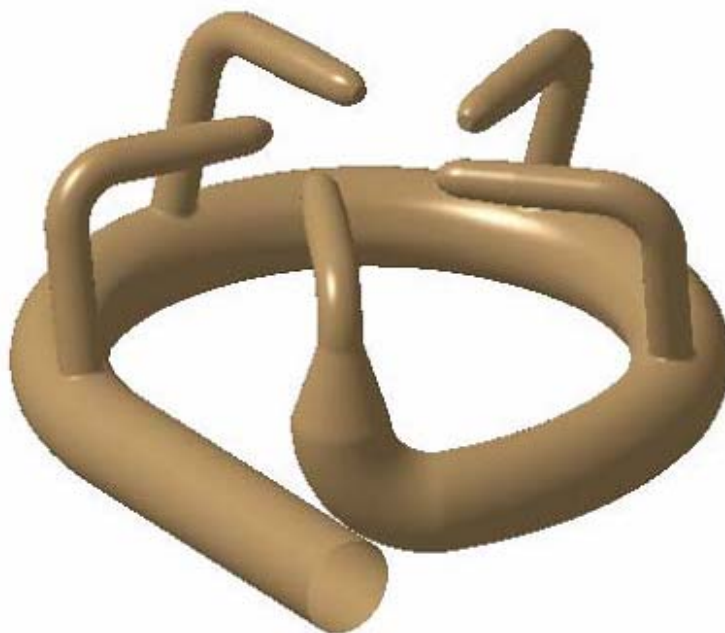
Průtoky			
Dýza		Originál	Varianta I
1	$Q_1 [m^3/s]$	0,2396	0,2378
2	$Q_2 [m^3/s]$	0,239	0,2387
3	$Q_3 [m^3/s]$	0,2388	0,2393
4	$Q_4 [m^3/s]$	0,2389	0,2397
5	$Q_5 [m^3/s]$	0,2392	0,2401
	$Q_{max} - Q_{min}$	0,0008	0,0022
Vstup	$Q_{vstup} [m^3/s]$	1,1955	1,1955

Tab. 2 - Průtoky

7. EKONOMICKÁ ANALÝZA

V této analýze bude pouze pracováno s variantou I, která bude navržena, jak ze svařovaných plechů, tak z bezešvých trubek a následně spojena svary.

Po provedení zjednodušeného pevnostního výpočtu pomocí pružnosti a pevnosti se stanoví tloušťka stěny, od které se dále bude odvíjet hmotnost materiálu, spotřebovaných elektrod a čas svařování. Na základě známých hmotností budou vypočteny orientační náklady na potrubí. V této analýze nebudou zahrnuty náklady na ústí dýzy, které činí zanedbatelné procento nákladů a kolenové zakončení hlavního potrubí.



Obr. 16 Analyzované potrubí, Zdroj: [1]

Základní parametry potrubí

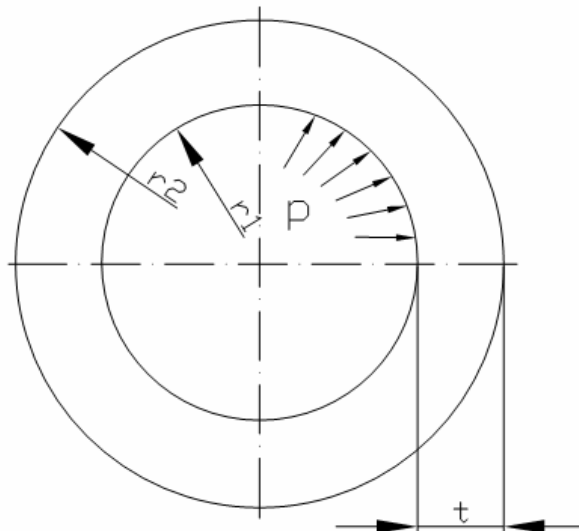
Tlak	p [MPa]	1
Vstupní jmenovitá světlost	DN [mm]	250
Výstupní jmenovitá světlost	DN [mm]	50
Poloměr zakřivení prstence	[mm]	1570
Jmenovitý průměr odbočnic	[mm]	125
Umístění první odbočnice	°	21

Materiálové parametry potrubí

Materiál potrubí 11 523			
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu		R_e [MPa]	355
Mez pevnosti		R_m [MPa]	490 - 630
Tažnost	podélná	A [%]	22
	příčná	A [%]	20
Nárazová práce		KV^0 [J]	27
Fyzikální vlastnosti			
Hustota		ρ [kg/m ³]	7850

7.1 Zjednodušený pevnostní výpočet

Při tomto výpočtu se zanedbává poloměr zakřivení prstence, jednotlivé svary, které jsou koncentrátorem napětí a zúžení jednotlivých částí potrubí. Tyto nebezpečné faktory jsou zahrnuty do koeficientu bezpečnost.



Obr. 17 Průřez potrubí

r_1 – vnitřní poloměr potrubí, r_2 – vnější poloměr potrubí, p – tlak, t – tloušťka stěny potrubí

Výpočet dovoleného napětí

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{K_k} \quad [\text{MPa}] \quad (7.1.1)$$

R_e ... mez kluzu [MPa]

K_k ... bezpečnost [-]

Dovolené napětí bylo zvoleno $\sigma_{dov} = 71 \text{ MPa}$, což je 1/5 meze kluzu a tedy zohledňuje již výše zmíněné nebezpečné faktory. Bezpečnost potrubí $K_k = 5$, což zahrnuje i to že prstenec není uzavřen a vzniká zde ohybový moment.

Výpočet vnějšího poloměru potrubí

$$r_{2\min} = r_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{dov}}{\sigma_{dov} - 2 \cdot p}} \quad (7.1.2)$$

σ_{dov} ... přípustné napětí ve stěně potrubí [MPa]

p ... tlak v potrubí [MPa]

r_1 ... vnitřní poloměr potrubí [mm]

$r_{2\min}$... vnější poloměr potrubí [mm]

Dosazeno do vzorce 7.1.2

$$r_1 = 125mm$$

$$\sigma_{dov} = 71MPa$$

$$p = 1MPa$$

Výsledek $r_{2\min} = 126,799mm$

Výpočet tloušťky stěny

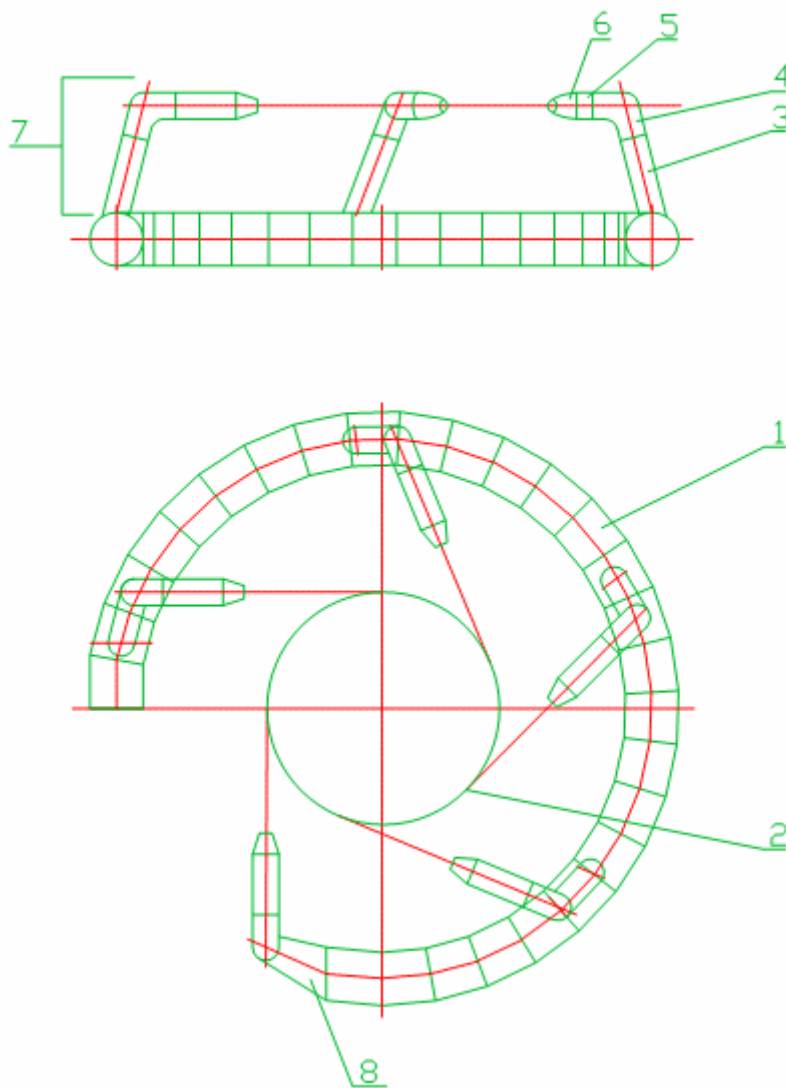
$$t = r_2 - r_1 \quad (7.1.3)$$

Pro dostatečnou bezpečnost je volen vnější poloměr $r_2 = 132mm$, po dosazení do vzorce 7.1.3 vypočteme výslednou tloušťku potrubí **$t = 7\text{ mm}$** .

Výsledná tloušťka potrubí nám umožní stanovit jednak množství materiálu potřebného, tak i cenu celé konstrukce.

7.2 Potrubí svařované z plechu

Jednotlivé segmenty potrubí jsou tvořeny ze skružovaných plechů svařených dohromady. Tyto segmenty jsou sestaveny do prstence, který kopíruje původní model.



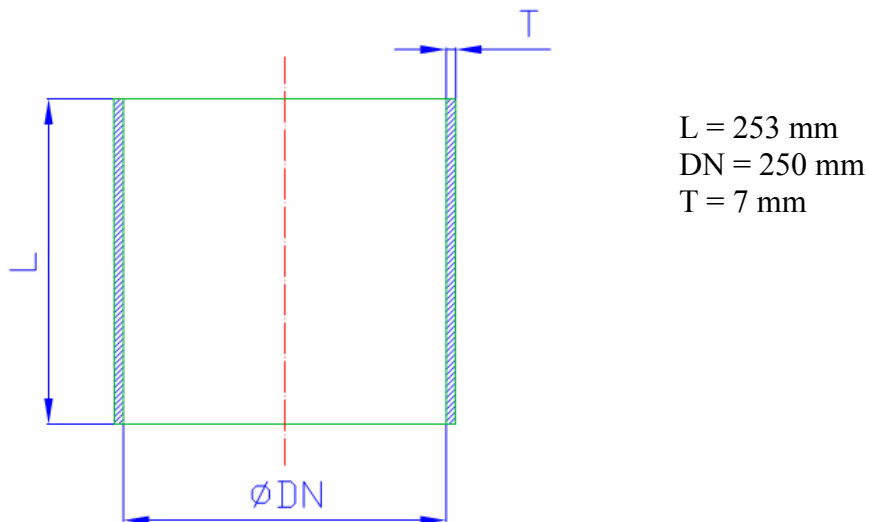
Obr.18 Náčrt rozdělení potrubí do jednotlivých segmentů

1 – Segment hlavního potrubí, 2 – Jmenovitý průměr oběžného kola, 3 – Část 2,
4 – Koleny odbočnice, 5 – Část 1, 6 – Ústí dýzy, 7 – Odbočnice, 8 – Koncový segment potrubí.

7.2.1 Náklady na materiál

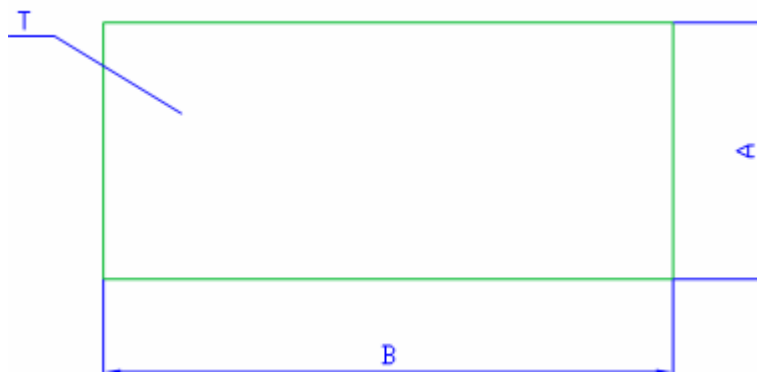
Výpočet nákladů na jeden segment

Rozměry segmentu:



DN – jmenovitá světlost potrubí, T – tloušťka potrubí, L – délka potrubí

Stanovení rozměru plechu:



Stanovení rozměru B:

$$B = \pi \cdot DN \quad [\text{mm}] \quad (7.2.1.1)$$

Objem plechu:

$$V = A \cdot B \cdot T \quad [\text{m}^3] \quad (7.2.1.2)$$

A... šířka [m]
B... délka [m]
T ... tloušťka [m]

Hmotnost plechu:

$$m = V \cdot \rho \quad [\text{kg}] \quad (7.2.1.3)$$

V... objem [m^3]

ρ ... hustota materiálu 11 523 [kg/m^3]

Náklady na jeden segment:

$$N_{p1} = c \cdot m \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.1.4)$$

c... cena za kilogram [$c = 25 \text{ Kč/kg}$]

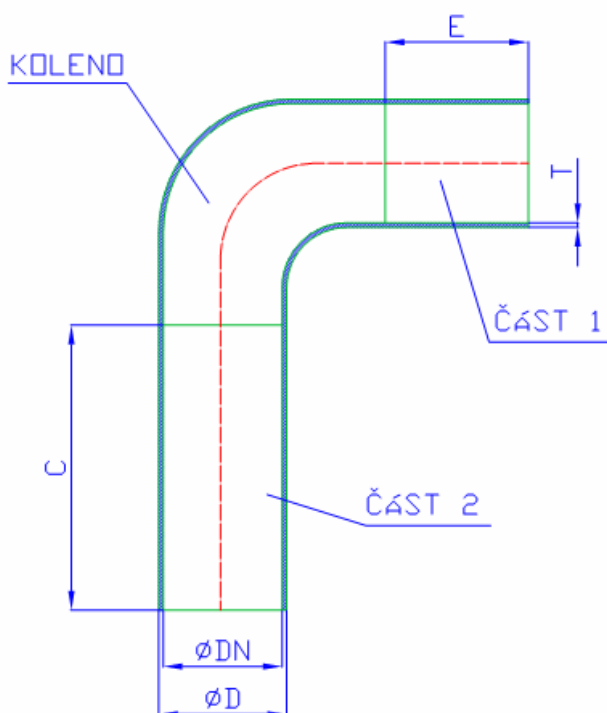
m... hmotnost [kg]

Výpočet nákladů na všechny segmenty

$$N_{CP} = 27 \cdot N_{p1} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.1.5)$$

Výpočet nákladů na jednu odbočnici

Rozměry odbočnice:

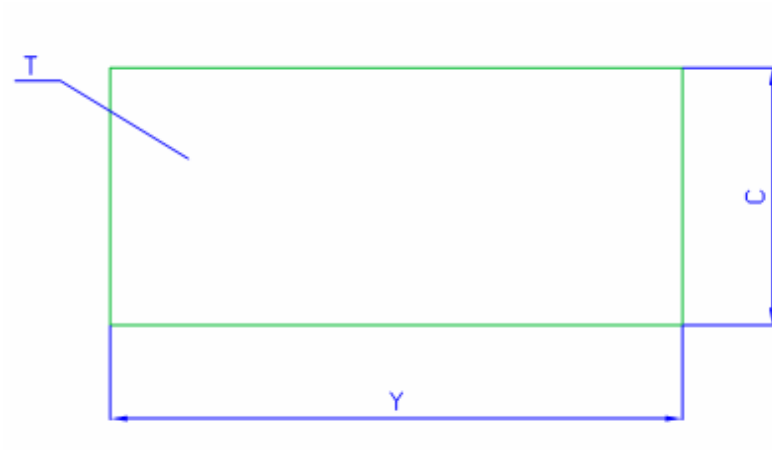


E = 250 mm
C = 450 mm
DN = 125 mm

D – vnější průměr potrubí, DN – jmenovitá světlost potrubí, T – tloušťka stěny potrubí,
C, E – délka potrubí

Výpočet části 1

Stanovení rozměru plechu:



Stanovení rozměru Y:

$$Y = \pi \cdot DN \quad [\text{mm}] \quad (7.2.1.6)$$

C... šířka [mm]

Y... délka [mm]

T ... tloušťka [mm]

Objem plechu:

$$V_1 = Y \cdot C \cdot T \quad [\text{m}^3] \quad (7.2.1.7)$$

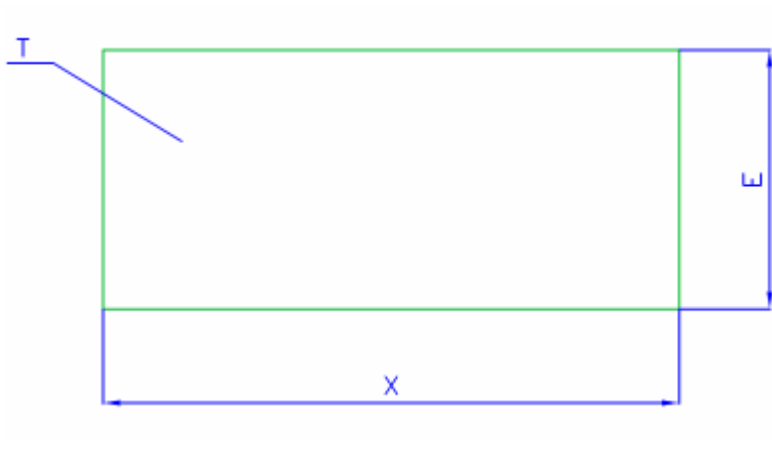
Y... délka [m]

C... šířka [m]

T... tloušťka [m]

Výpočet části 2

Stanovení rozměru plechu:



Stanovení rozměru X:

$$X = \pi \cdot DN \quad [\text{mm}] \quad (7.2.1.8)$$

Objem plechu:

$$V_2 = E \cdot X \cdot T \quad [\text{m}^3] \quad (7.2.1.9)$$

E... šířka [m]
X... délka [m]
T ... tloušťka [m]

Koleno odbočnice

Náklady na koleno odbočnice byla určena z katalogu Feron a.s. a činí **1371 Kč**.

Celkové náklady na materiál

$$N_{CD} = \sum_{i=1}^4 N_{CPI} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.1.10)$$

Po provedení dosazení do vzorců 7.2.1.1 – 7.2.1.10 a následném výpočtu dostáváme tabulku hodnot.

Svařované potrubí z plechů				
Náklady na materiál				
	Hlavní segment	Odbočnice		
		Část 1	Část 2	Koleno
Rozměry plechu AxBxT [mm]	253x785,4x7	392,7x450x7	392,7x250x7	Cena byla určeny z katalogu Feron a.s.
Objem plechu V [m ³]	0,00137445	0,001237	0,000687225	
Hmotnost jednoho plechu m [kg]	10,789	9,71	5,4	
Náklady na jeden plech N _P [Kč]	269,73	242,8	135	1371
Celkové náklady na jednotlivé části N _{CP} [Kč]	7282,71	1214	675	6855
Celkové náklady na potrubí N _{CD} [Kč]	16026,71			

7.2.2 Náklady na svařování

Výpočet nákladů na elektrody na jeden segment

Délka svarů:

$$L_S = 2 \cdot (A + B) \quad [\text{m}] \quad (7.2.2.1)$$

Hmotnost spotřebovaných elektrod:

$$m_{elk} = v \cdot L_S \quad [\text{kg}] \quad (7.2.2.2)$$

v ... hmotnost spotřeby elektrody [kg/m] $v = 0,41 \text{ kg} / \text{m}$

L_{S2} ... celková délka svarů [m]

Náklady na elektrody:

$$N_E = u \cdot m_{elk} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.3)$$

u ... cena jednoho kilogramu elektrod [Kč/kg] $u = 96 \text{ Kč/kg}$

Výpočet celkových nákladů na elektrody na všechny segmenty

$$N_{CE1} = 27 \cdot N_E \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.4)$$

Výpočet nákladů na elektrody na jednu odbočnici

Výpočet svaru části 1

Délka svarů:

$$L_{SD1} = 2 \cdot (C + 2 \cdot Y) \quad [\text{m}] \quad (7.2.2.5)$$

Hmotnost spotřebovaných elektrod:

$$m_{elk1} = v \cdot L_{SD1} \quad [\text{kg}] \quad (7.2.2.6)$$

v ... hmotnost spotřeby elektrody [kg/m], $v = 0,41 \text{ kg} / \text{m}$

L_{SD1} ... celková délka svarů [m]

Náklady na elektrody:

$$N_{E1} = u \cdot m_{elk1} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.7)$$

u ... cena jednoho kilogramu elektrod [Kč/kg], $u = 96 \text{ Kč/kg}$

Výpočet svaru části 2

Délka svarů:

$$L_{SD2} = 2 \cdot (E + X) \quad [\text{m}] \quad (7.2.2.8)$$

Hmotnost spotřebovaných elektrod:

$$m_{elk2} = v \cdot L_{SD2} \quad [\text{kg}] \quad (7.2.2.9)$$

v ... hmotnost spotřeby elektrody [kg/m] $v = 0,41 \text{ kg} / \text{m}$

L_{SD2} ... celková délka svarů [m]

Náklady na elektrody:

$$N_{E2} = u \cdot m_{elk2} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.10)$$

Celkové náklady na elektrody na jednu odbočnici

$$N_{ED} = N_{E1} + N_{E2} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.11)$$

Celkové náklady na odbočnice

$$N_{CE2} = 5 \cdot N_{ED} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.12)$$

Celkové náklady na elektrody

$$N_{CT} = \sum_{i=1}^2 N_{CEi} \quad [\text{Kč}] \quad (7.2.2.13)$$

Po provedení dosazení do vzorců 7.2.1.1 – 7.2.1.10 a následném výpočtu dostáváme tabulku hodnot.

Svařované potrubí z plechů				
Náklady na svařování				
	Hlavní segment	Odbočnice		
		Část 1	Část 2	Koleno
Rozměry části LxøDN [mm]	253x250	450x125	250x125	není svařováno z plechů
Délka svarů L _S [m]	2,0708	2,5854	1,2854	
Hmotnost spotřebovaných elektrod m _{elk} [kg]	0,849	1,06	0,527	
Náklady na elektrody N _E [Kč]	81,5	101,76	50,6	
Celkové náklady na elektrody N _{CE} [Kč]	2200,5	508,8	253	
Celkové náklady na potrubí N _{CT} [Kč]	2962,3			

7.2.3 Čas svařování

Celková délka svarů na hlavním potrubí

$$L_{HI} = 27 \cdot L_S \quad [m] \quad (7.2.3.1)$$

Celková délka svarů na dýzách

$$L_D = 5 \cdot (L_{SD1} + L_{SD2}) \quad [m] \quad (7.2.3.2)$$

Celkový čas svařování

$$T_C = t_A \cdot (L_{HI} + L_D) / 60 \quad [\text{hod}] \quad (7.2.3.3)$$

t_A ... normativy čas – svařování [min/m], $t_A = 15 \text{ min/m}$

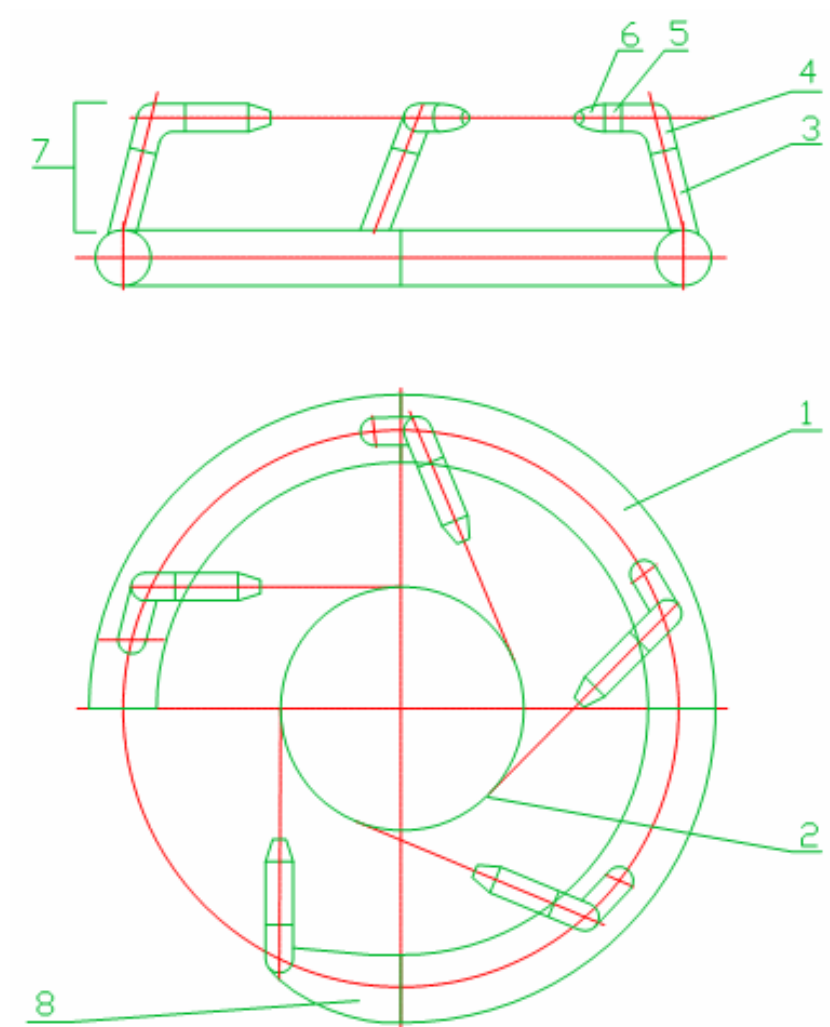
Po dosazení do vzorců 7.2.3.1 – 7.2.3.3 vypočteme následující hodnoty:

Čas svařování		
Celková délka svarů na hlavním potrubí	L_{HI} [m]	55,9116
Celková délka svarů na odbočnici	L_D [m]	19,354
Celkový čas svařování	T_C [hod]	18,8164

Celkový čas potřebný na svařování potrubí z plechů je **18 hodin 49 minut**.

7.3 Potrubí svařované z trubek

Toto potrubí je sestaveno z ohýbaných bezešvých trubek, které jsou ohnuty do pravého úhlu a z odbočnic tvořených taktéž z bezešvých trubek.



Obr.19 Náčrt rozdělení potrubí do jednotlivých úseků

1 – Ohýbaná trubka, 2 – Jmenovitý průměr oběžného kola, 3 – Část 2, 4 – Koleno odbočnice, 5 – Část 1, 6 – Ústí dýzy, 7 – Odbočnice, 8 – Koncová část potrubí

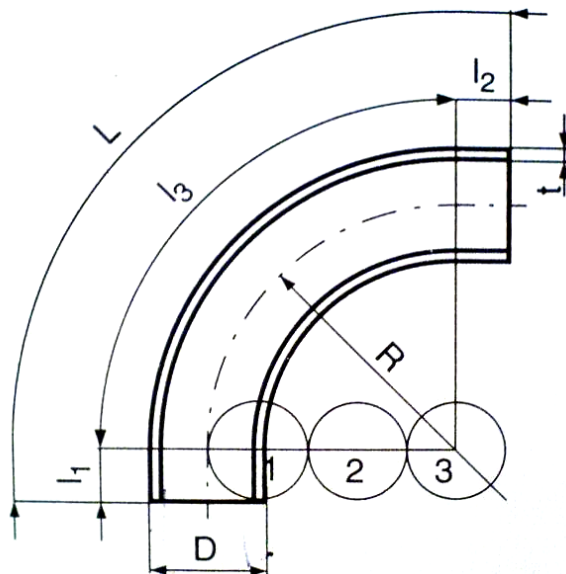
7.3.1 Náklady na materiál

V dnešní době je na trhu nepřehledné množství výrobců, kteří vyrábějí ohýbané bezešvé trubky velkých rozměrů. Materiál byl vybrán od firmy Feron a.s., který již do ceny zahrnul veškeré náklady na výrobu.

Z on-line katalogu Feron a.s.:

Hlavní potrubí (Obr.18)

Ohýbané trubky:

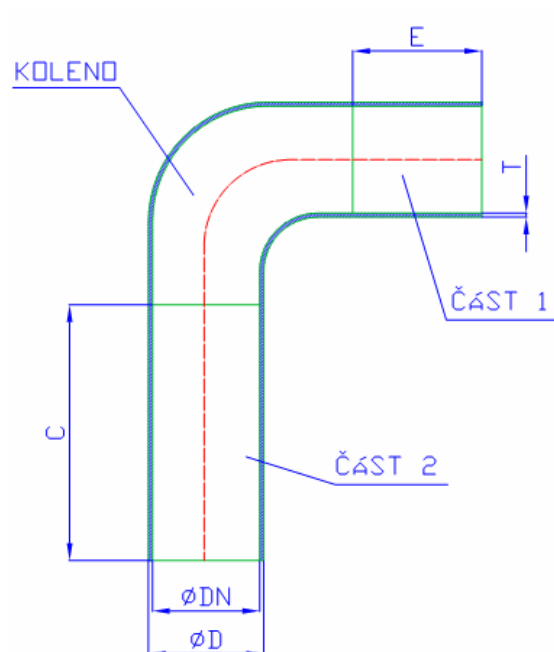


Jmenovitá světlost	Vnější průměr	Tloušťka stěny	R	L	Hmotnost 1 ks	l_1, l_2	l_3
DN [mm]	D [mm]	t [mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[mm]	[mm]
250	273	7	1000	2800	128,5	615	1570

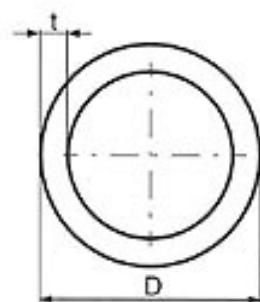
Cena za kus této trubky činí 8 478,75 Kč.

Na hlavní potrubí jsou potřeba tři kusy ohýbaných trubek, jejichž cena činí **25 436,25 Kč**.

Odbočnice



Rovné části 1 a 2

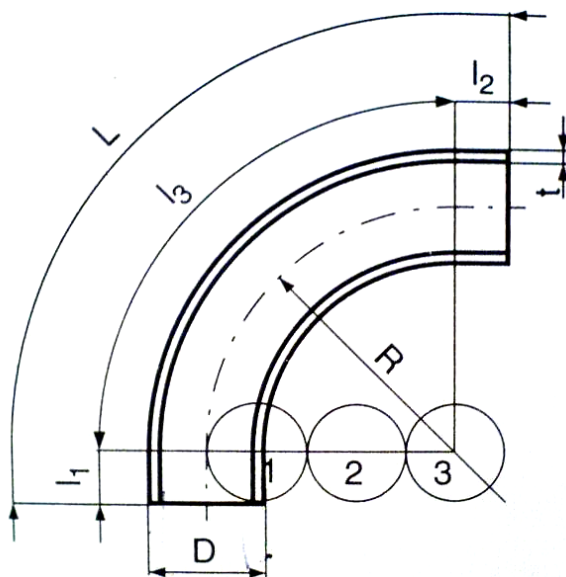


Jmenovitá světlost	Vnější průměr	Tloušťka stěny
DN [mm]	D [mm]	t [mm]
125	133	7

Cena za metr činí 1045,07 Kč.

Celková délka potrubí je 0,7 m, náklady na rovné části 1 a 2 činí **731,55 Kč**.

Koleno odbočnice



Jmenovitá světlost	Vnější průměr	Tloušťka stěny	R	L	Hmotnost 1 ks	l_1, l_2	l_3
DN [mm]	D [mm]	t [mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[mm]	[mm]
125	133	7	400	1600	22,9	407,5	785

Náklady na 1 ks kolena odbočnice činí **1371 Kč**.

Celkové náklady na za jednu odbočnice (rovné části 1 a 2 + koleno odbočnice) činí **2102,55 Kč**.

Celkové náklady na všechny odbočnice

Celkové náklady na materiál všech pěti odbočnic činí **10 512,75 Kč**.

Celkové náklady

Celkové náklady činí **35 949 Kč**.

7.3.2 Náklady na svařování

Hlavní potrubí

Na hlavním potrubí jsou celkem tři svarové spoje, které spojují jednotlivé ohýbané potrubí v celek.

Délka svarů:

$$L_{SV} = 2 \cdot \pi \cdot DN \quad [\text{mm}] \quad (7.3.2.1)$$

Hmotnost spotřebovaných elektrod:

$$m_{elKV} = v \cdot L_{SV} \quad [\text{kg}] \quad (7.3.2.2)$$

v ... hmotnost spotřeby elektrody [kg/m] $v = 0,41 \text{ kg} / \text{m}$

L_{SV} ... celková délka svarů [m]

Cena jedné elektrody:

$$N_{EV} = u \cdot m_{elKV} \quad [\text{Kč}] \quad (7.3.2.3)$$

u ... cena jednoho kilogramu elektrod [Kč/kg] $u = 96 \text{ Kč/kg}$

Celková cena elektrod:

$$N_{CEV} = 3 \cdot N_{EV} \quad [\text{Kč}] \quad (7.3.2.4)$$

Výpočet odbočnic

Délka svarů:

$$L_{SVD} = 2 \cdot \pi \cdot DN_1 \quad [\text{mm}] \quad (7.3.2.5)$$

Hmotnost spotřebovaných elektrod:

$$m_{elKD} = v \cdot L_{SVD} \quad [\text{kg}] \quad (7.3.2.6)$$

v ... hmotnost spotřeby elektrody [kg/m] $v = 0,41 \text{ kg} / \text{m}$

L_{SVD} ... celková délka svarů [m]

Cena elektrod na jednu odbočnici

$$N_{SVD} = u \cdot m_{elKD} \quad [\text{Kč}] \quad (7.3.2.7)$$

u ... cena jednoho kilogramu elektrod [Kč/kg] $u = 96 \text{ Kč/kg}$

Celková cena všech svarů

$$N_{CEVD} = 15 \cdot N_{SVD} \quad [\text{Kč}] \quad (7.3.2.8)$$

Celkové náklady na svařování:

$$N_{CT} = N_{CEV} + N_{CEVD} \quad [\text{Kč}] \quad (7.3.2.9)$$

Po dosazení do vzorců 7.3.2.1 – 7.3.2.9 dostaneme následující tabulku hodnot.

Svařované potrubí z trubek		
Náklady na svařování		
	Hlavní segment	Odbočnice
Délka svarů $L_{SV} [\text{m}]$	1,571	0,7854
Hmotnost spotřebovaných elektrod $m_{elkv} [\text{kg}]$	0,644	0,322
Náklady na elektrody $N_{EV} [\text{Kč}]$	61,82	30,91
Celkové náklady na elektrody $N_{CEV} [\text{Kč}]$	185,46	
Celkové náklady na elektrody $N_{CEVD} [\text{Kč}]$		463,65
Celkové náklady na potrubí $N_{CT} [\text{Kč}]$	649,11	

7.3.3 Čas svařování

Celková délka svarů na hlavním potrubí

$$L_{SHI} = 3 \cdot L_{SV} \quad [\text{m}] \quad (7.3.3.1)$$

Celková délka svarů na odbočnicích

$$L_{SD} = 15 \cdot L_{SVD} \quad [\text{m}] \quad (7.3.3.2)$$

Celkový čas svařování

$$T_{SC} = t_A \cdot (L_{SHI} + L_{SD}) / 60 \quad [\text{hod}] \quad (7.3.3.3)$$

t_A ... normativy čas – svařování, $t_A = 15 \text{ min}/m$

Po dosazení do vzorců 7.3.3.1 – 7.3.3.3 vypočteme následující hodnoty:

Čas svařování		
Celková délka svarů na hlavním potrubí	$L_{SHI} [\text{m}]$	4,713
Celková délka svarů na odbočnicích	$L_{SD} [\text{m}]$	11,781
Celkový čas svařování	$T_{SC} [\text{hod}]$	4,1235

Celkový čas potřebný na svařování potrubí z trubek je **4 hodin 7 minut**.

7.4 Zhodnocení nákladů a doby svařování

Náklady na jednotlivé varianty okružního potrubí jsou pouze orientační a nezahrnují potřebnou práci na jednotlivé technologické operace (skružování plechů, příprava svarů ...) a co je hlavní mzdy zaměstnanců. Jsou zde srovnávány pouze ceny materiálu, spotřebovaných elektrod a čas potřebný k svařování potrubí.

Podle vypočítaných orientačních cen shrnutých do tabulky, lze posuzovat, jak jednotlivé orientační ceny materiálu, tak cenu elektrod.

Potrubí svařované z plechů		
Náklady na materiál		
Náklady na jeden segment potrubí	269,73	Kč
Celkové náklady na segmenty potrubí	7282,71	Kč
Náklady na jednu odbočnici	1748,8	Kč
Celkové náklady na odbočnice	8744	Kč
Celkové náklady na materiál	16026,71	Kč
Náklady na svařování		
Náklady na elektrody na jeden segment potrubí	81,5	Kč
Náklady na elektrody na všechny segmenty potrubí	2200,5	Kč
Náklady na elektrody na jednu odbočnici	152,36	Kč
Náklady na elektrody na všechny odbočnice	761,8	Kč
Celkové náklady elektrod na potrubí	2962,3	Kč
Celkové náklady na potrubí ze svařovaných plechů	18989,01	Kč

Tab.3 – Náklady na potrubí ze svařovaných plechů

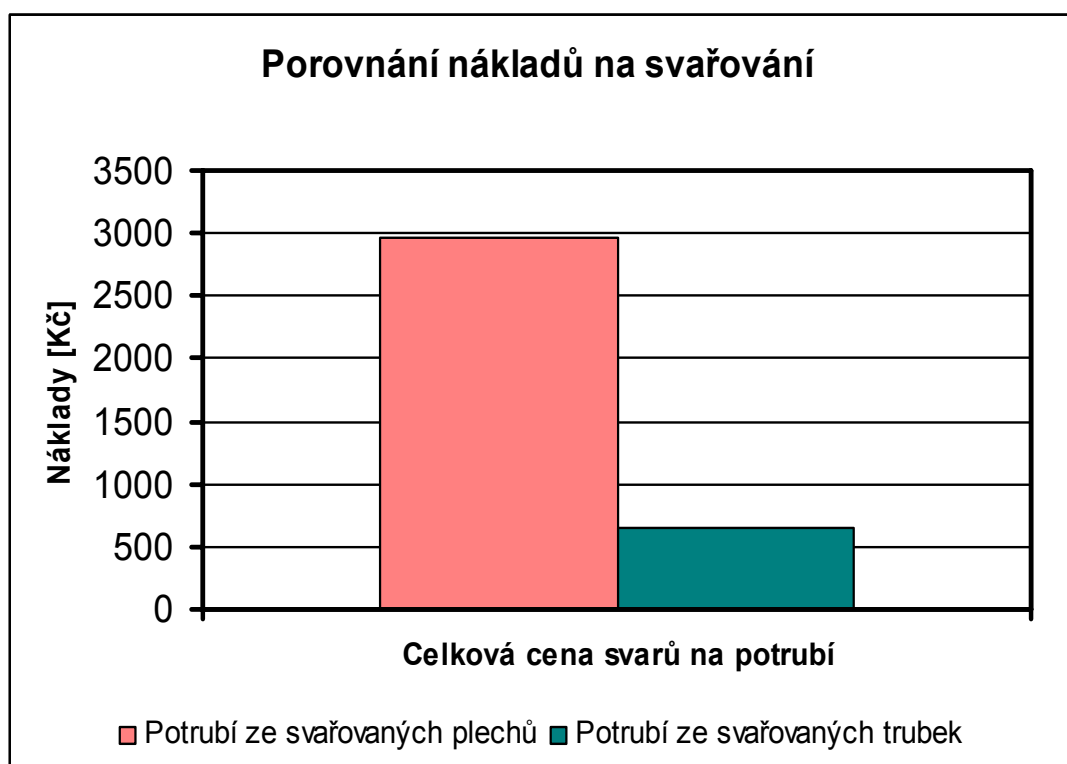
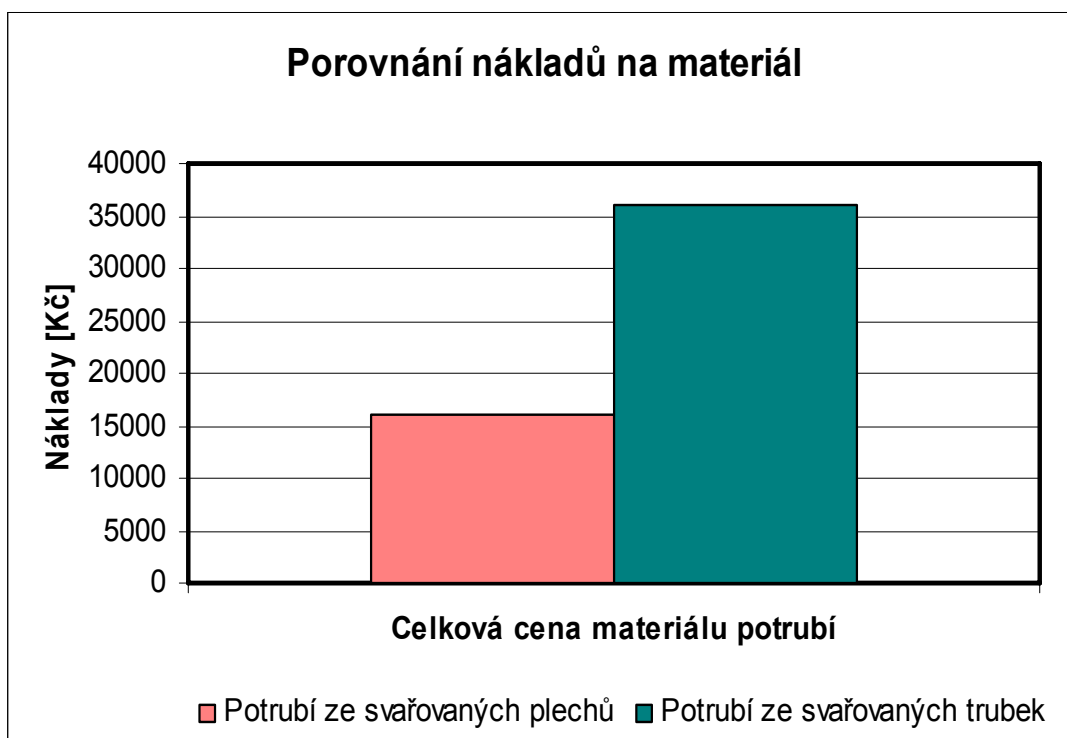
Potrubí svařované z bezešvých trubek		
Náklady na materiál		
Náklady na jeden úsek potrubí	8478,75	Kč
Náklady na celý úsek potrubí	25 436,25	Kč
Náklady na jednu rovnou část	731,55	Kč
Náklady na koleno odbočnice	1371	Kč
Náklady na jednu odbočnici	2102,55	Kč
Náklady na všechny odbočnice	10512,75	Kč
Celkové náklady na materiál	35 949,00	Kč
Náklady na svařování		
Náklady na elektrody na jeden segment potrubí	61,82	Kč
Náklady na elektrody na všechny segmenty potrubí	185,46	Kč
Náklady na elektrody na jednu odbočnici	92,73	Kč
Náklady na elektrody na všechny odbočnice	463,65	Kč
Celkové náklady elektrod na potrubí	649,11	Kč
Celkové náklady na potrubí ze svařovaných trubek	36 598,11	Kč

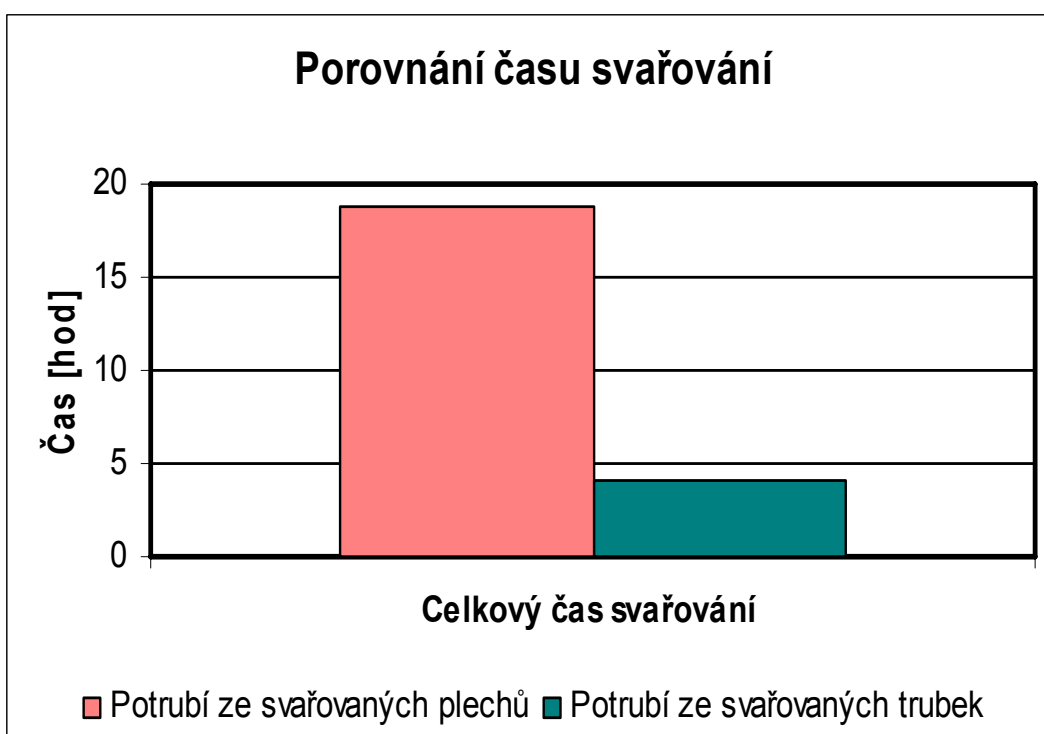
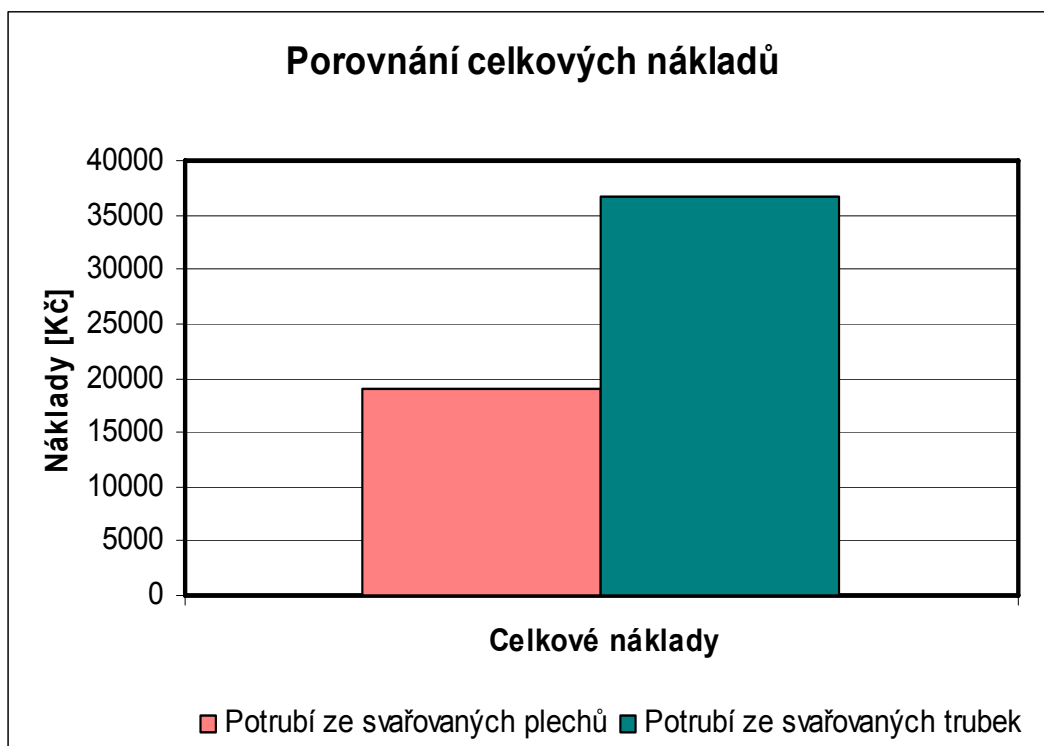
Tab.4 – Náklady na potrubí ze svařovaných trubek

Potrubí svařované z plechů	
Celkový čas svařování	18 hodin 49 minut
Potrubí svařované z bezešvých trubek	
Celkový čas svařování	4 hodin 7 minut

Tab.5 – Doba svařování potrubí

7.5 Grafické porovnání nákladů a doby svařování





8. ZÁVĚR

Při hledání nových tvarů okružního potrubí Peltonovy turbíny je nezbytné hodnotit jak hledisko hydraulické optimalizace, tak hledisko ekonomické.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, v současné době jsou finanční náklady více než důležité pro každý projekt či konstrukci. V době, která se zcela logicky vyznačuje velkou snahou snižovat finanční náklady, je sice nutné zjednodušit samotný tvar, ale také zachovat optimální hydraulické parametry soustavy.

Na základě ekonomického hodnocení lze považovat potrubí ze svařovaných trubek za výhodnější, protože je již předem zhotovena poměrně delší část potrubí. Tím se snižuje počet potřebných svarů na minimum, z čehož vyplývá nižší spotřeba elektrod a tím i nižší náklady. V důsledku toho se zkracuje doba svařování až o 78 %.

U potrubí tvořeného z plechů ušetříme až polovinu nákladů na materiál. Je však kalkulováno pouze s průměrnou cenou za kilogram materiálu a nejsou zde započítány technologické operace jako je stříhání plechů, skružování a příprava svarů. Při zahrnutí těchto hledisek je pravděpodobné, že bude cena minimálně totožná.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HIMR, D. *Návrh zjednodušeného okružního potrubí Peltonovy turbíny*. [s.l.], 2007. 58 s. Diplomová práce.
- [2] NECHLEBA, M. *Vodní turbíny jejich konstrukce a příslušenství*, SNTL, 2.rozšířené vydání, Praha 1962. 676s.
- [3] ONDRÁČEK, E., VRBKA, J., JANÍČEK, P., BURŠA, J., *Mechanika těles pružnost pevnost II*, Akademické nakladatelství CERM, 4.přepracované vydání, Brno 2006. 262 s.
- [4] ŠOB, F. *Hydromechanika*, Akademické nakladatelství CERM, Brno 2002. 238 s.
- [5] Konzultace s firmou Mavel a jimi poskytnuté materiály

Internetové zdroje:

- [6] *Ferona a.s.* [online]. 2004 [cit. 2008-05-12]. Dostupný z WWW: <<http://62.168.62.45/cze/ceniky/on-line-cenik.php>>.
- [7] *Wikipedia* [online]. 1999 [cit. 2008-04-01]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Pelton_wheel>.
- [8] *About* [online]. c2008 [cit. 2008-04-29]. Dostupný z WWW: <http://z.about.com/d/inventors/1/0/r/4/water_turbine.jpg>.
- [9] *A.L.I.A.I.* [online]. c2007 [cit. 2008-05-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.aliai.lu/rt/rt19993a/ober4.gif>>.
- [10] *Strom* [online]. c2008 [cit. 2008-03-16]. Dostupný z WWW: <[http://www.strom.de/vdew.nsf/id/DE_Schaubilder/\\$file/pelton-turbine.jpg](http://www.strom.de/vdew.nsf/id/DE_Schaubilder/$file/pelton-turbine.jpg)>.
- [11] *Water Wheel Factory* [online]. [2008] [cit. 2008-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.waterwheelfactory.com/Turbine/wwwPelton.jpg>>.

10. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Název	Jednotka
c	Absolutní (výsledná) rychlost	m/s
d_0	Průměr paprsku	m
d	Průměr potrubí	m
D	Jmenovitý průměr oběžného kola	m
F	Síla	N
g	Tíhové zrychlení	m/s ²
H	Spád	m
$\dot{m}$	Hmotnostní tok	kg/s
n	Jmenovité otáčky turbíny	min ⁻¹
n_s	Měrné otáčky vztažené na jednu dýzu	min ⁻¹
p	Tlak	Pa
p_{stat}	Statický tlak	Pa
P	Výkon	W
Q_{11opt}	Optimální jednotlový průtok na 1 dýzu	1
Q_{min}	Maximální objemový průtok	m ³ /s
Q_{max}	Minimální objemový průtok	m ³ /s
Q_v	Objemový průtok	m ³ /s
Q_{vstup}	Vstupní objemový průtok	m ³ /s
S	Průřez potrubí	m ²
u	Unášivá (obvodová) rychlost	m/s
w	Relativní rychlost	m/s
α	úhel mezi vektory rychlosti c a u	°
β	úhel (lopatky) mezi vektory rychlostí w a u	°
η	Celková účinnost turbíny	1
η_h	Hydraulická účinnost turbíny	1
ρ	Hustota kapaliny	kg/m ³
φ	Rychlostní součinitel	1
$_0$	Ve spojení s turbínou index pro poměry těsně před vstupem do oběžného kola	1
$_1$	Ve spojení s turbínou index pro poměry těsně po vstupu do oběžného kola	1
$_2$	Ve spojení s turbínou index pro poměry těsně po výstupu z oběžného kola	1
$_i$	Sčítací index	1