VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ANALÝZA VYUŽITELNOSTI REDUKČNĚ-CHLADÍCÍ STANICE PÁRY NA PRINCIPU VÍROVÉ TRUBICE

ANALYSIS OF THE USABILITY OF A REDUCTION-COOLING STEAM UNITON THE PRINCIPLE OF A VORTEX TUBE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Lukáš Vintr

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	**Bc. Lukáš Vintr**
Studijní program:	Energetické a termofluidní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Jiří Škorpík, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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 diplomové práce:

Analýza využitelnosti redukčně–chladící stanice páry na principu vírové trubice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Redukčně–chladící stanice jsou zařízení ke snížení tlaku a teploty páry. Jedná se tedy o termodynamickou změnu s významným nárůstem entropie. Klasická redukčně–chladící stanice se skládá z redukčních ventilů, vstřikovacích hlavic, potrubí a další prvků nezbytných pro jejich chod. Náplní práce je vyhodnotit možnosti použití jiného principu snížení tlaku a teploty páry z pohledu provozní pružnosti, konstrukční složitosti a ekonomiky provozu.

Cíle diplomové práce:

(1) Popis problematiky redukčně–chladící stanice.
(2) Princip vírové trubice a její současné využití.
(3) Návrh redukčně chladící stanice; (a) klasická s redukčním ventilem a vstřikovací hlavou; (b) na principu vírové trubice.
(4) Porovnání možností r.–ch. stanice na principu vírové trubice s klasickým řešením.

Seznam doporučené literatury:

ŠKORPÍK, Jiří. Škrcení plynů a par, Transformační technologie, 2006-01, [last updated 2020-02-11]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z https://www.transformacni-technologie.cz/37.html.

KADRNOŽKA, Jaroslav. Tepelné elektrárny a teplárny. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.

KRBEK, Jaroslav, Bohumil POLESNÝ a Jan FIEDLER. Strojní zařízení tepelných centrál: návrh a výpočet. Brno: PC-DIR, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1334-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem práce bylo popsat problematiku redukčně-chladící stanice, vírové trubice, okomentovat její současné využití a následně navrhnout klasickou redukčně chladící stanici jako první případ. V druhé praktické části šlo o analýzu respektive porovnání redukčně chladící stanice fungující na principu vírové trubice s klasickým řešením

V závěru práce je vysvětlena problematika určení poloměru pro celkové množství odebírané páry. Problém je způsobený nestabilitou potenciálního víru, která vzniká hlavně proto, že chceme odebírat hmotu, ale energii potřebujeme zachovat. Předpoklad pro celkové množství páry je takový, že bude více než 10x vyšší, než je tomu u standartní varianty redukčně chladící stanice. Z principu vírové trubice a dostupných výsledků je jasné, že zařízení by bylo možné použít pouze pro chlazení, nikoli pro redukci.

Klíčová slova

Redukčně-chladící stanice, potenciální vír, vírová trubice, množství páry, střední rychlost, průběh rychlosti, odběr páry

ABSTRACT

The aim of the thesis was to describe the current issues of the reduction-cooling station, vortex tube, comment of its use and the design a classic reduction station as the first case. The second practical part was an analysis or comparison of reduction cooling station operating on the principle of a vortex tube with a conventional one.

At the end of the work, the problem of determining the radius for the total number of pairs taken is explained. The problem is caused by the instability of potential vortex, which arises mainly because we want to take away matter, but we need to conserve energy. The assumption for the total number of pairs is that it will be more than 10 times higher than the standard variant of the reduction cooling station. From the principle of the vortex tube and the available results, it is clear that the device could be used only for cooling, not for reduction.

Key words

Reduction cooling station, potential flow, vortex tube, amount of steam, medium speed, speed course, steam consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VINTR, Lukáš. *Analýza využitelnosti redukčně-chladící stanice páry na principu vírové trubice.* Brno, 2022. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139395. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Škorpík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *diplomovou* práci na téma **Analýza využitelnosti redukčně chladící stanice páry na principu vírové trubice** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum *Jméno a příjmení*

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucí práce Ing. Jiřímu Škorpíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Také mu děkuji za častou konzultaci problémů týkající se problematiky analýzy potenciálního víru a obecně výpočtu spojeného s diplomovou prací.

OBSAH

ÚVOD 11
1 Princip redukčně-chladící stanice 12
2 Ventily 13
2.1 Škrtící ventily 13
2.1.1 Škrtící ventil se stabilizací 14
2.2 Tlakové ventily 15
2.3 Redukční ventily 18
3 Armatury 21
3.1 Uzavírací armatury 21
3.2 Uzavírací ventily 21
3.3 Šoupátka 23
3.4 Kulové kohouty 24
3.5 Uzavírací klapky 25
3.5.1 Klapka centrická 25
3.5.2 Excentrická klapka 26
3.5.3 Klapka dvojitě excentrická 26
3.6 Teorie – jmenovitý průtok 27
3.7 Regulátor objemového průtoku 28
3.8 Trojcestné regulační armatury 29
3.9 Typy regulace pomocí armatur 30
3.9.1 Regulace směšováním 30
3.9.2 Regulace průtokem 31
3.10 Popis vzniku trvalé tlakové ztráty 32
4 Princip vírové trubice 33
4.1 Dělení a typy trubic 33
4.1.1 Protiproudá vírová trubice 33
4.1.2 Souproudá vírová trubice 34
4.1.3 Ranque-Hilshova vírová trubice 35
4.2 Použití vírových trubic 35
4.2.1 Chlazení nástrojů při obrábění 36
4.2.2 Chlazení uzavřených rozvaděčových skříní 37
4.2.3 Ohřev zemního plynu v redukčních stanicích 38
4.2.4 Použití pro lékařské účely 39
5 Analýza – standartní redukčně chladící stanice 40
5.1 Standartní redukční stanice - výpočet 40
5.1.1 Zadané parametry – vstupy 41
5.1.2 Stanovení vstupního průměru redukčně-chladící stanice 42
5.2 Návrh jednotlivých komponent 44
5.2.1 Návrh redukční stanice 45
5.2.2 Návrh pohonu 48

5.2.3 Návrh regulačního ventilu 50
5.2.4 Návrh uzavíracího ventilu 51
5.2.5 Návrh regulátoru tlaku 52
5.2.6 Návrh elektrického lineárního pohonu 53
5.3 Navržení kontrolních a měřících přístrojů 54
5.3.1 Teploměry 54
5.3.2 Tlakoměry 54
5.4 Tlaková čidla 55
6 Analýza – redukčně chladící stanice na principu vírové trubice 56
6.1 Model tuhého tělesa 56
6.2 Potenciální vír 56
7 Závěr 61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 65
7.1 SEZNAM OBRÁZKŮ 66
SEZNAM TABULEK 68

ÚVOD

Zařízení nazýváno redukční stanice je soubor zařízení s redukčním ventilem, které je opatřeno potřebnými armaturami. Obecně lze říct, že v redukčně-chladící stanici dochází ke škrcení a chlazení páry, a to způsobuje ztrátu využitelné energie, což má vliv na kvalitu páry (kvalita se snižuje). Na základě toho se snižuje hospodárnost provozu, proto se někdy tyto stanice nahrazují parními motory. Takto vytvořený způsob redukce se nazývá točivá redukce, která se dá použít ne jenom v parních sítích, ale i na plynových, kde se nazývají turbo-expandéry.

Redukční stanice se dá rozdělit do několika stupňů, respektive se dělí na několik redukčních ventilů, v každém stupni se sníží tlak o danou část. Rovněž je důležité zapojení redukčně-chladící stanice, například zapojení do kaskády (sériové zapojení). Je zde třeba počítat s obtížemi se synchronizací ovládání redukčních ventilů. I z toho důvodu se používá tento typ zapojení jen v případech nižšího odběru tlaku mezi ventily, nebo také v případech, kdy není dostupný jeden redukční ventil požadovaných parametrů.

Na základě literatury bude stručně popsán přehled o redukčně-chladící stanici dalších menších zařízení, co obsahuje, dále práce obsahuje teorii ke tlakovým, škrtícím a redukčním ventilům, jsou podrobně rozebrány. Uzavírací armatury, uzavírací ventily, šoupátka, a také uzavírací klapky. Dále je rozebrána teorie k jmenovitému průtoku, která obsahuje rovněž regulátor objemového průtoku, trojcestné regulační armatury a typy regulace pomocí armatur (regulace směšováním a regulace průtokem). V poslední fázi této kapitoly je názorný popis vzniku regulace trvalé tlakové ztráty.

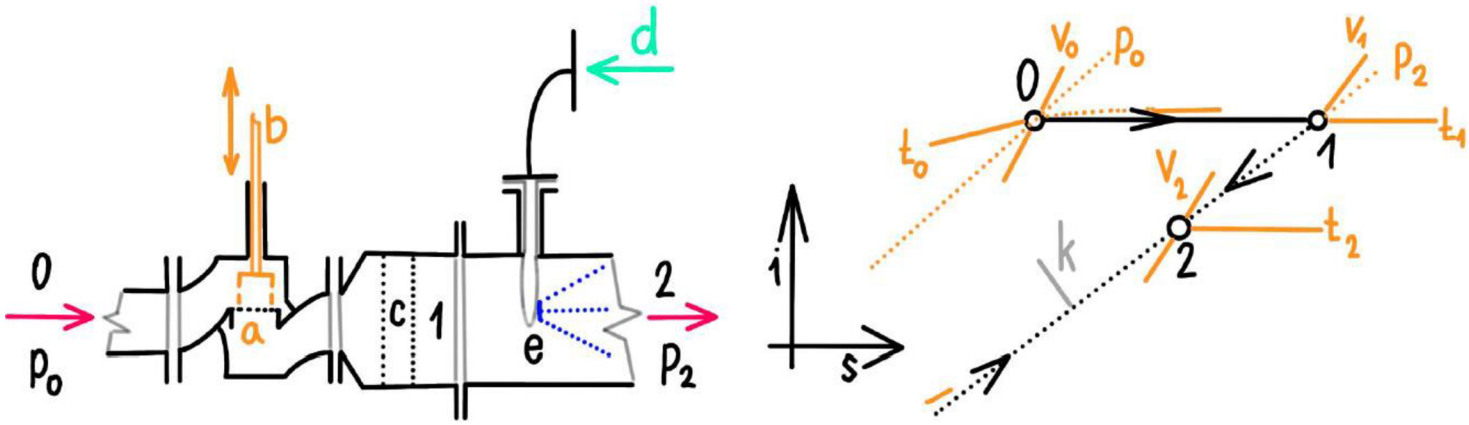
V další teoretické části je popsán princip vírové trubice a následuje dělení trubic, konkrétně je rozebrána protiproudá vírová trubice, souproudá vírová trubice a Ranque-Hilshova vírová trubice, která se svými vlastnostmi nejvíce podobá navrhované Redukčně chladící stanici na principu vírové trubice, která bude v práci rozebírána. Dále se v této kapitole rozebírá jednotlivé, nejčastější, použití vírových trubic. Konkrétně je v práci rozebráno chlazení nástrojů při obrábění, chlazení uzavřených rozvaděčových skříní, ohřev zemního plynu v redukčních stanicí, a také použití pro lékařské účely.

V poslední analytické kapitole bude proveden výpočet redukčně-chladící stanice dle zadaných vstupních parametrů, nejdříve půjde o energetickou bilanci a následně o stanovení průměru a délky stanice. Nejdříve bude proveden výpočet klasické varianty redukčně chladící stanice a následně redukčně-chladící stanice na principu vírové trubice na základě teorie potenciálního víru. Výsledky obou variant budou porovnány a budou vysloveny závěry.

1 Princip redukčně-chladící stanice

Zařízení zvané redukční stanice je zařízení s redukčním ventilem, který je opatřený potřebnými armaturami [1] (jde například o hlavu a uzavírací armaturu). Parní redukční stanice dále často obsahuje zařízení určené k chlazení páry, právě takové zařízení se poté nazývá redukčně-chladící stanice.

Redukční stanice se dá rozdělit do několika stupňů, respektive se dělí na několik redukčních ventilů, v každém stupni se snižuje tlak o danou určitou část. Rovněž je důležité zapojení redukčně-chladící stanice, například v zapojení do kaskády (sériové zapojení redukčních ventilů) je třeba počítat s obtížemi se synchronizací ovládání redukčních ventilů. I z toho důvodu se toto zapojení používá jen v případech odběru nižšího tlaku mezi ventily, nebo také v případech, kdy není dostupný jeden redukční ventil požadovaných parametrů [1].



Obr. 1 Schéma redukčně chladící stanice a i-s diagram popisující děje (inspirováno [1])

Na horním obrázku 1 je vlevo zobrazeno schéma redukčně chladící stanice, kde je a) škrtící orgán, b) táhlo ovládání škrtícího orgánu, c) tlumiče hluku, d) přívod chladící vody do vstřikovací hlavy, e) vstřikovací a rozstřikovací vodní tryska.

Na obrázku vpravo je vidět i-s diagram popisující probíhající děje, kde je 0) počáteční stav páry, 1) pára po redukci tlaku, 2) pára na výstupu, tedy po redukci tlaku a po chlazení, k) křivka přeměny chladící vody v přehřátou páru na stav 2.

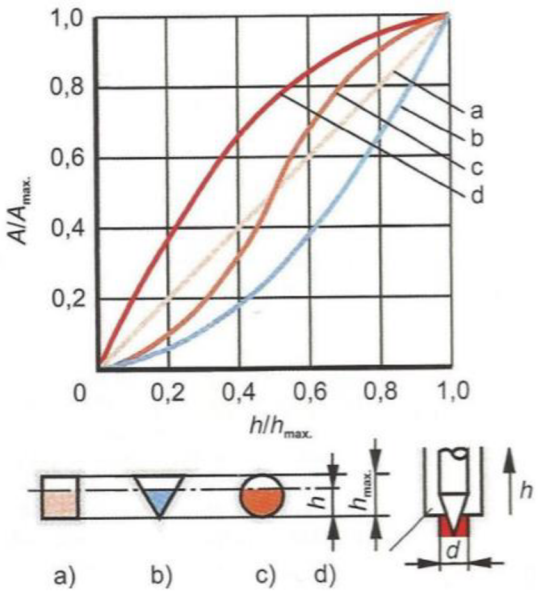
Obecně lze říct, že v redukčně-chladících stanicích dochází ke škrcení a chlazení páry, a to způsobuje ztrátu využitelné energie. Na základě toho se snižuje hospodárnost provozu, proto se většinou tyto stanice nahrazují parními motory. Takto vytvořený způsob redukce se nazývá točivá redukce, která se dá použít ne jenom v parních sítích, ale i na plynových sítích, kde se nazývají turbo-expandéry[1].

2 Ventily

2.1 Škrtící ventily

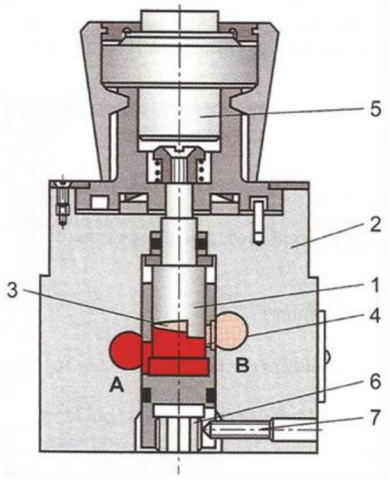
Největší výhodou škrtících ventilů je možnost spojitého řízení v závislosti na průřezu konstrukčního prvku. Těmito konstrukčními prvky jsou kuželky, jehly, čtverečky či kuličky, případně jiné vhodné tvary. Daný tvar poté vytváří v závislosti na nastavení lineární nebo nelineární charakteristiku průtokového průřezu (obrázek 2) [2].

Škrtící ventily se používají tam, kde jsou průtočné odpory konstantní hodnoty.



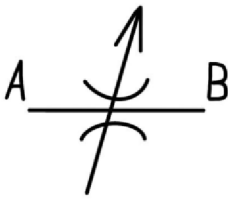
Obr. 2 Charakteristiky průtočného průřezu [2] .

Se zkracující se drahou škrcení klesá také vliv viskozity použité tekutiny. Tyto ventily jsou navrženy takovým způsobem, že škrtící místo je charakteru clony. Tento typ ventilu většinou disponuje jemnou regulací, která zajišťuje přesné nastavení. Příklad takového ventilu lze vidět na následujícím obrázku 3. Hlavní částí je těleso (2), výřez (3) a regulační element (1). Proces škrcení průtoku kapaliny ve směru z kanálu A do kanálu B probíhá v místě výřezu v šoupátku do prostoru (4). Otočné šoupátko (5) určuje velikost průtočného průřezu [2].



Obr. 3 Škrtící ventil bez závislosti na viskozitě [2]

Na následujícím obrázku 4 je zobrazena jedna z možných značek škrtícího ventilu.



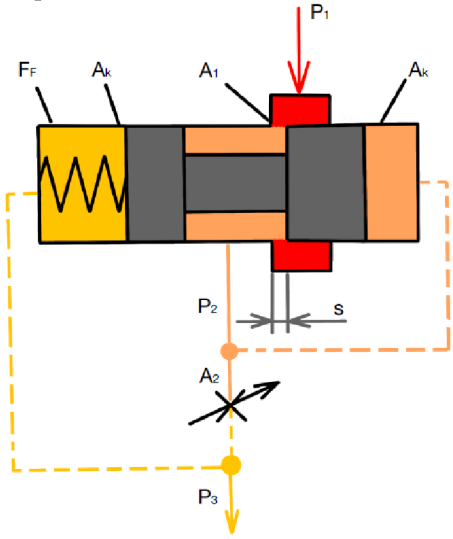
Obr. 4 Schematická značka škrtícího ventilu (inspirováno [2])

2.1.1 Škrtící ventil se stabilizací

Ze základního principu činnosti škrtících ventilů a jejich charakteristik je zjevné, že při proměnlivém tlakovém spádu na konstrukčním prvku dojde ke změně průtoku. V hydraulických obvodech, kde je požadována konstantní výstupní rychlost nebo otáčky při proměnlivé zátěži motorů, nelze používat tyto prvky. Pro dosažení konstantního průtoku kapaliny se používají právě škrtící ventily se stabilizací.

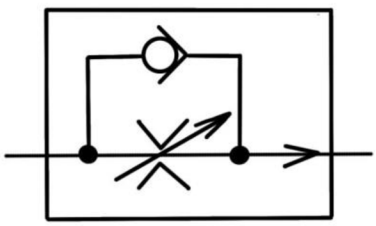
Tyto ventily stabilizují tlakový spád na konstantní hodnotu i při sebemenší změně vstupního tlaku nebo výstupního tlaku [2]. Typické vyobrazení ventilu pro tento typ regulace je zobrazen na následujícím obrázku 5.

Regulační clona A1 a měřící clona A2 jsou řazeny do série. Regulační šoupátko je na pravé straně zatěžováno hodnotou výstupního tlaku p_2 a na levé straně hodnotou tlaku p_3. Zdvih šoupátka je menší než 1 mm a pružina vykazuje malou tuhost. Při výpočtu se dají zanedbat změny hodnoty síly na pružině v závislosti na zdvihu šoupátka, nastává tak Q=konst.



Obr. 5 Škrtící ventil se stabilizací (inspirováno [2])

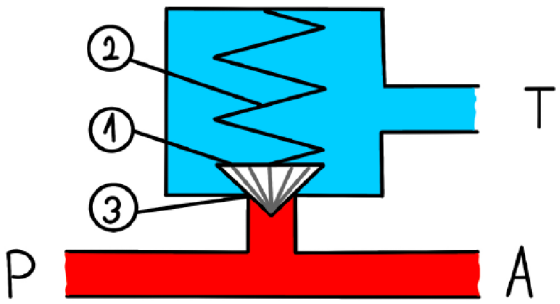
Na následujícím obrázku 6 je zobrazeno schéma škrtícího ventilu se stabilizací.



Obr. 6 Schéma škrtícího ventilu se stabilizací (inspirováno [21])

2.2 Tlakové ventily

Rozdělení tlakových ventilů se řadí podle jejich funkce, konkrétně na pojistné a přepouštěcí ventily. Základní princip funkce je však stejný. Na obrázku 7 je vidět schematicky přímo řízený ventil na omezení tlaku.

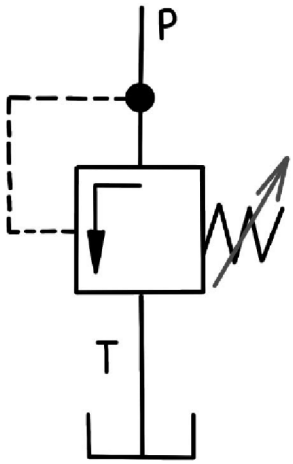


Obr. 7 Přímo řízený ventil na omezení tlaku (inspirováno [3])

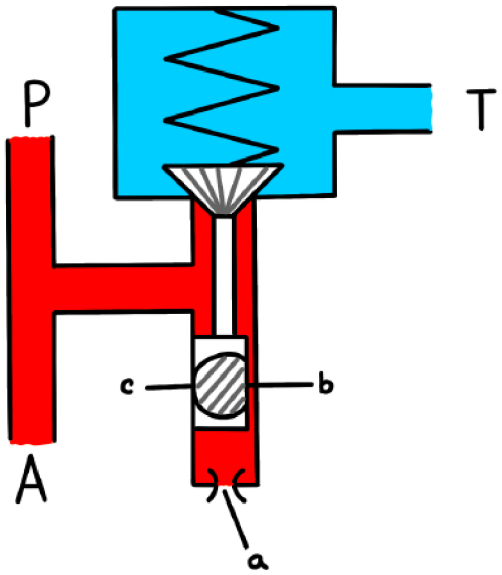
Tlak větvě vstupní (P) je přiváděn na plochu a působí ve směru působení uzavíracího elementu (kuželky – 1). Na kuželku působí síla o velikosti předpětí (pružiny – 2) a působí ve směru uzavření ventilu tedy do jeho sedla (3).

Jestliže-li je síla vykonaná pružinou větší, než je tlak vstupní větve, potom uzavírací element zůstane v sedle, tomuto stavu se říká stav uzavřený. Pokud síla tlaku od kapaliny překročí velikost síly uzavírací (od pružiny), kuželka se přesune do polohy, kdy dochází k průtoku kapaliny [3]. Ventil zůstane takto otevřen, dokud nenastane rovnovážný stav mezi silami.

Ventily můžeme dále dělit na a) přímo řízené jednostupňové, b) nepřímo řízené dvoustupňové. Jednostupňové ventily se používají pro malé průtoky, protože většinou jsou malých rozměrů, pro velké průtoky by musely být konstruovány právě jako dvoustupňové. Na obrázku 8 je schéma jednostupňového ventilu přímo řízeného a na obrázku 9 je znázorněn jednostupňový ventil s tlumením [3].

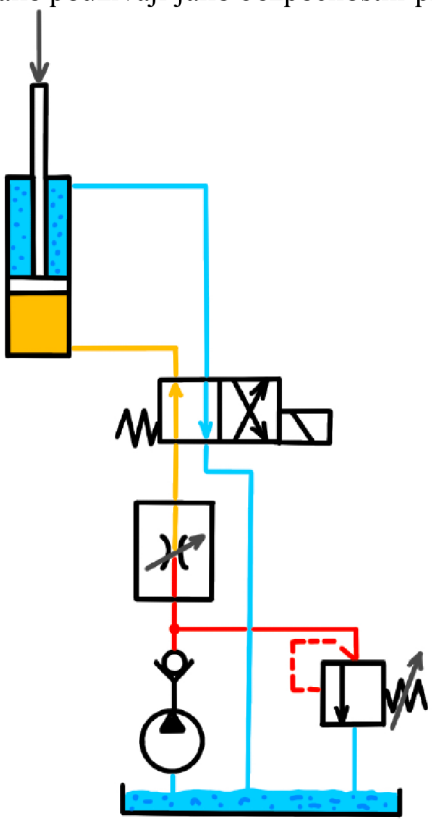


Obr. 8 Schéma jednostupňového ventilu - přímo řízený (inspirováno [21])



Obr. 9 Jednostupňový ventil (inspirováno [3])

Pojistné ventily slouží v hydraulických obvodech pro redukci tlaku na určitou hodnotu. Jestliže-li tlak dosáhne zvolené hodnoty, ventil zareaguje a dojde k odpuštění přebytečné kapaliny. Jde o rozdíl kapaliny spotřebované a kapaliny dodané čerpadlem. Přebytečná kapalina odchází zpět do nádrže. Na následujícím obrázku 10 je hydraulický obvod se zařazeným pojistným ventilem [2]. Pojistné ventily se také používají jako bezpečnostní prvek.



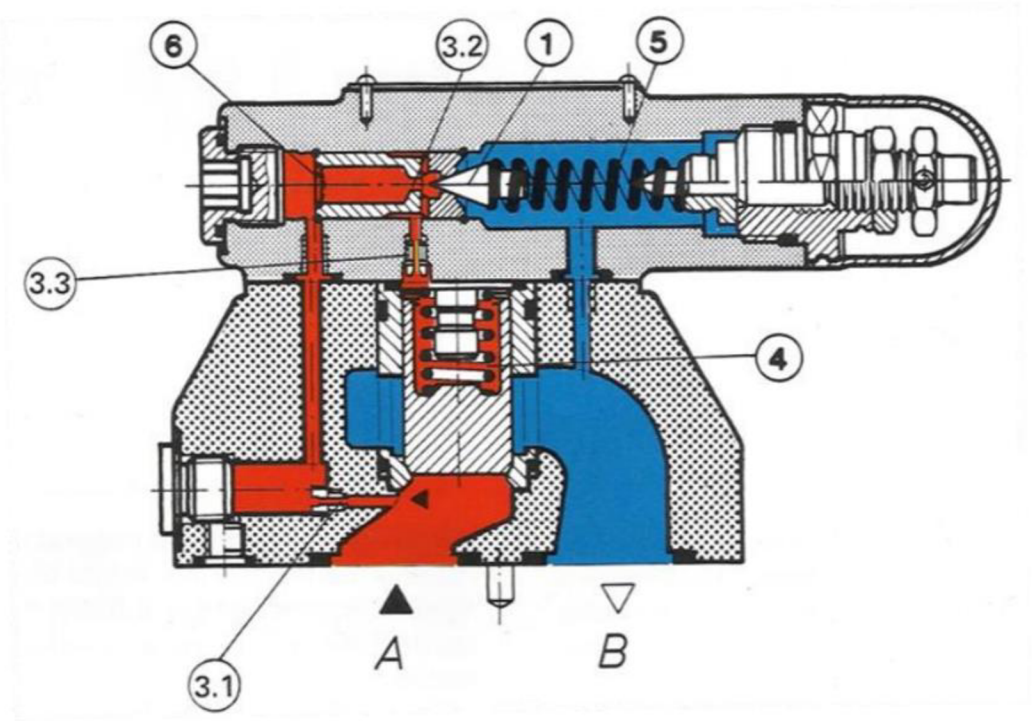
Obr. 10 Zapojení pojistného ventilu (inspirováno [2])

Dále poté dvoustupňové ventily lze použít v případě, kdy jeden stupeň nestačí, hlavně z hlediska svojí konstrukce. Se zvyšující se hodnotou průtoku kapaliny také rostou nároky na plochu, respektive prostor realizace regulační pružiny. Dále má vyšší průtok nárok na sedlo ventilu a průměr kuželky (oboje je třeba zvětšit). S narůstající plochou sedla roste síla pružiny a se zvětšujícím se jmenovitým průměrem rapidně narůstá. Reálné řešení pro velké průtoky je právě dvoustupňový ventil [3].

Na následujícím Obrázku 11 je znázorněna konstrukce nepřímo řízeného pojistného ventilu v provedení na blok. Vstupní tlak je kombinace trysek 3.1 a 3.2 na kuželku ventilu (1). Dále je průchod přes trysku 3.3 a působí na kuželku hlavního ventilu, která je přitlačena srovnatelně s pružinou (4). Jestliže-li tlak překročí hodnotu nastavenou pro přímo řízený ventil, kuželka se zvedne ze sedla a kapalina proteče do nádrže (dochází k průtoku z kanálu A do kanálu B).

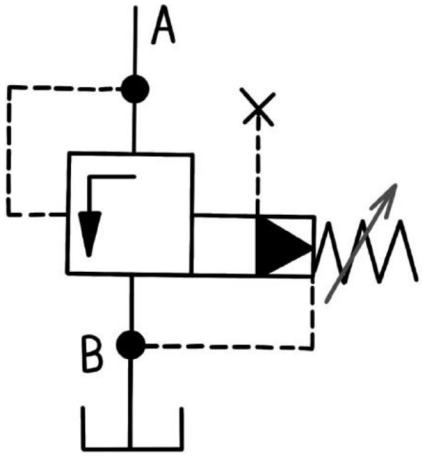
Tryska 3.3 poté plní hlavní funkci na tlumení kuželky, hlavně kvůli tomu, že pružina (4) má malou tuhost a nárůst její síly při zvednutí kuželky není podstatný [3].

Kapalina, která odtéká z řídícího ventilu se může vnitřně odvést do výstupu B nebo zvnějšku přímo ze řídícího ventilu, přičemž propojení výstupu z tohoto ventilu do výstupu hlavního ventilu bude přerušeno. Toto provedení se používá tehdy, kdy je kuželka (1) neovlivněna tlakem z výstupu [3].



Obr. 11 Dvoustupňový nepřímo řízený ventil [3].

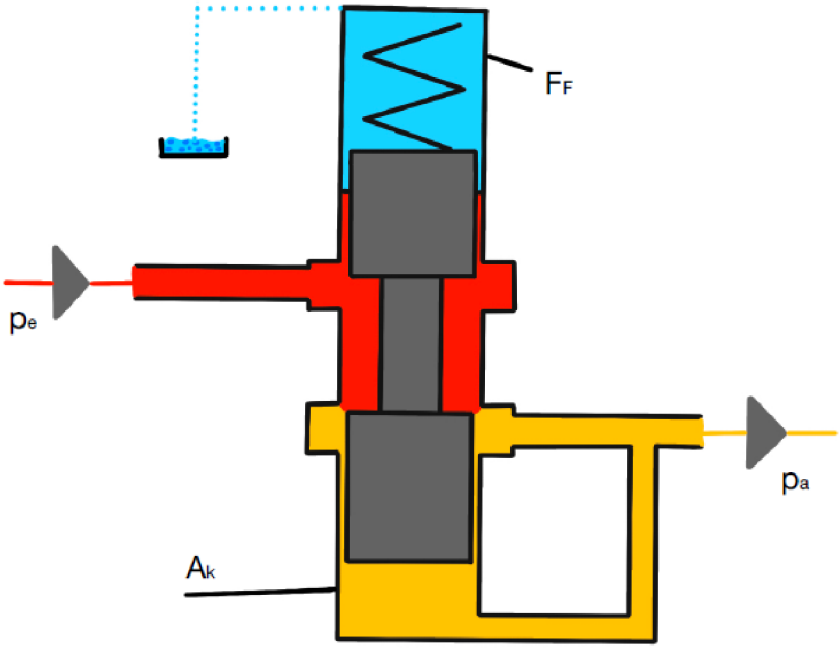
Na následující obrázku 12 je vyobrazena schematická značka nepřímo řízeného pojišťovacího ventilu.



Obr. 12 Schematická značka nepřímo řízeného pojišťovacího ventilu (inspirováno [3])

2.3 Redukční ventily

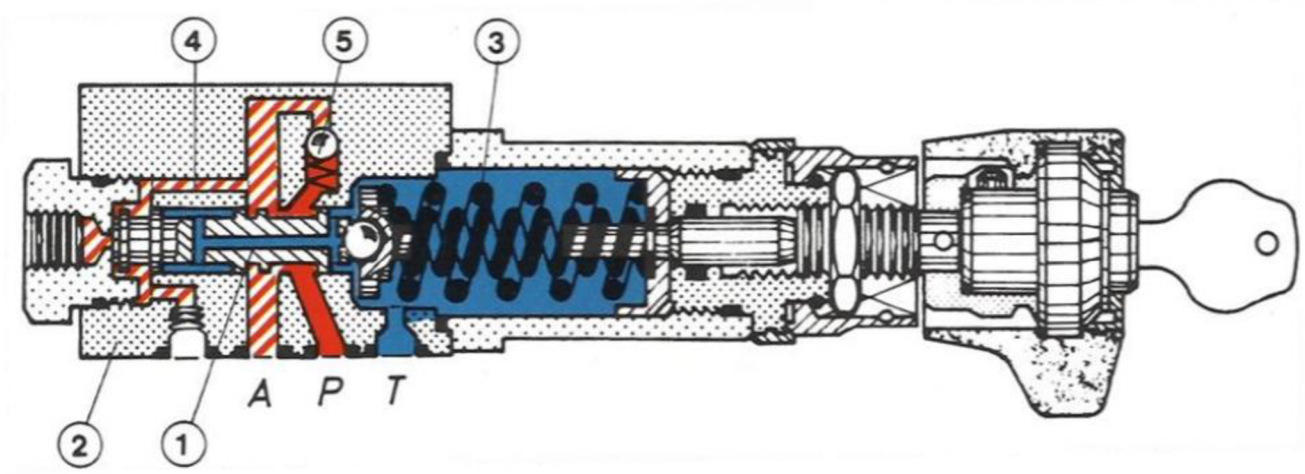
U redukčního ventilu je výstupní tlak redukován na konstantní hodnotu, přičemž je naprosto nezávislý na vstupním tlaku.



Obr. 13 Redukční ventil (inspirováno [2])

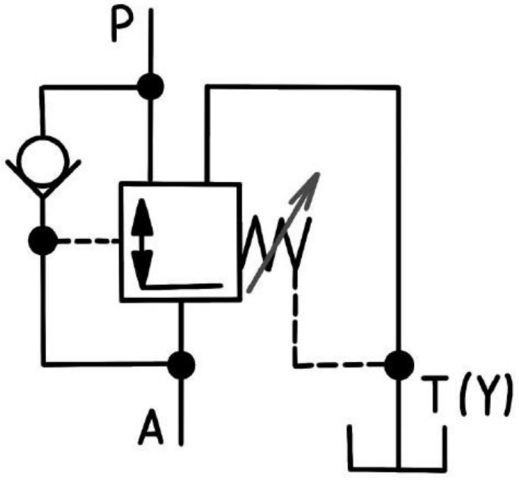
Tento druh ventilu se vsazuje k ostatním prvků hydraulické soustavy zapojením do série. Na obrázku 13 je znázorněna funkce. Při působení tlaku na čelní plochu vzniká síla, ta působí proti síle pružiny, pokud tato síla bude větší než síla od pružiny, dochází k uzavření přívodní větve. Při poklesu tlaku naopak dochází k otevření průtoku z místa, kde je tlak vyšší [2].

Jak již bylo zmíněno, ventily se dělí dále na přímo řízené jednostupňové a nepřímo řízené dvoustupňové. Na následujícím obrázku 14 je zobrazen právě jednostupňový přímo řízený redukční ventil, kde je řídící prvek šoupátko (1), které je umístěno v tělese (2) a je drženo pružinou (3) v řídící (základní) poloze [3]. Na rozdíl o d tlakových ventilů je zde prvek v základní poloze v otevřeném stavu. Směr průtoku můžeme na obrázku vidět jako směr z P do A. Sekundární tlak výstupu působí kanálem (4) na levou plochu šoupátka. Pokud bude síla na šoupátku, vyvolaná primárním tlakem, vyšší než síla od pružiny, píst se posune a průtok bude uzavřen. U tohoto typu ventilu bude propuštěn jen tolik kapaliny, co je odebíráno daným spotřebičem. V případě, že spotřebič žádnou kapalinu neodebírá, dochází k uzavření redukčního ventilu [3].



Obr. 14 Přímo řízený jednostupňový redukční ventil [3].

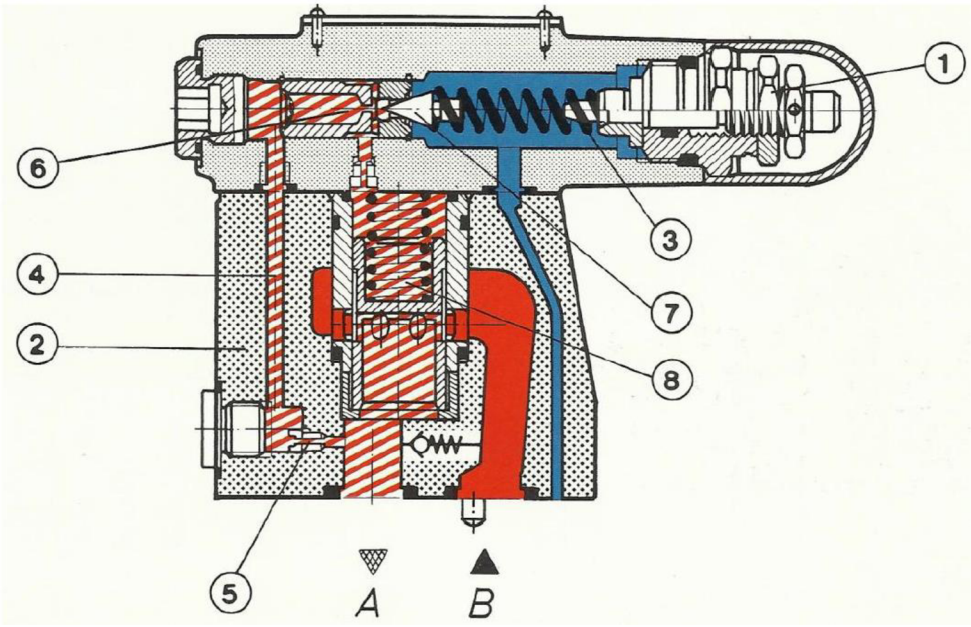
Na následujícím obrázku 15 je schéma redukčního ventilu.



Obr. 15 Schéma redukčního ventilu (inspirováno [21])

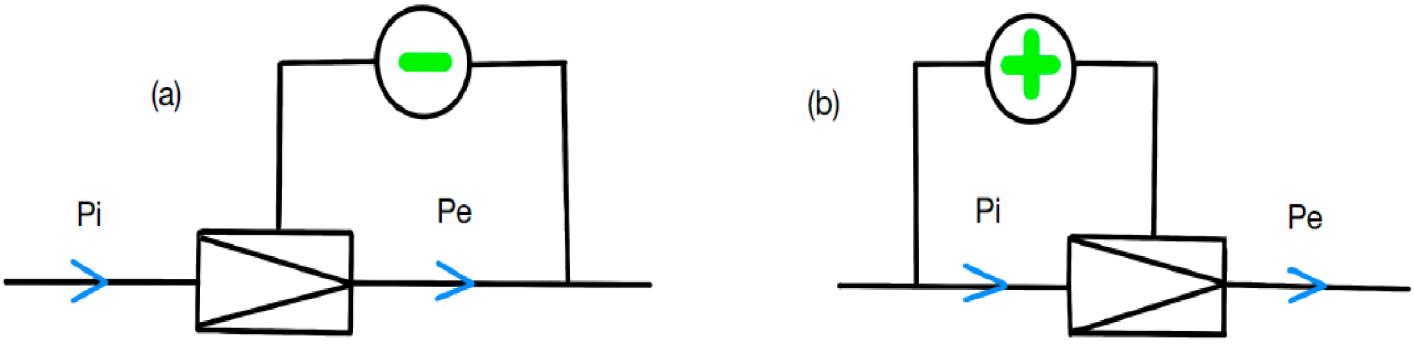
Dvoustupňový nepřímo řízený ventil lze vidět na následujícím obrázku 16. Opět se používají pro redukci tlaku a to u větších průtoků. V tomto případě je použit přímo řízený ventil (1) na regulaci primárního tlaku na výstupní větvi. V základní (pracovní) poloze, je ventil v otevřené poloze, to znamená, že kapalina konající práci může volně protékat z místa B do místa A pomocí otvorů v pouzdře. Požadovaný výstupní tlak se nastavuje pomocí pružiny (3). Tlak na výstupu A působí pomocí trysky (5) kanálem (4) a přes další trysku (6) na kuželku

(7), a také na horní plochu šoupátka hlavního ventilu. Pokud je vstupní tlak v místě B nižší, než je požadovaný výstupní tlak v místě A, šoupátko zůstává zatížené pouze pružinou a je tedy v základní poloze, tedy v poloze otevřeného ventilu. Dosáhne-li tlak na výstupu v místě A požadovaného tlaku, kuželka (7) se nadzvedne a umožní únik pracovní kapaliny. Na vzniklou tlakovou diferenci zareaguje šoupátko tak, že se nadzvedne a tím se sníží průtok z místa B do místa A. Do kanálu A proudí jen tolik pracovní kapaliny, kolik svede spotřebič odebrat, zbytek pracovní kapaliny odtéká do nádrže. Pokud ale spotřebič neodebírá žádnou pracovní kapalinu, šoupátko zůstane uzavřené [3,21]. Při funkčním ventilu trvale odtéká část kapaliny přes trvale řídící ventil do nádrže.



Obr. 16 Tlakový redukční ventil, dvoustupňový [3,21]

Škrcení se dá také použít k řízenému snižování tlaku proudícího plynu. Tento princip se nazývá redukce tlaku. Hlavním požadavkem na redukční ventily je totiž snížit tlak tedy zvýšit tlakovou ztrátu. Potřebný tlak je udržován buď před ventilem nebo za ventilem, v závislosti na tomto udržování tlaku se zapojení dělí na zapojení do redukční stanice a do přepouštěcího ventilu (znázorněno na obrázku 17).



Obr. 17 a) Redukční stanice; b) Přepouštěcí ventil (inspirováno [1])

3 Armatury

3.1 Uzavírací armatury

Uzavírací armatury se dělí na několik dílů, a to **Ventil**, kde při uzavření průtočného průřezu dochází k přitlačení kuželky do mezistěny tělesa. V **Šoupátku** se průtočný průřez uzavírá vtlačováním dělícího klínu mezi nátrubky tělesa, co navazují na potrubí. U **Kohoutu** se průtočný průřez uzavírá pootočením otvoru, který při plném otevření navazuje na potrubí a má kulovitý tvar. A nakonec **Klapka**, kde se průtočný průřez uzavírá díky otáčení dělící desky ve válcové stěně.

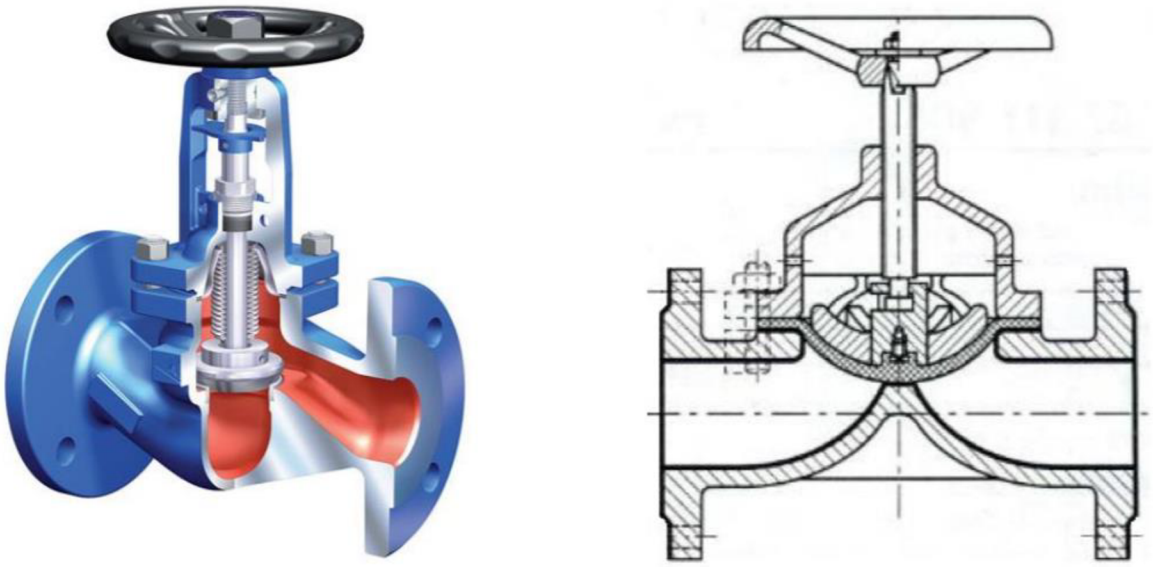
Uzavírací armatury obecně slouží k uzavření nebo úplné odstávce potrubí za všech běžných provozních, ale i mimoprovozních stavů [4]. Dají se využívat i v automatizovaných provozech, ovšem jen v případě, kdy jsou vybaveny elektrickými nebo pneumatickými pohony. Po uzavření armatury by mělo dojít k co nejlepšímu utěsnění, ovšem absolutní těsnost je nemožná, proto normy stanovují jen dosažitelnou míru těsností, která musí být armaturou prokázána při zkouškách těsnosti. Při toku proudící kapaliny vzniká tlaková ztráta, a to i v případě, že je armatura plně otevřená[5]. Tato ztráta je vyjádřena bezrozměrným součinitelem vřazených odporů, ze kterého se následně při stanoveném průtoku dopočítává tlaková ztráta.

V dnešní době se v technické praxi používají převážně kohouty a klapky. V parovodních soustavách se ještě v některých případech používají ventily, ale například šoupátka už z technické praxe téměř vymizela. V teplovodních soustavách o přetlaku 1 MPa se používají převážně kulové závitové kohouty. Od vyšších tlaků se používají také mezi- přírubové klapky. U horkovodních soustav se kulové kohouty přivařují [6].

3.2 Uzavírací ventily

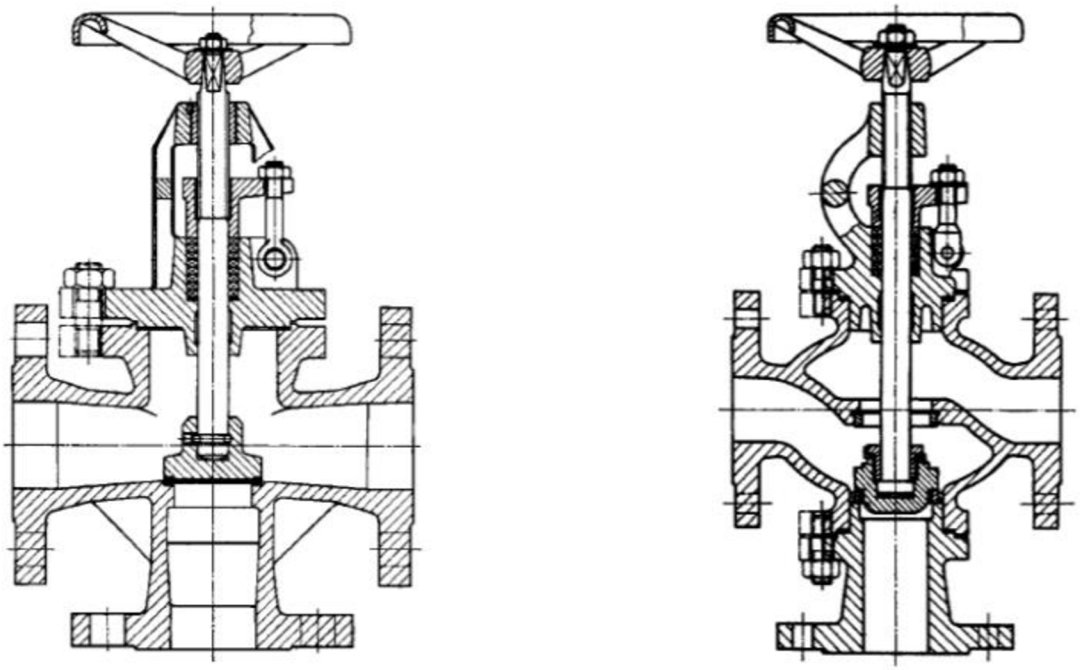
Nejvíce používaným případem uzavíracích ventilů jsou ventily přímé s kolmým vřetenem. Dále se používají ventily se šikmým vřetenem, ty však nejsou v praxi příliš časté. I v případech, kdy jsou u tělesa ventilů takzvané proudové konstrukce (ty umožňují co nejvíce plynulý průtok) je zde znatelná tlaková ztráta, respektive je znatelnější oproti ostatním armaturám. Aby proudící tekutina protekla ventilem, proud se musí dostat přes dvojí ohyb pod osu potrubí, dále musí projít kolmým směrem a dalším dvojitým ohybem pod osou potrubí, následně se musí ohnout do kolmého směru a dalším dvojím ohybem nad sedlem se dopraví zpět do osy. V soustavách dopravující toxické, či jinak nebezpečné látky se používá membránový uzavírací ventil. Membrána dokáže dokonale oddělit vnitřní prostor od vnějšího a zamezuje se tak úniku látky, díky tomu je zde mnohem větší bezpečnost [6].

Na následujícím obrázku 18 budou zobrazeny dva druhy ventilů vlevo uzavírací ventil přímý a vpravo uzavírací ventil membránový.



Obr. 18 Vlevo uzavírací ventil přímý; vpravo membránový ventil uzavírací [7,8]

Ventily jsou konstruovány tak, aby po uzavření toku stačily menší uzavírací síly, to znamená, že směr proudění je z prostoru umístěného pod kuželkou [6]. Mimo přímé ventily existují další typy, například křížové a střídací, a přesně ty jsou zobrazeny na následujícím obrázku 19.



Obr. 19 Vpravo ventil křížový; vlevo ventil střídavý [6]

3.3 Šoupátka

V technické praxi jsou šoupátka menších dimenzí dnes již ve valné většině případů nahrazována kulovými kohouty a klapkami, které jsou jednodušší a rychlejší z hlediska ovládání. Šoupátka větších dimenzí se díky svému principu, a také nízké tlakové ztrátě používají dodnes [6].

Šoupátka se dělí podle dělící desky na:

- Klínová šoupátka
- Paralelní šoupátka

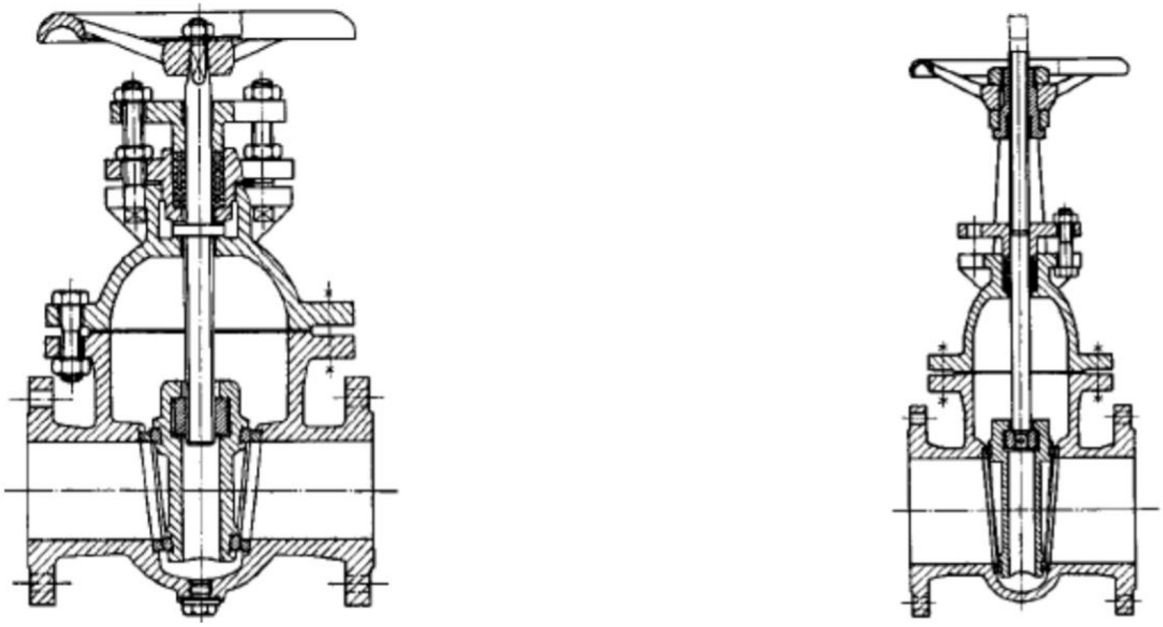
Dle tvaru tělesa:

- Plochá šoupátka
- Plošně oválná šoupátka
- Oválná šoupátka
- Válcová šoupátka

Dle uložení vřetenové matice:

- Šoupátka s nestoupacím vřetenem (matice zasunutá do klínu)
- Šoupátka se stoupacím vřetenem (matice upevněná ve třmenu)

Na následujícím obrázku 20 je zobrazeno šoupátko s nestoupacím vřetenem a šoupátko se stoupacím vřetenem.



Obr. 20 Vlevo šoupátko s nestoupacím vřetenem; vpravo se stoupacím [6]

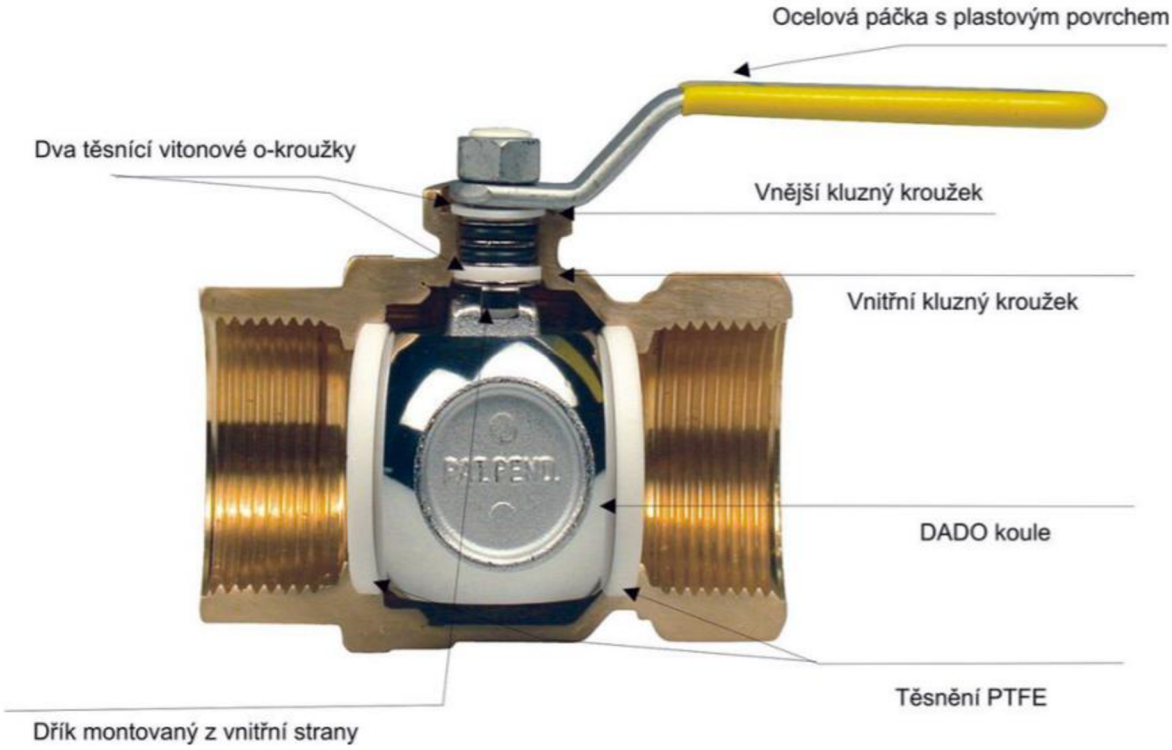
Šoupátka obvykle tvoří dvě rovinné těsnící plochy na desce, a také v tělese. U klínových má deska, už dle názvu, tvar klínu s úkosem. Tento úkos je větší spolu se stoupajícím tlakem. Pro nižší tlaky je to 1:20, a pro vyšší tlaky je to 1:10 [6].

Šoupátka s nestoupacím vřetenem jsou daleko víc prostorově úspornější, a to hlavně z důvodů, že při otevírání se vřeteno nevysouvá z těla armatury. Vřetenová matice je uložena v hlavě klínu, to znamená, že se při otáčení vysouvá pouze klín, a proto je třeba, aby pro něj byl vytvořen prostor, kam se při otevření zasune. Naproti tomu šoupátka se stoupajícím vřetenem mají matici umístěnou přímo ve třmenu. To způsobuje, že se vřeteno otáčí i s ovládací částí, a ta se oddaluje od osy potrubí nebo v náboji ovládací části uložené ve třmenu, takže se vřeteno netočí, ale jen se oddaluje pouze konec vřetena [2]. Tyto šoupátka se používají především pro vysoké tlaky a teploty.

3.4 Kulové kohouty

Tyto armatury jsou jednoduché na ovládání. Jednoduchost právě spočívá v jednoduchém ovládání kulových uzávěrů pomocí pootáčení koule uzávěru, zpravidla o 90 °. Jde o velmi krátký a jednoduchý pohyb a hlavně ho lze realizovat i ručně, ale i pomocí pohonu. Kulové kohouty jsou většinou výhodné právě tam, kde jsou nevýhodné ventily a šoupátka. Největší výhodou je zcela volný průtočný průřez v případě, že je kohout plně otevřený, díky tomu jsou zcela minimální průtočné ztráty [2].

V dnešní době se kulové kohouty vyrábí ve dvojím provedení. S uzávěry s plovoucí koulí, kdy je koule uložená přímo v sedlech. Druhou variantou je potom uzávěr s koulí na čepech. Na následujícím obrázku 21 je zobrazen řez kulovým kohoutem [9].



Obr. 21 Řez kulovým kohoutem [9].

3.5 Uzavírací klapky

Velká výhoda klapek je v její malé délce. Zabírají opravdu málo místa, proto se začali kromě vodovodního potrubí používat i v tepelných sítích. Vyskytl se zde ale problém v podobě pryžového těsnění, které má tendenci při vyšších teplotách rychle tvrdnout a následkem toho se lámat. Tento problém byl vyřešen konstrukcí excentrického kotouče s těsněním z teflonu, který je doplněn o uhlí. Obecně se klapky mohou využívat podobně jako armatury, tedy regulační nebo zpětné [10].

Klapky se dělí v zásadě na tři typy a záleží zde na poloze osy otáčení kotouče vzhledem k ose sedla:

- Klapka centrická: Je v rovině sedla a protíná osu sedla
- Klapka excentrická : Osa otáčení je kolmo a protíná osu sedla
- Klapka dvojitě excentrická: Je mimo rovinu sedla i mimo osu sedla

Obecně u klapek platí, že čím větší je tlakový rozdíl před klapkou a za klapkou, tím širší musí být její list, to kvůli tomu, aby vydržel tak velký tlak. Z těchto informací plyne, že klapky jsou konstruovány jen pro malé tlakové spády [10].

3.5.1 Klapka centrická

Centrické klapky jsou na dnešním trhu nejvíce zastoupené. Vyrábí se ve velmi malých dimenzích, tak v obrovských, které mají řády v metrech. Mezi kruhovým těsněním a kruhovým listem vzniká tlak, který musí být alespoň ve výši tlakového rozdílu, aby klapka těsnila, tento těsnící tlak způsobí deformaci listu i tělesa. To znamená, že v případě, kdy by list i těleso byly z kovového materiálu byla by způsobená deformace, proto musí být alespoň jeden z těchto dvou prvků z poddajnějšího materiálu, než je kov [10].

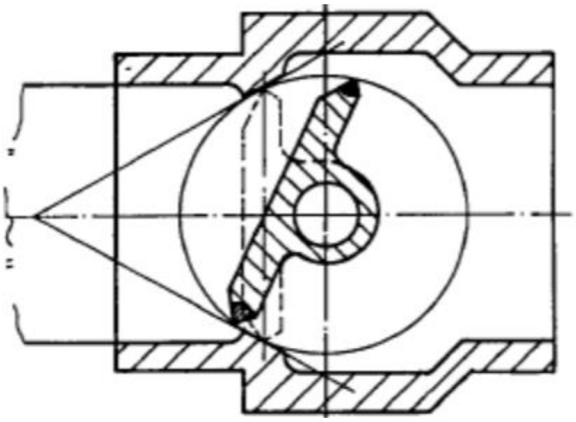
Komplikací u tohoto typu klapky je čep lisu klapy, který prochází sedlem a celá konstrukce je proto celkem složitá.

Na následujícím obrázku 22 jsou zobrazeny centrické klapky, vlevo klapka menších dimenzí a vpravo klapka větších dimenzí.

Obr. 22 Vlevo centrická klapka menších dimenzí; vpravo větších dimenzí [11]

3.5.2 Excentrická klapka

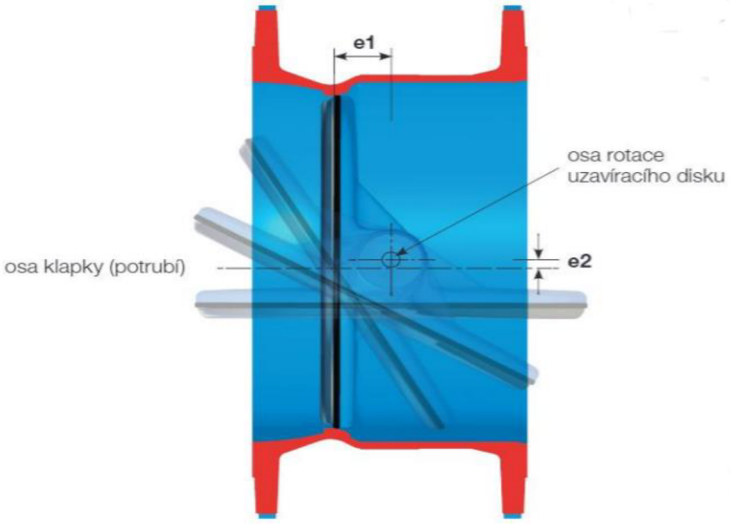
Tato klapka je velmi podobná excentrické klapce, ovšem osa otáčení listu neprochází sedlem, což je velká výhoda, díky tomu může být konstrukce sedla a těsnících čepů daleko jednodušší. Další rozdíl je v působení momentových sil [6]. Konkrétně od proudění tekutiny na list klapky. U klapky centrické byl moment nulový v zavřené poloze, ale v zavřené poloze byl různý od nuly. Naopak u excentrické klapky je smysl působení momentu jiný, při proudění zleva se proud snaží klapku otevřít a při proudění zprava se snaží klapku zavřít [10]. Na dalším obrázku 23 je zobrazeno schéma excentrické klapky.



Obr. 23 Schéma excentrické klapky [6]

3.5.3 Klapka dvojitě excentrická

První excentricita (e1) přenáší osu rotace mimo těsnící osu a tím je zaručena těsnost po celém obvodu uzavíracího disku mezi tělem sedla a těsnícím kroužkem. Druhá excentricita (e2) přenáší osu rotace uzavírajícího disku mimo osu klapky, čímž je zajištěno již po několika stupních pohybu ve směru otevírání uvolnění těsnícího kroužku od sedla klapky [12]. Účelem druhé excentricity je rychlá úleva pryžovému těsnění od komprese mezi diskem a sedlem klapky. Ve stavu otevření nepůsobí na těsnění žádná komprese, a to i když klapka zůstane otevřena po řadu let [12]. Na následujícím obrázku 24 je zobrazena dvojitě excentrická klapka.



Obr. 24 Dvojitě excentrická klapka [12]

3.6 Teorie – jmenovitý průtok

Velikost ventilu je určena hodnotou K_{vs}. Přičemž tato hodnota vyčísluje vztah mezi nastavením ventilu (respektive aktuálně nastavený zdvih nebo úhel natočení hlavního konajícího prvku armatury) a průtokem armaturou. Jmenovitý průtok je pak představen při maximálním otevření h_{100} armatury a při tlakové ztrátě Δp_0=100 kPa=1 bar a má jednotku m^3/h [1].

V případě vody se jmenovitý průtok počítá následujícím zjednodušeným vztahem (3.1):

$$k_{vs} = V * \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} \quad [m^3/h] \tag{3.1}$$

Kde: V je průtok armaturou [m^3/h]
Δp_0 100 [kPa]=1bar
Δp_v tlaková ztráta armatury [kPa]

Z tohoto vztahu lze určit tlakovou ztrátu ventilu při známém průtoku a známé hodnotě k_{vs} nebo lze naopak z požadovaného průtoku a tlakové ztráty určit hodnotu k_{vs} a podle této hodnoty následně vybrat velikost ventilu z příslušného katalogu.
Pro výpočet jmenovitého průtoku pro jinou teplonosnou látku, než je voda, se dá použít následující vztah (3.2) [1,11].

$$k_{vs} = V * \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} * \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} \quad [m^3/h] \tag{3.2}$$

Kde: ρ je hustota teplonosné látky při provozní teplotě [kg/m^3]
ρ_o je hustota vody při 15 °C [kg/m^3]

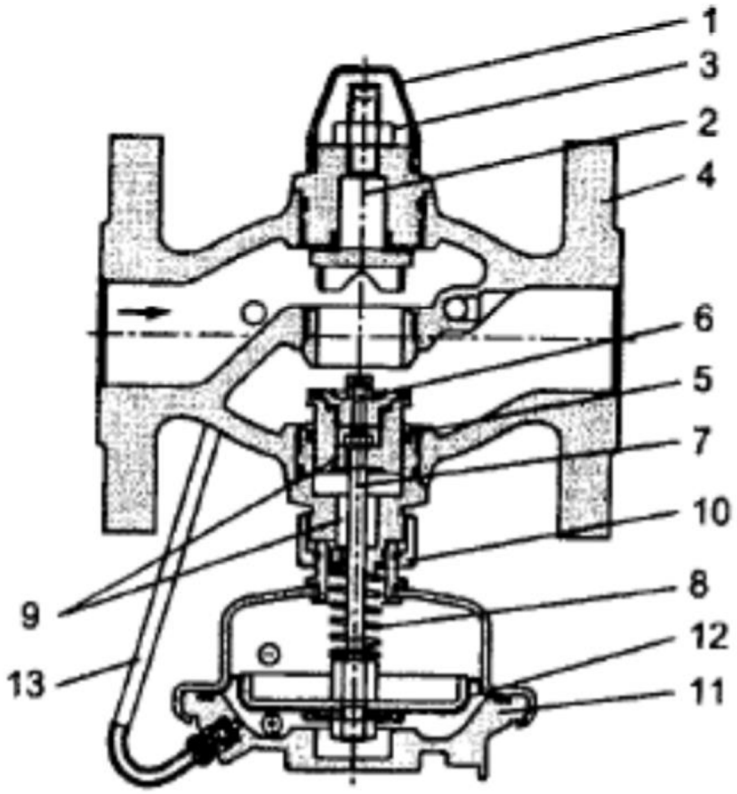
Schopnost ventilu regulovat parametry v potrubních sítí je ovlivněna jeho autoritou Pv, tato autorita je definována poměrem tlakové ztráty ventilu při jeho plně otevřeném stavu ku jeho tlakové ztrátě při plně uzavřeném stavu. Autorita ventilu se dá jednodušeji popsat tím, že při větší autoritě ventilu bude lepší jeho regulační schopnost. Autoritu ventilu popisuje vztah (3.3) [11].

$$P_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} \quad [m^3/h] \tag{3.3}$$

Kde: Pv je autorita ventilu
Δp_{v100} je tlaková ztráta při plně otevřeném ventilu
Δp_{v0} je tlaková ztráta při plně uzavřeném ventilu

3.7 Regulátor objemového průtoku

Tento druh regulátoru zajišťuje, aby nebyl překročený požadovaný průtok, a to nezávisle na poklesu tlaku. Regulátor objemového průtoku využívá jako pracovní tlak skutečnou hodnotu, která odpovídá průtoku, tento tlak je přiváděný k regulační membráně [10]. Pro účely regulace objemového průtoku se někdy využívá regulátorů, které dokážou regulovat jednak tlakovou diferenci, tak objemový průtok. Tyto regulátory snímají dvě regulované veličiny ve stejný okamžik. Na jedné membráně regulace se projeví tlaková diference a na druhé membráně regulace se projeví potom pracovní tlak – nepřímo průtok [10]. Na následujícím obrázku 25 je vyobrazen regulátor objemového průtoku.



Obr. 25 Regulátor objemového průtoku [11]

1 – kryt; 2 – omezovač průtoku; 3 – matice; 4 – ventil; 5 – sedlo; 6 – kuželka; 7 – vřeteno ventilu; 8 – pružina omezovače tlakové diference; 9 – regulační vrtání; 10 – spojovací matice; 11 – pohon; 12 – regulační membrána;13 – impulsní trubka;

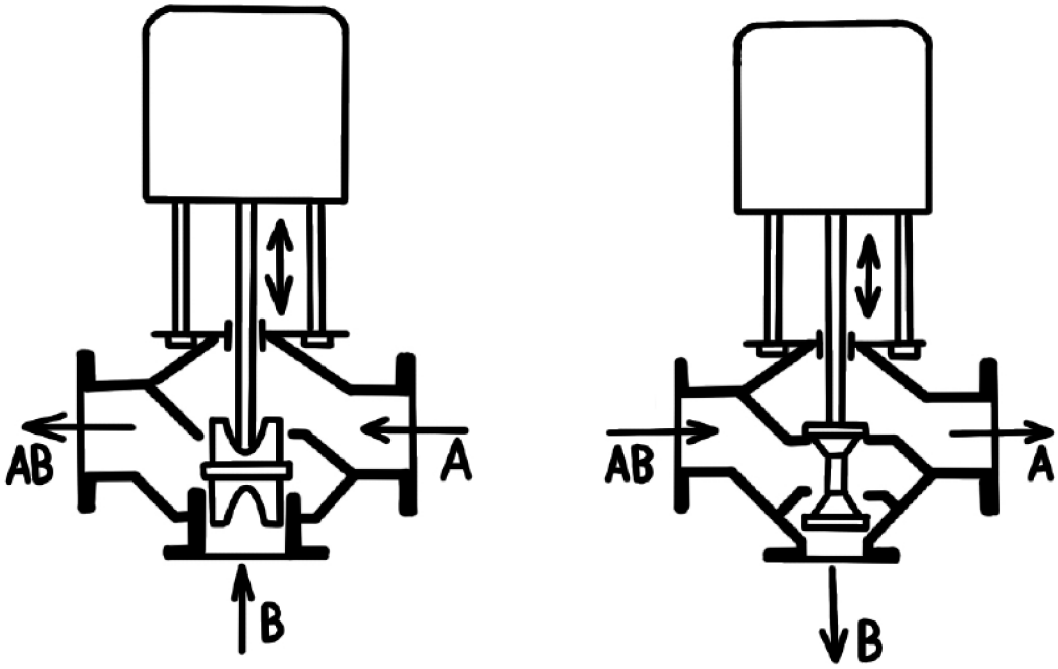
Součástí regulátoru objemového průtoku je také měřící clona, což vytváří tlakový rozdíl na cloně, a ten je úměrný průtoku. Maximální průtok (dovolený) je zaplombován. Regulátor objemového průtoku lze umístit jak do přívodního, tak do vratného potrubí. Používají se v soustavách, kde není možno předem nastavit termostatické regulační ventily [11].

3.8 Trojcestné regulační armatury

Tento typ armatur se může dělit dle jejich funkce na:

- Směšovací (voda zde přichází dvěma vstupy a jedním výstupem odchází)
- Rozdělovací (voda přichází jedním vstupem a odchází dvěma výstupy)

Na následujícím obrázku 26 je zobrazen trojcestný regulační ventil, vlevo je varianta ventilu směšovací, vpravo je vidět regulační ventil rozdělovací.



Obr. 26 Trojcestný regulační ventil směšovací vlevo, rozdělovací vpravo (inspirováno [11])

Ve většině případů se tento typ armatur používá k regulaci směšováním přívodní a vratné vody. Pokud se osadí do přívodního potrubí, zajišťují směšování v poloze směšovací a pokud se osadí do vratného potrubí, zajistí směšování v poloze rozdělovací. Ovšem většinou mají směšovací a rozdělovací ventily odlišnou konstrukci. Obvykle se nedá použít jeden ventil pro obě funkce.

Konstrukce směšovací armatury obsahuje dvě vstupní sedla, mezi těmito sedly se pohybuje tvarová kuželka. Jedno vstupní hrdlo je označené písmenem A. Vstupuje do něj voda z přívodního potrubí teplého. Druhé je hrdlo B, do kterého vstupuje vychlazená vratná voda ze soustavy. Poslední hrdlo označené písmeny AB, je hrdlo, kterým vstupuje smíšená voda o nižší teplotě přívodu (kvůli dosáhnutí požadované hodnoty) [6].

Při regulaci těmito armaturami je průtok zachován na konstantní hodnotě, jedná se tedy o kvalitativní způsob regulace. Ovšem trojcestný ventil, který je zapojený před spotřebičem tepla v přívodním potrubí a s rozdělovací funkcí reguluje změnou průtoku, jinými slovy kvantitativně [6,11].

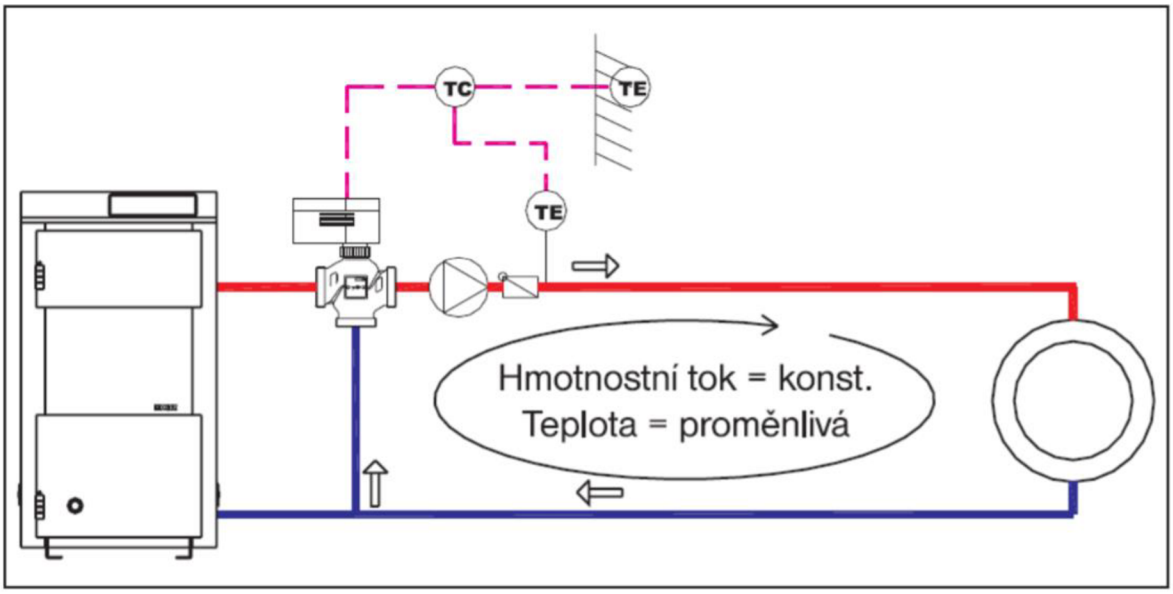
Dimenzování trojcestných ventilů se provádí stejně jako v případě dvoucestných regulačních ventilů, tedy na základě jmenovitého průtoku k_{vs} [m^3/h].

3.9 Typy regulace pomocí armatur

3.9.1 Regulace směšováním

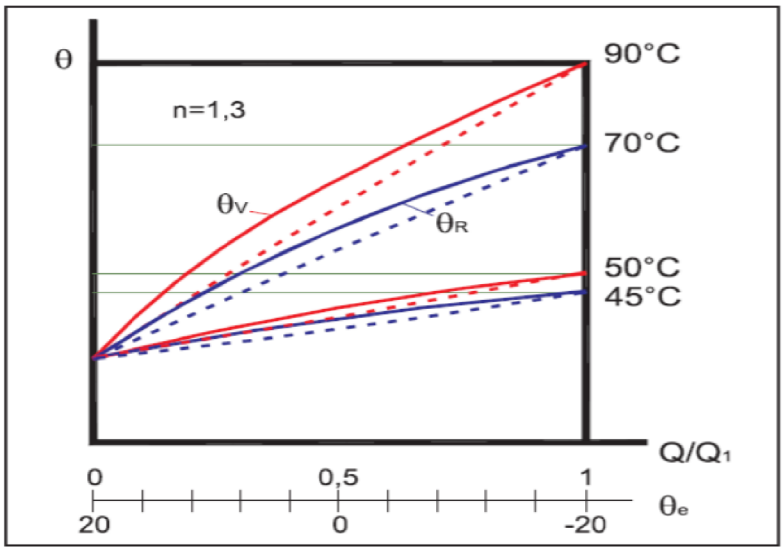
Při tomto typu regulace je zde závislost na klimatických podmínkách a podmínkách vnitřního prostředí a hlavní vliv bude mít teplota přivádějící vody, nicméně průtok ve spotřebiči bude konstantní [13].

Na následujícím obrázku 27 bude zobrazeno schéma jednoho z několika možných zapojení trojcestného ventilu pro směšování přiváděné vody s chladnou vratnou vodou. V okruhu ke spotřebiči tepla je konstantní průtok, naproti tomu v kotlovém je proměnný.



Obr. 27 Schéma regulace teploty přiváděné vody [13]

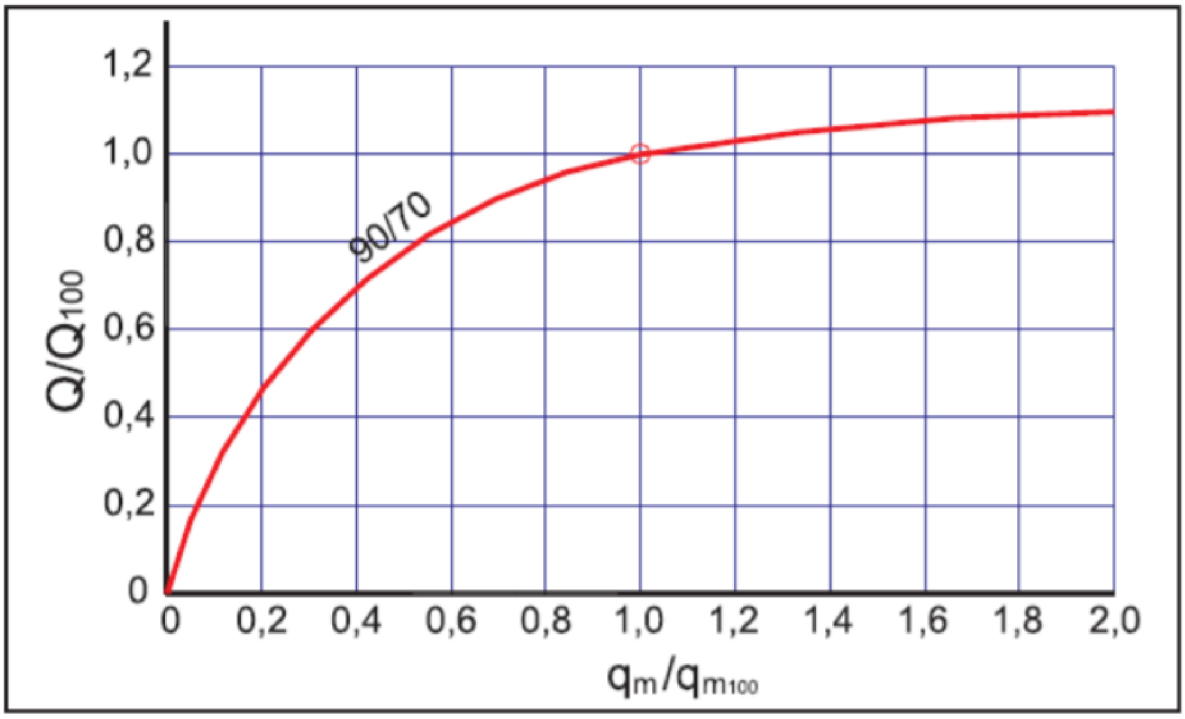
Závislost požadované teploty vody a tepelného výkonu zobrazuje následující obrázek 28, na kterém je zobrazena takzvaná topná křivka. Touto křivkou se řídí pohon směšovacího ventilu.



Obr. 28 Topná křivka [13]

3.9.2 Regulace průtokem

Touto regulací je rozuměna změna hmotnostního toku spotřebiče za konstantní teploty topné vody. Z toho plyne, že se regulace provádí škrcením průtoku topné vody (například trojcestným ventilem před topným tělesem). Se snížením průtoku dochází k prodloužení času, po který topná voda zůstává v tělese, a to způsobuje její výraznější ochlazení. V případě, že se zvětší teplotní spád, bude částečně zmařen efekt vyvolaný omezením průtoku. Na následujícím obrázku 29 je zobrazena škrtící křivka topného tělesa [13].

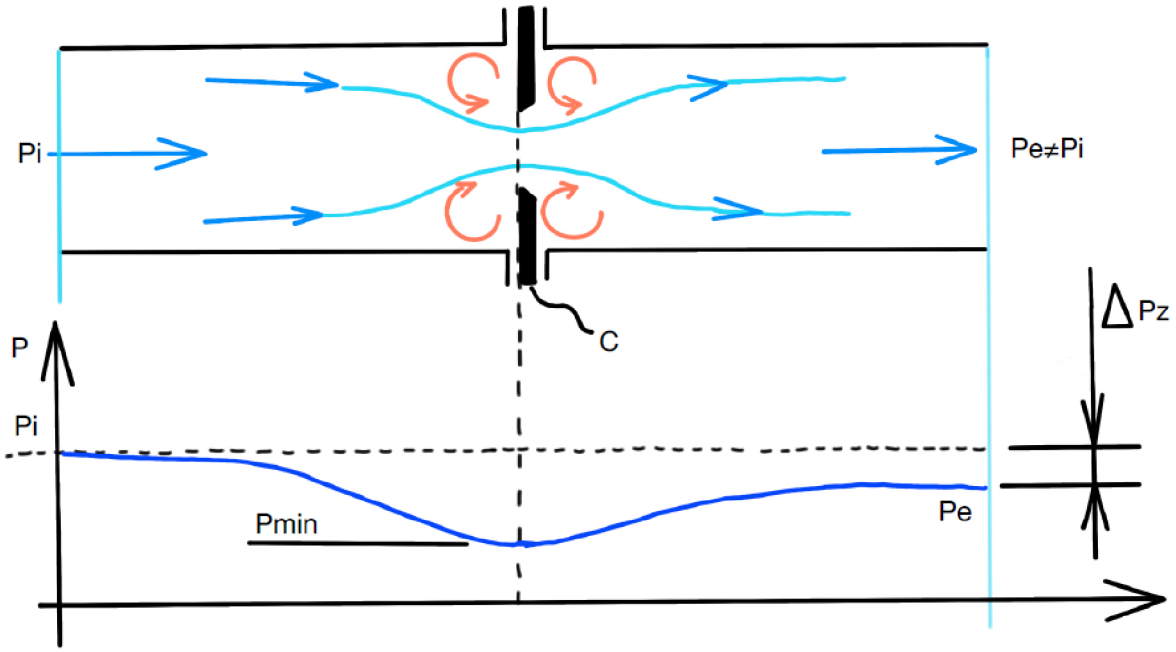


Obr. 29 Škrtící křivka topného tělesa [13]

Z křivky je možno vypozorovat, že při redukci průtoku spotřebičem na polovinu dojde ke změně výkonu jen na 80 %. Pro dosáhnutí menšího výkonu je třeba zmenšit otevření ventilu. Z toho důvodu by se pro tuto regulaci měly používat předem nastavitelné ventily s nastavením na jmenovitý průtok při plném otevření ventilu [13].

3.10 Popis vzniku trvalé tlakové ztráty

V případě zúžení průřezu potrubí (například clonkou) dojde v místě zúžení ke zvýšení rychlosti proudící kapaliny (přičemž hmotnostní průtok je konstantní před clonou i za clonou). Zároveň dochází ke změně stavových veličin proudící kapaliny. Dochází k vytváření vírů, kde částice proudí jinou rychlostí, než je rychlost hlavního proudu. Tento vír má zároveň i jinou teplotu než hlavní proud, následkem toho dochází ke sdílení tepla mezi těmito dvěma rozdílnými proudy [1], což je typický nevratný proces, který způsobuje nárůst entropie pracovního plynu. Celkový tlak se tak nemůže vrátit do svého původního stanu, co měl před clonou. Na následujícím obrázku 30 je zobrazen princip škrcení plynu pomocí clony.



Obr. 30 Škrcení plynu pomocí clony (inspirováno [1])

C – clona; l [m] – délka úseku; p [Pa] – tlak; pz [Pa] – tlaková diference mezi začátkem a koncem sledovaného úseku potrubí (tlaková ztráta). Index „i“ označuje počáteční stav plynu a index „e“ označuje konečný stav plynu na konci úseku/sledovaného děje.

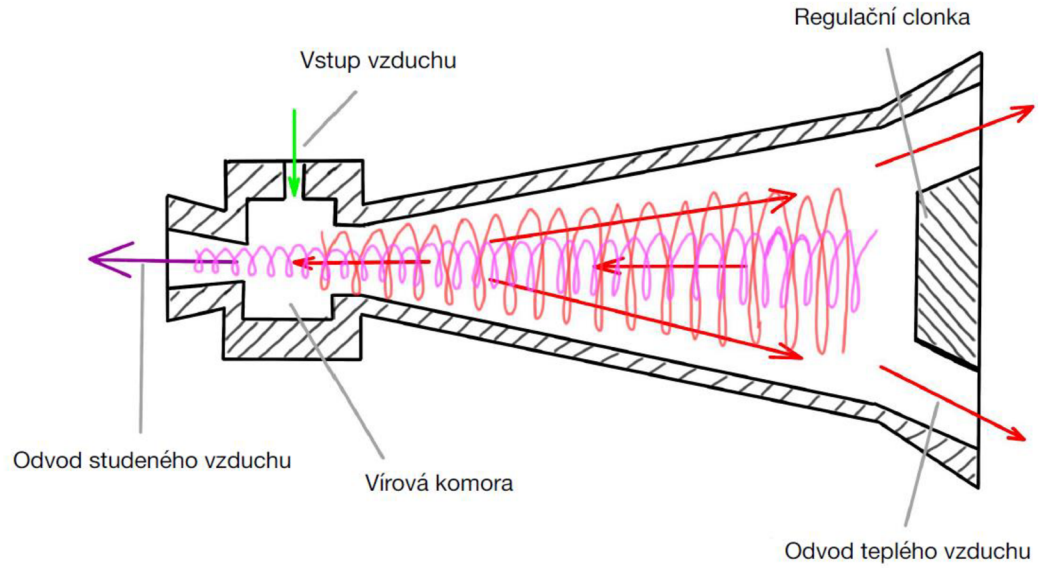
Statický tlak plynu před clonou velmi rychle klesá, rychlost roste (dochází k expanzi plynu), po dosažení minimálního plaku p_{min} (v nejužším místě clony, kde plyn dosahuje i maximální rychlosti c_{max}) za clonou. Díky zvětšenému průřezu opět tlak roste až na svoji konečnou hodnotu p_e. V důsledku poklesu tlaku se zvětší také měrný objem plynu [1].

Při škrcení bývá kinetická energie plynu v důsledku velkého měrného objemu plynu pro většinu případů zanedbatelná (jedná se o proudění přibližně do rychlosti 40 m/s), přitom platí, že čím větší je tlak plynu, tím větší je entalpie, a tím nižší je také podíl kinetické energie.

4 Princip vírové trubice

4.1 Dělení a typy trubic

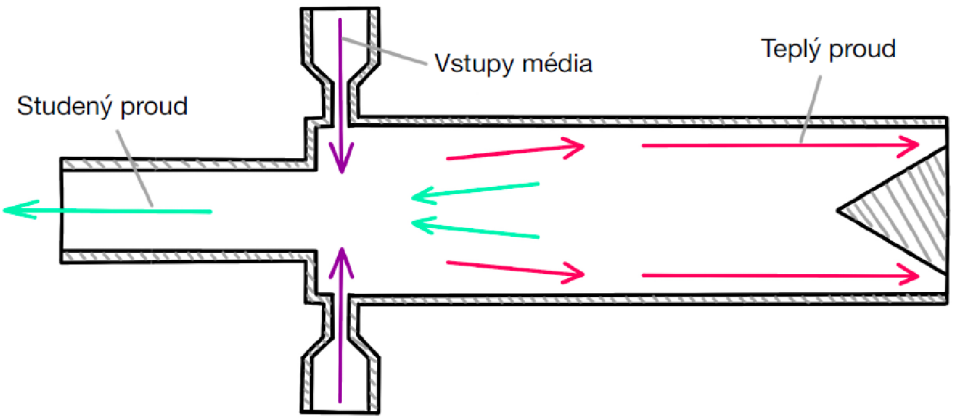
Vírová trubice se dělí do několika skupin. Dle technických specifikací a designového zpracování. Hlavní dělení spočívá ve směru proudění studeného proudu. Podle této specifikace se dělí trubice na protiproudé a souproudé. Dále se dělí dle přístupu k chladící části trubice na trubice chlazené a nechlazené (adiabatické). Můžou se však vyskytovat i složitější varianty v podobě trubic s dalším vstupem pro přisávané médium, dále pak trubice s odvodem kondenzátu, trubice s difuzéry, konvergentní trubice, divergentní trubice, systémy trubic pro více cyklové použití atd [14]. Na následujícím obrázku 31 je zobrazeno schéma divergentní trubice.



Obr. 31 Schéma divergentní trubice (inspirováno [14])

4.1.1 Protiproudá vírová trubice

Na následujícím obrázku 32 je zobrazeno schéma protiproudé trubice.



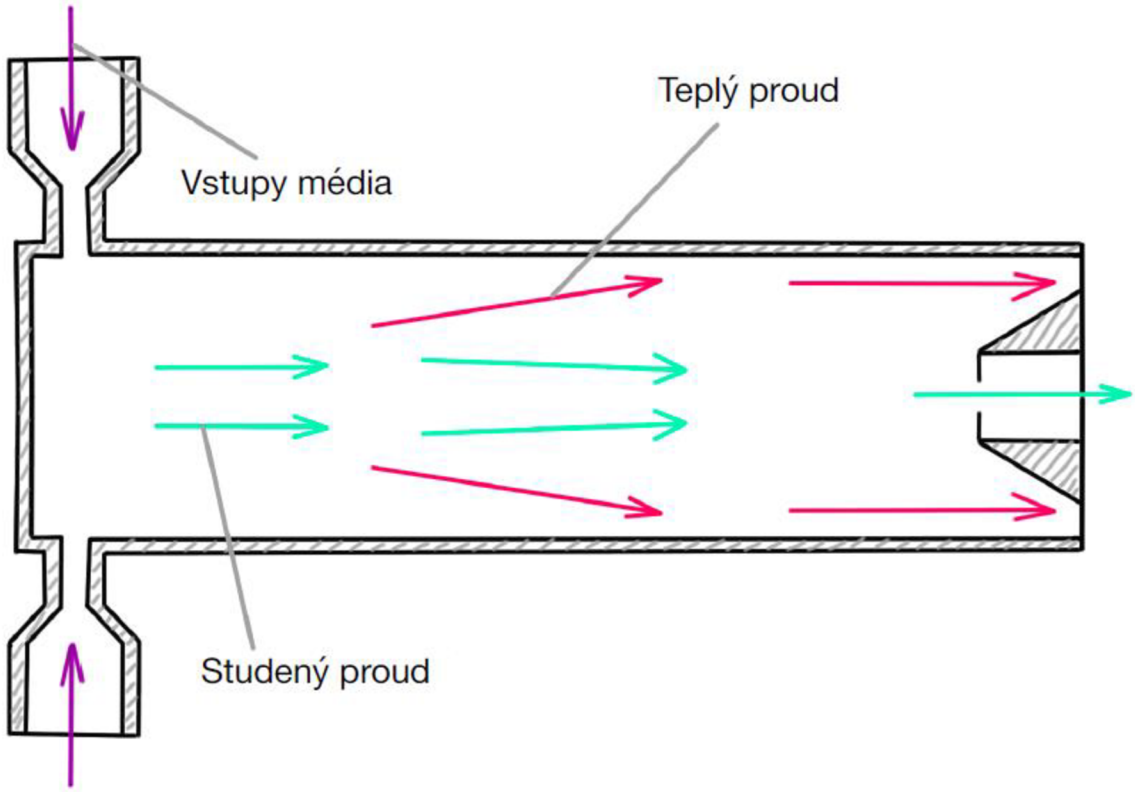
Obr. 32 Schéma protiproudé trubice (inspirováno [15])

V tomto typu trubice je médium hnáno tangenciálně do trubice pomocí vstupních trysek, které jsou v blízkosti clonky ke studené části trubice. Při vysokém tlaku vstupního média je vytvořeno silné vířivé proudění v teplé části trubice. Médium v oblasti u stěny je teplejší než na vstupu, zatímco médium u středu trubice je studenější. Část studenějšího média ve středu trubice změní složku své axiální rychlosti a to tak, že se začne pohybovat od teplejšího konce trubice ke studenějšímu [15]. Clonka ke studené části trubice tuto část studenějšího média separuje od zbytku a ten tak odchází do levé části trubice a následně odchází ven do prostředí. Teplá přístěnná část média odchází vpravo teplým koncem, kde se nachází clona, díky které můžeme regulovat teplotu a množství média [14].

4.1.2 Souproudá vírová trubice

U tohoto typu trubic je vyústění studeného i teplého proudu situováno na jedné straně trubice, i z toho důvodu se tato trubice nazývá souproudá. Hlavní specifikace této trubice zůstávají stejné jako u protiproudé varianty, rozdíl je hlavně v konstrukci a použití clon. Clona na teplém konci a ústí pro studený proud jsou zkombinovány na vedlejší straně trubice. Strana přilehlá k vstupním tryskám je potom uzavřena [15].

Na následujícím obrázku 33 je zobrazeno schéma souproudé trubice.



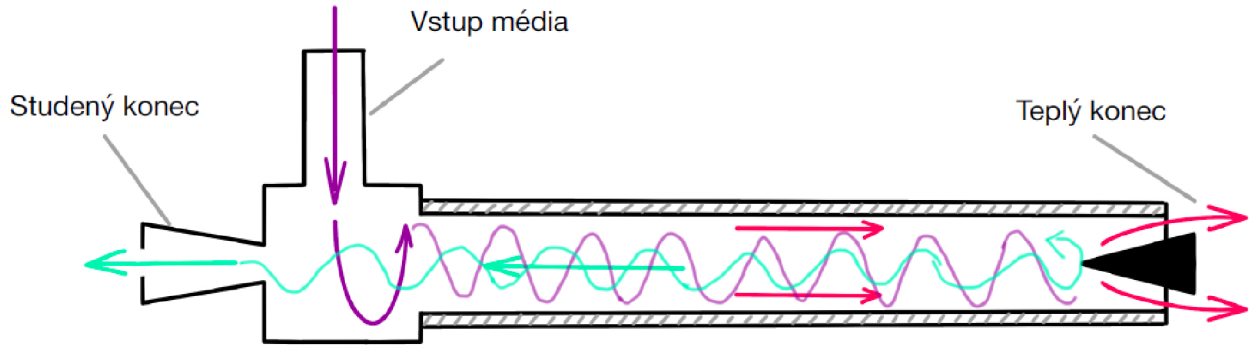
Obr. 33 Schéma souproudé trubice (inspirováno [15])

Většina publikací se shoduje v tom, že souproudé trubice mají horší účinnost než trubice protiproudé. To znamená, že protiproudé trubice nachází v praxi více využití, souproudé vírové trubice mohou být použity pro speciální aplikace, kde je vyžadováno, aby oba proudy ústily ze stejného konce trubice [14].

4.1.3 Ranque-Hilshova vírová trubice

Ranque-Hilshova vírová trubice je zařízení, které transformuje proud plynu o vysokém tlaku na dva proudy o vyšší teplotě, než je teplota vstupního proudu. Z technického hlediska se jedná o zařízení velmi jednoduché konstrukce, které se vyznačuje přijatelně nízkými pořizovacími náklady, vysokou odolností, trvanlivostí a nízkou potřebou údržby. Hlavní nevýhodou tohoto typu je nízký topný faktor, respektive chladící faktor, v porovnání s konvenčními tepelnými čerpadly za pokojové teploty.

Na následujícím obrázku 34 je zobrazena Ranque-Hilshova vírová trubice.



Obr. 34 Schéma Ranque-Hilshovy vírové trubice (inspirováno [16])

Ranque-Hilshova vírová trubice je konstrukčně překvapivě jednoduché zařízení. Jedná se prakticky pouze o dutý válec, do kterého je vháněn tangenciálně plyn o vysokém tlaku pomocí umístěných dýz, čímž vytváří na jeho vnitřní stěně vír o vysoké obvodové rychlosti.

4.2 Použití vírových trubic

Použití vírových trubic není příliš široké, brání tomu jejich nízká účinnost v porovnání s ostatními chladícími zařízeními a s tepelnými čerpadly. Topný respektive chladící faktor těchto zařízení se pohybuje okolo hodnoty 0,1, tedy není většinou vhodné využívat vírové trubice jako samostatnou chladící jednotku. Uplatnění se dají najít v zapojení v širších cyklech. Velká výhoda spočívá v jejich kompaktnosti [15] nevyžadování speciální údržby a celkově v jednoduchosti a spolehlivosti celého zařízení.

V následujících kapitolách bude obsaženo nejčastější oblastí využití.

4.2.1 Chlazení nástrojů při obrábění

Největší využití vírových trubic v praxi je při chlazení nástrojů při obrábění. V české republice nabízí široký výběr například firma Lontech – zastoupení společnosti Vortec Corporation. Tyto trubice jsou používány dle specifikací, a to při frézování, vrtání, soustružení, broušení (vyobrazeno na následujícím obrázku 35), a také dalších technologických obráběních, zejména se jedná o chlazení bodové. Hlavním důvodem tohoto typu chlazení je místní eliminace přehřívání součásti. Využívá se například při obrábění plastů, kompozitů, dřeva atd. Dále se dá využít pro chlazení nůžek, pásových pil, chlazení lepidel, tavenin, či pro chlazení u CNC strojů. Nejvyšší nabízené výkony se pohybují okolo 3 kW a požadují vstupní tlak mezi (5,5 – 8) baru [17].

Obr. 35 Aplikace vírové trubice na chlazení nástroje [17]

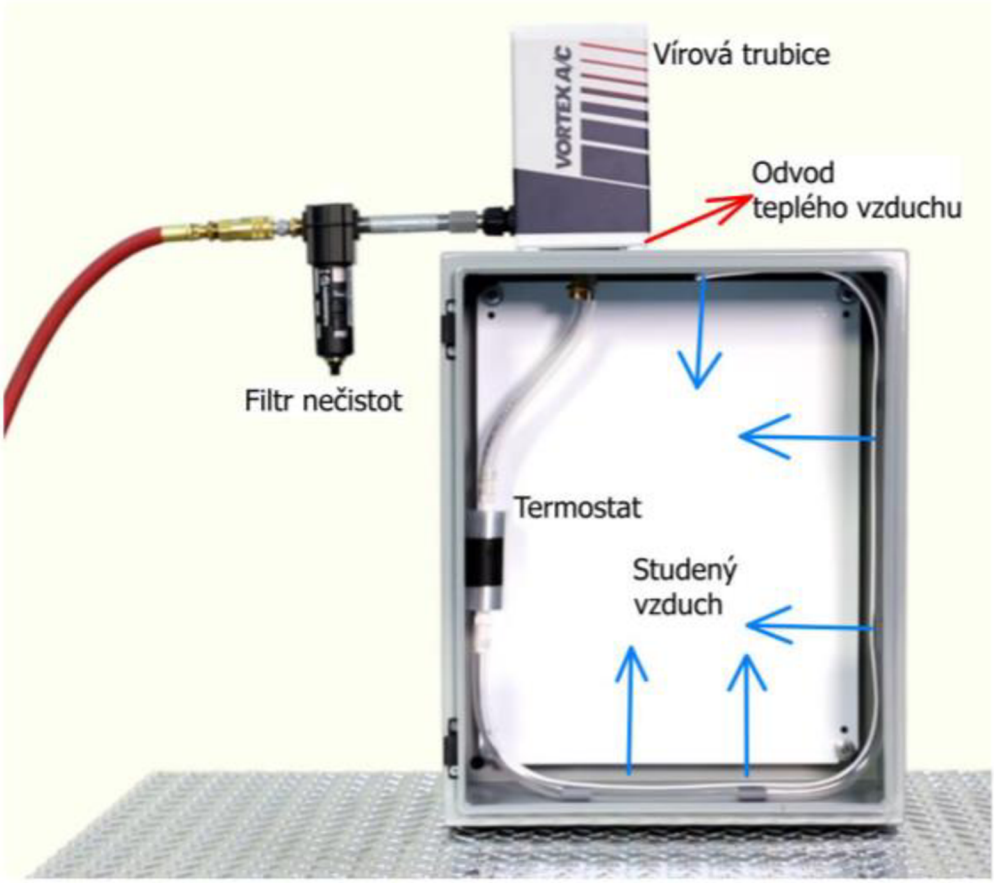
Hlavní výhodou tohoto druhu chlazení oproti běžnému chlazení emulzemi spočívá v odstranění problémů s kontaminací výrobků samotnou emulzí, a také v eliminaci následného čištění po obrábění. Na rozdíl od obrábění „na sucho“ se snižuje tepelné zatížení nástrojů, eliminuje se spálení na hranách a následná deformace výrobku [17]. Tímto se zvyšuje efektivita výroby a prodlužuje se životnost nástrojů a výrobků. Mimo chlazení je možné využít i teplého vzduchu pro ohřívání povrchů součástí při sušení, nebo při lepení.

Další výhody patří relativně malá pořizovací cena a veliká spolehlivost, a to hlavně díky tomu, že vírová trubice není složená z mechanicky pohybujících se součástí. Dále je zde okamžitý náběh chlazení nebo ohřívání. Následující výhodou je snadné seřízení teploty proudu vzduchu pomocí regulačního kolečka, kterým se reguluje nastavení clonky na teplém konci trubice. Vystupující proud vzduchu také navíc čistí výrobek při procesu obrábění [17].

4.2.2 Chlazení uzavřených rozvaděčových skříní

Další využití vírových trubic může být užíván jako jednoduchá a dostupná alternativa k poměrně nákladným klimatizačním jednotkám, které mají vysoké nároky na údržbu při chlazení elektrických a elektronických rozvaděčových skříní. Opět zmíním společnost Vortec, která ve svém katalogu nabízí modelové řady trubic podle výkonu chlazení a spotřeby vzduchu s mechanickými nebo elektronickými termostaty pro udržení požadované teploty ve skříni. Nejvyšší nabízené výkony těchto jednotek společnosti Vortec je 1 500 W a je nutno je napájet vzduchem o tlaku (5,5 – 7) bar. Zařízení bývá instalováno na řídící systémy na robotických pracovištích pro montáž automobilů a plní funkci odstraňování kouře ze svařovacích ploch. Zařízení rovněž snižuje okolní vysokou teplotu.

Trubice se dají dále instalovat na řídící panely pečicích pecí, aby se zabránilo prostojům vlivem přehřátí, ve skříni je udržován mírný přetlak, což brání vniknutí nečistot a prachu do skříně. Vzduch prochází přes dva filtry ještě před tím, než je nasán do vírové trubice, tím se zamezuje dalšímu vniknutí nečistot do skříně [17].



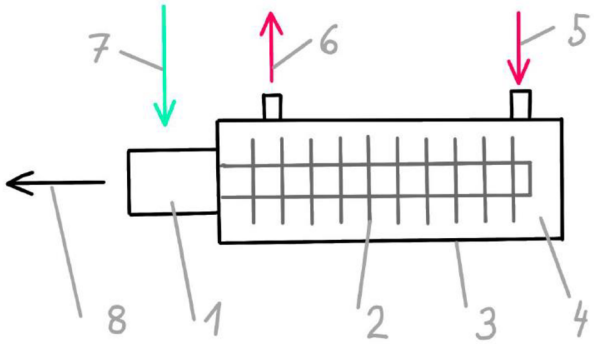
Obr. 36 Aplikace vírové trubice při chlazení rozvaděčové skříně [17]

Mezi největší výhodu patří snadná a rychlá instalace. Také fakt, že trubice i vývody studeného vzduchu mohou být do skříně zavedeny kterýmkoliv směrem, jak je možno vidět na obrázku 36. Nutností je zde však přívod vzduchu do zařízení.

4.2.3 Ohřev zemního plynu v redukčních stanicích

V tomto případě jde o typ vírové trubice Vortex Pilot Gas Heater (VPGH). Jde o variantu vírové trubice, kdy je teplá strana naprosto uzavřená a veškerý plyn tak odchází pouze studeným koncem. Trubice je uzavřená pro ohřev zemního plynu v redukčních stanicích před distribucí spotřebitelům pomocí škrtícího ventilu. Je nutné ho předehřívat tak, aby voda uvnitř nemohla zkondenzovat nebo aby nemohly vznikat částečky zamrzlého ledu přítomností vlhkosti plynu, děje se tak díky adiabatické expanzi škrtícího plynu.

Jako alternativa k těmto předehřevům může být použita vírová trubice. Není zde vyžadována externí energie, je třeba pouze dostatečný tlakový spád plynu. Tlaková energie plynu se v trubici u stěny mění na tepelnou energii a dochází tak k ohřevu plynu uvnitř. Nevyužívá se však potom proudu plynu, jelikož je teplá strana pro odvod uzavřena, ale slouží jako teplosměnná plocha. Zde předává teplo jiné části plynu o vysokém tlaku, který je poté veden přes dvojité škrcení na výstupní tlak redukční stanice. Veškerý plyn uvnitř trubice po odevzdání tepla poté dochází ve středu víru clonkou k studenému konci a ven z trubice je odváděn do potrubí za pomocí regulátoru [18]. Na následujícím obrázku 37 je zobrazeno schéma vírové trubice pro ohřev zemního plynu.



Obr. 37 Vírová trubice pro ohřev zemního plynu
1 – vírová trubice; 2 - žebrování; 3 – vnější stěna tepelného výměníku; 4 – tepelný výměník; 5 – vstup do teplého výměníku; 6 – výstup z teplého výměníku; 7 – přístup k dýzám vírové trubice; 8 – výstup z Ranque Hilshovy vírové trubice

Průtok plynu vírovou trubicí je (2 – 5) % z celkového průtoku stanicí, i proto do větší míry neovlivní regulaci soustavy. I přesto je ale schopen velkou mírou snížit energetickou náročnost distribuční stanice. Dokáže pracovat s rozdílem tlaků až 6.9 MPa a zvýšit teplotu plynu až o 50 °C. Ohřívač nevyžaduje speciální údržbu a pracuje s maximální spolehlivostí [19]. Na následujícím obrázku 38 je zobrazeno připojení VPGT na regulační smyčku redukční stanice.

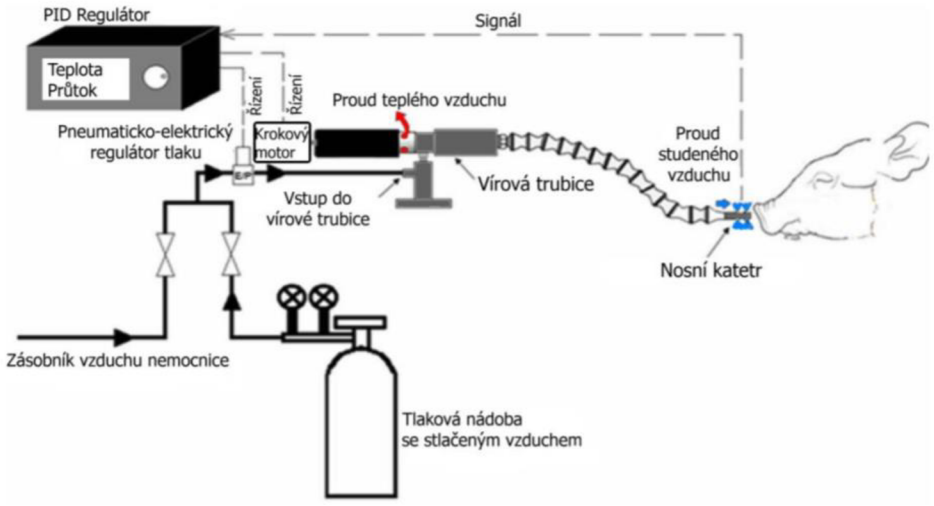
Obr. 38 VPGH připojena na regulační smyčku redukční stanice [19]

4.2.4 Použití pro lékařské účely

Díky svojí spolehlivosti mohou být vírové trubice použity i pro lékařské účely, kde tato výhoda převažuje nad celkovou účinností zařízení. V medicíně nachází uplatnění při terapeutické hypotermii, což je léčebná metoda využívající dosažení nižší lokální tělesné teploty pacienta a následně udržování této teploty po určitou dobu. Navození terapeutické hypotermie je na základě studií zařazené do doporučených postupů léčby pacientů s akutním stavem. Využívá se hlavně v oblasti intenzivní medicíny [22]. Její včasné zahájení přináší výhody, co se odrazí na konečném stavu pacientů. Existuje řada akutních stavů, které ohrožují pacienta rozvojem ischemie, tedy nižší oxygenací tkání.

Patří mezi ně cévní mozková příhoda, úrazy hlavy, zástava srdce, perinatální asfyxie novorozenců. Hlavním důvodem pro ochlazování je zde neuroprotektivní účinek. Ochladí-li se pacient, dojde v tkáních ke zpomalení metabolických pochodů a dochází k pomalejšímu rozvoji ischemických změn. Existuje více způsobů, jak lidské tělo ochladit. Od základního povrchového chlazení studenými obklady po chlazení studeným vzduchem přes invazivnější postupy, které se v intenzivní medicíně uplatňují nejvíce. Jedná se metody endovaskulárního chlazení, kdy se pacientovi podávají do periferní žíly infuze o teplotě 4 °C. Tato metoda zajišťuje ochlazení celého lidského těla cestou krevního řečiště, což má však vedle ochranného působení také mnoho nežádoucích účinků. U pacientů se rozvíjí elektrolytová dysbalance, koagulopatie, trombocytopenie, arytmie, nebo vyšší riziko vzniku infekčních komplikací [22].

Na následujícím obrázku 39 je schéma zapojení Ranque-Hilshovy vírové trubice při použití metody SBC.



Obr. 39 Schéma zapojení RHVT při použití metody SBC [22]

Trendem poslední doby je namířit řízenou hypotermii pacientů především na oblast mozku, jedná se o takzvané selektivní chlazení mozku. Mozek je totiž orgán, co je maximálně závislý na přísunu kyslíku, navíc nemá žádnou energetickou rezervu, pro plnění svojí funkce, i z toho důvodu je ischemií postižen jako první. Metoda SBC (Slective Brain Cooling) se opírá o vícero způsobů ochlazení mozku. Jedním z nich je ochlazování mozku studeným vzduchem, který je vpouštěn do nosní dutiny. Výhodou této metody je možnost kontroly a nastavení výchozí teploty, při této metodě se nepoužívají chemické látky.

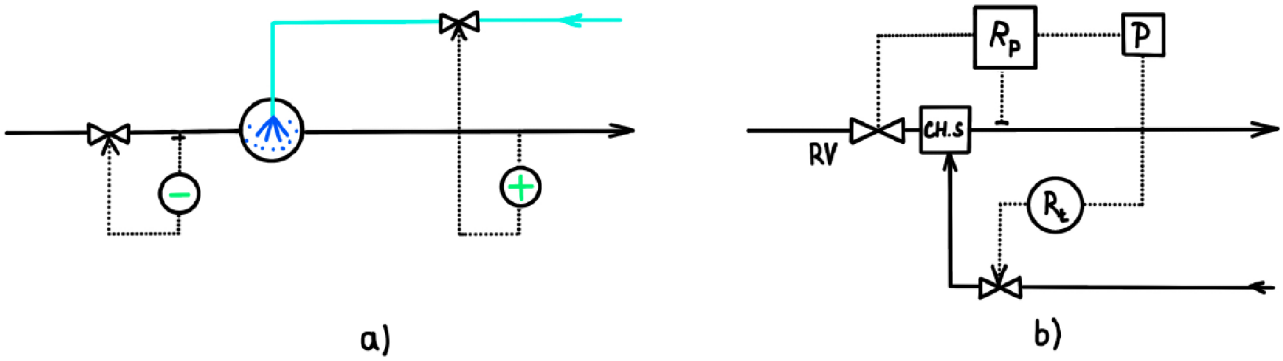
Každý člověk má odlišně vyvinuté regulační mechanismy, kratší nebo jinak utvářenou dutinou nosní, což může ve finále přinést odlišné výsledky. Na zvířatech byla tato metoda vyzkoušena a chlazení bylo prováděno právě pomocí RHVT [22].

5 Analýza – standartní redukčně chladící stanice

5.1 Standartní redukční stanice - výpočet

Tato kapitola se bude věnovat samotné analýze, respektive energetickému výpočtu, redukčně chladící stanice, nejprve budou uvedeny analytické vztahy a bude následovat výpočet klasické varianty redukčně – chladící stanice, následně redukčně – chladící stanice na principu vírové trubice za pomocí teorie potenciálního víru. V závěru budou vysloveny výsledky a porovnání obou variant.

Na následující obrázku 40 je zobrazeno schéma redukční a chladící stanice. Vlevo základní schéma, vpravo kombinovaná redukční stanice.



Obr. 40 Schéma redukční a chladící stanice (a) a kombinované redukční stanice (b)

Rp – regulátor tlaku; Rt – regulátor teploty; P – pojišťovací zařízení, které zavírá redukční ventil (RV) v případě překročení teploty páry za stanicí; Ch.s – chladící stanice

Za redukční stanicí bývá obvykle instalován chladič páry se vstřikem, protože teplota redukované vstupní páry je mnohem vyšší, než je teplota páry z odběru nebo protitlaku. Zpravidla je podstatně vyšší, než je teplota, co je potřebná pro tepelnou síť. K chlazení se rovněž může použít kondenzát nebo napájecí voda.

Má-li redukčně – chladící stanice dodávat množství redukované páry „Mr“, je množství vstupní páry a množství vstřikované vody dáno následujícími bilančními rovnicemi.

$$M_o i_o + M_v i_v = M_r i_2 \tag{5.1}$$

$$M_o + M_v = M_r \tag{5.2}$$

Odtud se dostaneme k následujícím vztahům:

$$M_o = \frac{i_2 - i_v}{i_0 - i_v} M_r \ [kg/s] \tag{5.3}$$

$$M_v = \frac{i_0 - i_2}{i_0 - i_v} M_r \ [kg/s] \tag{5.4}$$

Při oddělení redukce a vstřiku chlazení může mít pára ještě daleko za redukčně – chladící stanicí nerovnoměrné rozdělení teploty, popřípadě může unášet dosud neodpařené kapičky vody, protože jejich odpaření trvá asi dvě sekundy. Lepšího vyrovnání teplot se poté dosahuje u kombinované redukčně – chladící stanice, kde se chladící voda vstřikuje do páry přímo v sedle regulačního ventilu.

5.1.1 Zadané parametry – vstupy

- Tlak páry na vstupu: $P_{vstup} = 3{,}5$ MPa
- Teplota páry na vstupu: $t_{vstup} = 435$ °C
- Požadovaný tlak na výstupu: $P_{výstup} = 0{,}6$ MPa
- Požadovaná teplota na výstupu: $t_{výstup} = 200$ °C
- Požadovaný průtok na výstupu: $M_{výstup} = 13$ kg/s
- Tlak chladící vody: $P_{vody} = 0{,}6$ MPa

Teplota chladící vody: sytá kapalina:

$$t_{vody} = f(p_{vody}; x = 0) = 158{,}15\,°C$$

Potřebné entalpie pro výpočet:

$$i_{vody} = f(p_{vody}; t_{vody}) = 667{,}5439\ KJ/kg$$

$$i_{vstup} = f(p_{vstup}; t_{vstup}) = 3303{,}612\ KJ/kg$$

$$i_{výstup} = f(p_{výstup}; t_{výstup}) = 2850{,}663\ KJ/kg$$

Malou úpravou vztahů (5.3) a (5.4) vypočteme množství chladící vody a požadovaný průtok na vstupu:

$$M_{vstup} = \frac{i_{výstup} - i_{vody}}{i_{vstup} - i_{vody}} M_{výstup} = 10{,}77\ kg/s$$

$$M_{vody} = \frac{i_{vstup} - i_{výstup}}{i_{vstup} - i_{vody}}\ M_{výstup} = 2{,}24\ kg/s$$

5.1.2 Stanovení vstupního průměru redukčně-chladící stanice

V této části půjde o výpočet průměru redukčně chladící stanice, výpočet bude proveden dle následujících vztahů (5.8) a (5.9).

$$S = \frac{\pi * d^2}{4} \tag{5.8}$$

$$m = S * c * \frac{1}{v_e} \tag{5.9}$$

Jednoduchou úpravou vztahů (5.8) a (5.9) se dostaneme na vzorce potřebné pro výpočet plochy „S“ a následně k určení samotného průměru. „C“ zde značí rychlost proudící média, v našem případě páry. Velikost této rychlosti volím dle literatury v rozmezí (25 – 55) m/s. „Ve“ značí měrný objem na výstupu, který se dá dohledat v parních tabulkách, nebo vyjádřit funkčním vztahem.

$$v_{e=}f\left(p_{výstup}; t_{výstup}\right) = 0{,}35212\ m^3/kg$$

Úpravou vztahu (5.9) dostaneme plochu:

$$S = \frac{m * v_e}{c}$$

Úpravou vztahu (5.8) dostaneme výsledný požadovaný vnitřní průměr:

$$d = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

V následující tabulce 5.1 je vypočteno několik vnitřních průměrů redukčně chladící stanice v závislosti na rychlosti proudícího média „c“, která byla volena z literatury stejně jako v předešlém výpočtu, a to v rozmezí (25 - 55) m/s.

Tabulka 5.1 – Průměry redukčně chladící stanice - výstup

Rychlost proudění c [m/s]	Průměr redukčně-chladící stanice $d_{výstup}$ [m]
25	0,482839
30	0,440769
35	0,408073
40	0,381718
45	0,359887
50	0,341419
55	0,325533

Obdobným způsobem můžeme určit průměr na vstupu. Nejprve je však třeba opět určit měrný objem na vstupu „v_i“ z následujícího funkčního vztahu:

$$v_{i=}f\left(p_{vstup};t_{vstup}\right) = 0{,}089776\ m^3/kg$$

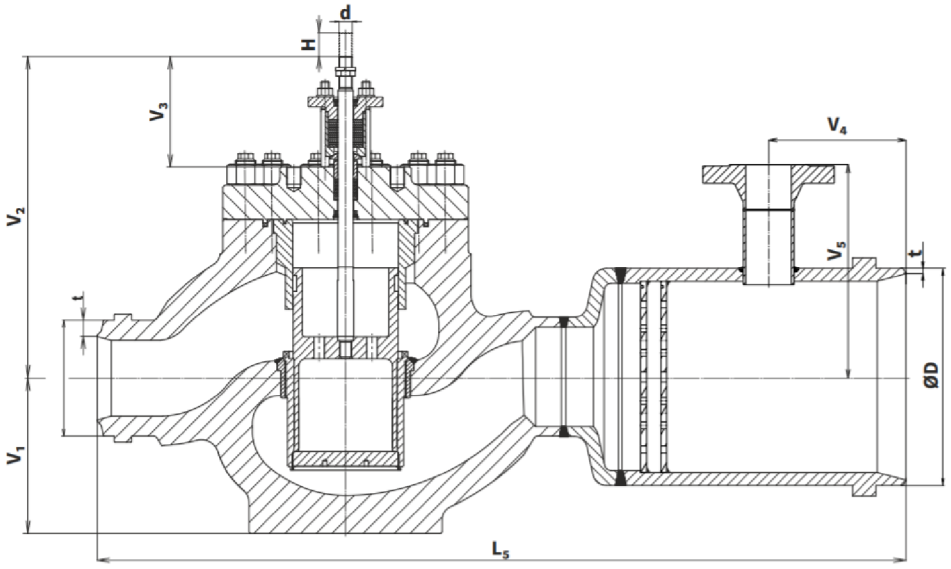
V následující tabulce je vypočteno několik vnitřních průměrů redukčně chladící stanice v závislosti na rychlosti proudícího média „c“, která byla volena z literatury stejně jako v předešlém výpočtu, a to v rozmezí (25 - 55) m/s.

Tabulka 5.2 – Průměry redukčně chladící stanice - vstup

Rychlost proudění c [m/s]	Průměr redukčně-chladící stanice d_{vstup} [m]
25	0,221901
30	0,202567
35	0,187542
40	0,175428
45	0,165395
50	0,156907
55	0,149605

Na následujícím obrázku 41 je zobrazeno schéma redukčně – chladící stanice spolu s hlavními rozměry, tedy vstupní a výstupní průměr a samotná délka.

Délka redukčně – chladící stanice pro náš případ bude volena na základě velikosti vypočteného průměru v tabulce 5.2. Pro volbu finálních rozměrů průměru, délky a dalších potřebných rozměrů bude využit katalog výrobců [20].



Obr. 41 Redukční stanice z katalogu výrobců-svarové provedení [20]

5.2 Návrh jednotlivých komponent

Pára vysoké teploty a tlaku vstupuje do redukčně chladící stanice. Ukazatel tlaku páry a teploměr indikují teplotu a tlak vstupní páry. Regulační ventil páry snižuje její tlak, dále potom uzavírací ventil na vstupu páry, spolu s výstupním uzavíracím ventilem se používá k izolaci regulačního ventilu tlaku páry v případě, že se má provádět údržba regulačního ventilu. Obtokový ventil páry umožňuje pokračovat v proudění páry při sníženém tlaku, když je regulační ventil tlaku páry v údržbě nebo nefunkční. Vstřiková voda vstupuje do vodního potrubí. Vodní síto na vstupu brání vniknutí cizích částic do vodního regulačního ventilu [24].

Návrh jednotlivých komponentů redukčně chladící stanice bude vycházet z katalogu výrobců. Na následujícím obrázku 42 je vidět názorná ukázka redukčně-chladící stanice.

Obr. 42 Schéma principu funkce redukčně-chladící stanice [23]

Ukazatel tlaku vody na vstupu udává hodnotu tlaku vstřikované vody. Regulační ventil průtoku vody reguluje množství vody vstupující do trysek v závislosti na množství páry. Oddělovací ventily na vstupu nebo výstupu vody se používají k oddělení ventilu regulace vody v případě, kdy se má provádět údržba ventilu. Obtokový ventil vody umožní pokračovat v proudění rozstřikované vody v případech, kdy je ventil regulace průtoku nefunkční nebo se nachází v údržbě. Zpětný ventil zabrání zpětnému toku páry do vodovodního potrubí, chladič poté zajistí snížení teploty páry na požadovanou výstupní teplotu za pomocí vstřikování rozprášené vody ve formě velmi jemné mlhy do proudu páry. Snímač tlaku a snímač teploty snímají výstupní tlak páry a teplotu a vydávají proporcionální signál jako výstup do regulátoru. Tento regulátor poté porovná naměřenou hodnotu s nastavenou hodnotou a vygeneruje ovládací signál, který je poté předaný pohonu regulačního ventilu páry a regulačního ventilu průtoku vody [24].

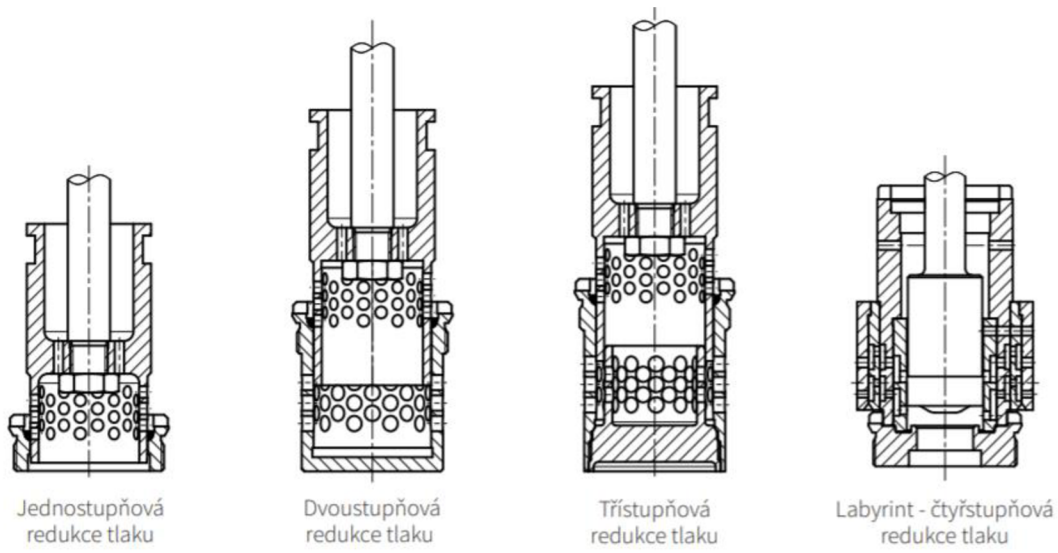
5.2.1 Návrh redukční stanice

V předchozí kapitole bylo vypočteno několik průměrů vstupu a výstupu do/z redukčně-chladící stanice pro různé rychlosti proudění. Pro návrh jednotlivých komponent navrhuji variantu rychlosti páry c=50 m/s. V následující tabulce 5.3 je přehled technických parametrů navrhované redukčně-chladící stanice [20].

Tabulka 5.3 – Technické parametry

Technické parametry					
Konstrukční řada	**RS 702 (Ex)**				
Provedení	**Regulační ventil jednosedlový, přímý, s tlakově odlehčenou kuželkou, s rozšířeným výstupem a s clonou na výstupu, se vstřikem vody do výstupního potrubí**				
Rozsah světlostí	Vstup DN 25 - 250; výstup DN 150 - 1000				
Jmenovitý tlak	Vstup PN 16 - 400; výstup PN 16 - 400 [1]				
Rozsah pracovních teplot	**400 °C**	**500 °C**	**550 °C**	**575 °C**	**600 °C**
Materiál tělesa (včetně přivařovacích konců) / materiál nástavců	1.0619 [1] / 1.0425				
		1.7357 / 1.7335			
	1.7379 / 1.7380, 1.7383				
	1.4931 / 1.4922, 1.4903				
	1.4581 [1] / 1.4571				
Materiál sedla [3]	1.4006 + návar	1.4006 + návar	1.4903 + návar		
Materiál kuželky [3]	1.4028 + kaleno	1.4006 + návar	1.4903 + návar		
Přivařovací konce PN 16 - 400	Dle ČSN 13 1075 (1991), ČSN EN 12 627 (2018)				
Příruby PN 16 - 400	Dle ČSN EN 1092-1 (2018)				
Regulační systém	Jedno až čtyřstupňová redukce tlaku Kuželka: děrovaná, tvarovaná, labyrint [4] - sedlo (sedlový koš)				
Průtočná charakteristika	Lineární, rovnoprocentní				
Netěsnost	Dle ČSN EN 1349 (2001) Třída III., provedení se zvýšenou těsností Třída IV., V.				
Ucpávka	Grafit - Live Loading				

V našem případě navrhuji materiál z nerezové oceli, svarovou variantu, lineární průtočnou charakteristiku a jednostupňovou redukci tlaku dle následujícího obrázku 43.



Obr. 43 Regulační systém [20]

V následující tabulce 5.4 [20] je rozsah hodnot průtokových součinitelů Kvs.

Tabulka 5.4 – Technické parametry

Rozsah hodnot průtokových součinitelů Kvs										
DN	**25/XXX**	**40/XXX** [6]	**50/XXX** [6]	**65/XXX** [6]	**80/XXX**	**100/XXX**	**125/XXX**	**150/XXX**	**200/XXX**	**250/XXX**
Počet stupňů redukce	Hodnoty Kvs [m³/hod] - charakteristika lineární									
1	1.6 - 8.0	2.5 - 20	2.5 - 32	6.3 - 50	8 - 80	10 - 125	12.5 - 360 [7]	12.5 - 360 [7]	25 - 500	40 - 630
2	1.25 - 8.0	2.0 - 20	2.5 - 32	5.0 - 40	8 - 80	10 - 100	12.5 - 250	12.5 - 250	25 - 500	40 - 500
Počet stupňů redukce	Hodnoty Kvs [m³/hod] - charakteristika rovnoprocentní									
1	2.0 - 6.3	6.3 - 20	6.3 - 25	6.3 - 32	16 - 50	16 - 63	25 - 125	25 - 125	32 - 250	50 - 320
2	1.6 - 4.0	5.0 - 16	5.0 - 20	5.0 - 25	16 - 40	16 - 50	25 - 80	25 - 80	32 - 160	50 - 160

V našem návrhu jednostupňové redukce navrhuji vstupní průměr d_{vstup}= 150 mm a $d_{výstup}$= 350 mm. Pro tyto hodnoty je hodnota průtokového součinitele, pro lineární charakteristiku Kvs=(12,5-360) m^3/h. Více informací k jmenovitému průtoku popisuji v kapitole 3.6.

Na obrázku 41 je ukázkový obrázek redukčně chladící stanice s okotovanými hlavními rozměry, tyto rozměry budou stanoveny na základě následující tabulky 5.5 [20]

Tabulka 5.5 – Rozměry a hmotnosti k obrázku 41

DN	PN 16 - 160						
	V_1	V_2	V_3	H	d	m (RV 701 přivařovací)	m (RV 701 přírubové)
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg]
25	72	280	160	16	M16x1,5	21	28
40	97	309		25		36	47
50	100	316		25		42	60
65	101	325		25		54	79
80	130	354		40		74	93
100	145	400		40	M20x1,5	110	144
125	205	458		63		245	311
150	205	458		63		245	311
200	254	582	210	80	M24x1,5	632	758

Tabulka je pro rozmezí tlaku (1,6 – 16) MPa a náš navrhovaný průměr je 150 mm. Hmotnost svarové konstrukce je 245 kg a rozměry jsou voleny následovně:

- V_1= 205 mm ; V_2= 458 mm
- V_3= 160 mm ; H= 63 mm
- d= M20x1,5

V následující tabulce 5.6 [20] půjde o určení stavební délky redukčně chladící stanice, jde o svarové provedení

Tabulka 5.6 – Stavební délka, svarové provedení

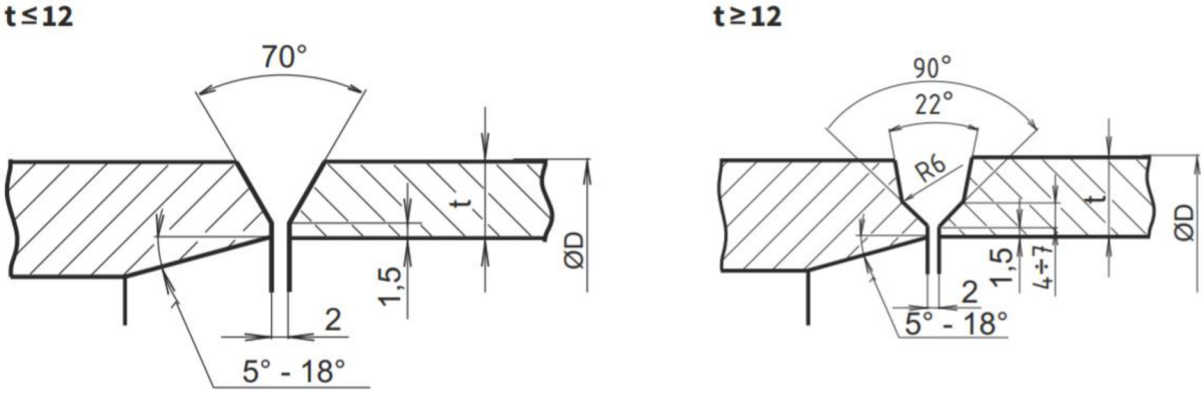
Přivařovací provedení												
Typ	PN		DN 25	40 [3]	50	65 [3]	80	100	125	150	200	250
RV 701	250 - 400	L_1 [mm]	270	384	390	508	480	580	720	720	820	990
Typ	PN		DN 25/40	40/80	50/100	65/125	80/150	100/200	125/250	150/300	200/...	250/500
RV 702	250 - 400	L_3 [mm]	360		635			880	996	1015		

V našem případě bude stavební délka L= 1015 mm. V následující tabulce 5.7 [20] jsou uvedeny připojovací rozměry svarových konců.

Tabulka 5.7 – Připojovací rozměry svarových konců

DN	PN 16 - 40 t [mm]	63 t [mm]	100 t [mm]	160 t [mm]	250 t [mm]	320 [2] t [mm]	400 [2] t [mm]	16-400 D [mm]
25	2.6	2.6	2.9	4	5	6	7.1	33.7
40	2.6	2.9	3.6	5	7	6.8	11	48.3
50	2.9	3.2	4.5	6.3	8	10	14.2	60.3
65	3.2	3.6	5	7	10	13	17.5	76.1
80	3.6	4	5.6	8	12.5	14.2	19	88.9
100	4	5	7	10	14	16	20	114.3
125	4.5	5.6	8	12.5	18	20	23	139.7
150	5	7	10	14	20	23	26	168.3
200	6.3	8	12.5	18	25	28	32	219,1

V našem případě je rozměr „t“ volen dle ČSN 13 1075 pro tlak 3,5 MPa a rozměr 150 mm, konkrétně tedy t= 5 mm. Na následujícím obrázku 44 je zbytek důležitých rozměrů.



Obr. 44 Rozměry svarového provedení [20]

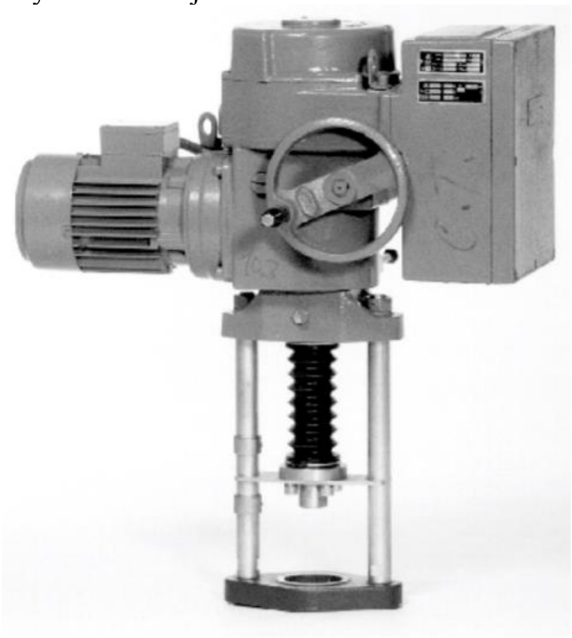
Vše se řídí normou ČSN EN 12627. Případně se dbá na konkrétní požadavky zákazníků.

Kompletní sestavení schématu tedy bude mít označení: **RS 702 EYA 4511 EX L1**

„RS“ značí typ ventilu jakožto redukční stanici, označení 702 značí regulační ventil přímý s rozšířeným výstupem. Typ ovládání bude elektrický pohon Modact MTN control, který má označení EYA. Typ připojení je svarové, a takové označení se uvádí pod číslem 4. Materiálové provedení tělesa navrhuji jako nerezovou ocel 1.4931, označuje se číslem 5. Variantu námi navrhované stanice volím bez vyvážení (číslo 1) s jednostupňovou redukcí (číslo 1) a nevýbušné provedení „EX“.

5.2.2 Návrh pohonu

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.2.1, v našem případě je volen elektrický pohon Modact MTN control typ 52 442, je zobrazený na následujícím obrázku 45.



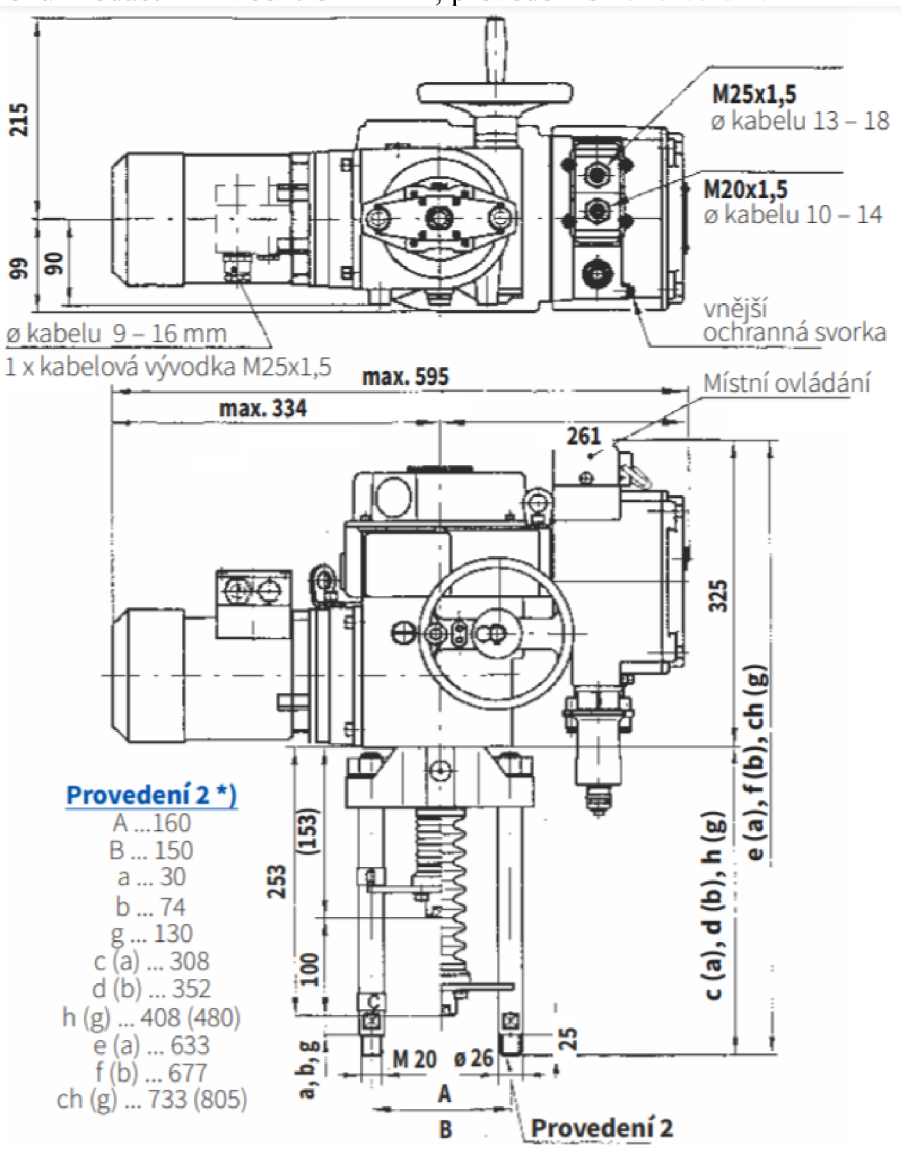
Obr. 45 Pohon Modact MTN control [20]

V následující tabulce 5.8 [20] jsou technické parametry výše zmiňovaného pohonu.

Tabulka 5.8 – Technické parametry pohonu Modact MTN control 52 442

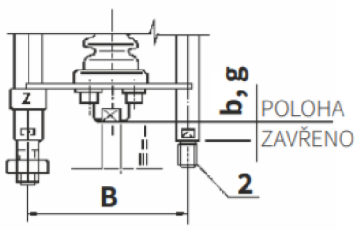
Typ	Modact MTN Control	Modact MTN	Modact MTP Control	Modact MTP
Označení v typovém čísle ventilu	EYA	EYB	EYA	EYB
Napájecí napětí	3 ~ 230 V AC / 400 V AC			
Frekvence	50 Hz			
Výkon	viz specifikační tabulka			
Řízení	3 - bodové; s regulátorem ZP2.RE5 spojité			
Jmenovitá síla	15 až 25 kN			
Zdvih	10 až 100 mm			
Krytí	IP 55		IP 67	
Maximální teplota média	daná použitou armaturou			
Přípustná teplota okolí	-25 až 70°C		-25 až 60°C	
Přípustná vlhkost okolí	10 - 100 % s kondenzací			
Hmotnost	33 kg			

Mezi základní výbavu pohonu patří dva momentové vypínače, dva polohové vypínače, dva signalizační vypínače. Jeden vysílač polohy (odporový nebo proudový), má jeden topný článek a třífázový asynchronní elektromotor. Na následujícím obrázku 46 jsou základní rozměry pohonu Modact MTN control 52 442, provedení s konektorem.



Obr. 46 Rozměry pohonu - typové provedení s konektorem [20]

Na následujícím obrázku 47 je rozpis doplňkových (připojovacích) rozměrů typového provedení čísla 52 442 tak, jak je zobrazeno na obrázku 46.



Rozteč sloupků	**B**	150
Poloha "zavřeno"	**b**	74
	g	130
Závit ve spojce	**I**	M 20x1,5
	II	M 16x1,5

Obr. 47 Rozpis doplňkových rozměrů typového provedení [20]

5.2.3 Návrh regulačního ventilu

Obdobným způsobem bude proveden návrh regulačního ventilu, pro náš případ jsem vybral jedno-sedlový regulační ventil s možností odlehčení kuželky. Na následujícím obrázku 48 je tento ventil VA2011 zobrazen.

Obr. 48 Jednosedlový regulační ventil VA2011 [24]

V následující tabulce 5.9 jsou vypsány navržené parametry regulačního ventilu VA2011

Tabulka 5.9 – Technické parametry regulačního ventilu VA2011

Jmenovitá světlost	Jmenovitá hodnota tlaku
150 mm	3,5 MPa
Konstrukce	Rozsah pracovních teplot
Jedno-sedlový ventil s možností odlehčení kuželky	-196 °C až 400 °C
Průtoková charakteristika	Průtokový koeficient Kvs
Lineární	0,01-630 m^3/h
Materiál tělesa	Materiál vnitřních dílů
Nerezová ocel GX5CrNiMo 19-11-2 (1.4408)	Nerezová ocel
Koncové připojení	Druhy pohonu
přírubové	Elektrický

5.2.4 Návrh uzavíracího ventilu

Pro náš případ navrhuji nerezový uzavírací ventil 2 cestné konstrukce, který se standartně používá v místech, kde je třeba zvýšená třída těsnosti. Konkrétně volím ventil s typovým označením VA1010 Na následujícím obrázku 49 je tento ventil zobrazen. Uzavírací ventil se používá k izolaci regulačního ventilu tlaku páry v případě, že se má provádět údržba regulačního ventilu.

Obr. 49 Uzavírací ventil VA1010 [24]

V následují tabulce 5.10 jsou vypsány navržené parametry uzavíracího ventilu VA1010.V

Tabulka 5.10 – Technické parametry uzavíracího ventilu VA1010.V

Jmenovitá světlost	Jmenovitá hodnota tlaku
150 mm	3,5 MPa
Konstrukce	Rozsah pracovních teplot
Jedno-sedlový ventil	Dle požadavků
Průtoková charakteristika	Průtokový koeficient Kvs
Uzavírací	4,3 – 739 m^3/h
Materiál tělesa	Materiál vnitřních dílů
Nerezová ocel AISI316/316L	Nerezová ocel AISI316/316L
Koncové připojení	Druhy pohonu
přírubové	Elektrický lineární

Tento ventil se standartně dělá v provedení s pneumatickým pohonem, ale možný je i elektrický a z hlediska kompaktnosti volím lineární elektrická pohon.

5.2.5 Návrh regulátoru tlaku

Regulátor porovnává naměřenou hodnotu s nastavenou hodnotou a vygeneruje ovládací signál, který je poté předaný pohonu regulačního ventilu páry a regulačního ventilu průtoku vody. Pro naši aplikaci navrhuji samočinný regulátor s typovým označením VA4001.P1. Na následujícím obrázku 50 je tento regulátor zobrazený.

Obr. 50 Regulátor tlaku VA4001.P1 [24]

V následující tabulce 5.11 jsou vypsány navrženy parametry tohoto regulátoru tlaku VA4001.P1.

Tabulka 5.11 – Technické parametry regulátoru tlaku VA4001.P1

Jmenovitá světlost	Jmenovitá hodnota tlaku
150 mm	3,5 MPa
Konstrukce	Rozsah pracovních teplot
Samočinný regulátor vstupního/výstupního tlaku p1/p2	Dle požadavků
Průtoková charakteristika	Průtokový koeficient Kvs
Proporcionální	1 – 400 m^3/h
Materiál tělesa	Rozsah nastavení
Nerezová ocel GX5CrNiMo 19-11-2 (1.4408)	10 – 1100 [kPa] / dle požadavků
Koncové připojení	Materiál vnitřních dílců
přírubové	Nerezová ocel 1.4057

5.2.6 Návrh elektrického lineárního pohonu

V našem případě půjde o elektrický lineární pohon k ovládání uzavíracího ventilu. Navrhuji lineární elektrický pohon s možností volby ovládacích signálů. Na následujícím obrázku 51 je zobrazen navržený elektrický pohon AUMA.

Obr. 51 Elektrický pohon AUMA [24]

V následující tabulce 5.12 jsou technické parametry elektrického pohonu AUMA

Tabulka 5.12 – Technické parametry elektrického pohonu AUMA

Funkce pohonu	Řídící signály
Lineární	Tří polohový
Rozsah pracovních teplot	Krytí
Dle požadavků	IP 66
Ruční ovládání	Další příslušenství
Boční ovládací kolo	redukční převodovka
Další příslušenství	Další příslušenství
Polohové vysílače, signalizační vypínače	LCD display,

5.3 Navržení kontrolních a měřících přístrojů

Dělí se hlavně na základě veličiny, kterou ukazují (měří). Pro náš případ půjde měřící přístroj k měření teploty a přístroj k měření tlaku.

5.3.1 Teploměry

Ke stanovení teploty se používá několik typů teploměrů. Kapalinové (rtuťové nebo lihové), bimetalové, které fungují na principu odlišné tepelné roztažnosti dvou kovů, nebo elektrické, které fungují na principu závislosti elektrického odporu kovového drátu na jeho teplotě [25]. Na následujícím obrázku 52 je zobrazen bimetalový teploměr.

Obr. 52 Bimetalový teploměr [27]

5.3.2 Tlakoměry

Pro účely měření tlaku se používají dva typy tlakoměrů. Kapalinové tlakoměry fungují na principu vyrovnávání měřeného tlaku tlakem vyvolaným sloupcem kapaliny. Funkce deformačních tlakoměrů je založena na deformaci pružné membrány [26]. Na následující obrázku 53 je zobrazen kapalinový a membránový tlakoměr.

Obr. 53 Vlevo kapalinový tlakoměr, vpravo membránový [25]

5.4 Tlaková čidla

Tlaková čidla umožňují napojení tlakoměrů a snímačů tlaku rozličných konstrukcí i pro nejobtížnější pracovní nasazení. Obecně mají velký tlakový rozsah (10 mbar – 1600 bar). A dokážou pracovat při vysokých teplotách od -90 °C až přes 400 °C. Dají se použít u vysoce viskózních, agresivních, korozivních, heterogenních a toxických médií.

Na následujícím obrázku 54 je zobrazeno zvolené tlakové čidlo, které se bude nacházet v systému redukčně chladící stanice před manometrem.

Obr. 54 Tlakové čidlo [32]

V následující tabulce 5.13 jsou vypsány technické specifikace tlakového čidla.

Tabulka 5.13 – Technické parametry tlakového čidla

Výrobce	Maximální provozní tlak [MPa]
Honeywell	5
Druh měření tlaku	Provedení portu
Utěsněný ukazatel	G1/4
Výstup snímače	Napájecí proud [mA]
Napětí	6,5
Jmenovité napětí [VDC]	Hmotnost [kg]
5	0,004536

6 Analýza – redukčně chladící stanice na principu vírové trubice

6.1 Model tuhého tělesa

První popisovaný případ bude model tuhého tělesa, který použiji jako porovnání pro případ potenciálního víru. V případě modelu tuhého tělesa rotuje celý objem kapaliny, rychlost narůstá lineárně se zvyšující se vzdáleností od středu rotace (víru). Jedná se o nejjednodušší popsatelný model. V praxi se s tímto modelem můžeme setkat například při dostatečně dlouhé rotaci nádoby s kapalinou [28]. Průběh rychlosti je popsán následujícím vztahem.

$$c_0(r) = \omega * r \tag{6.1}$$

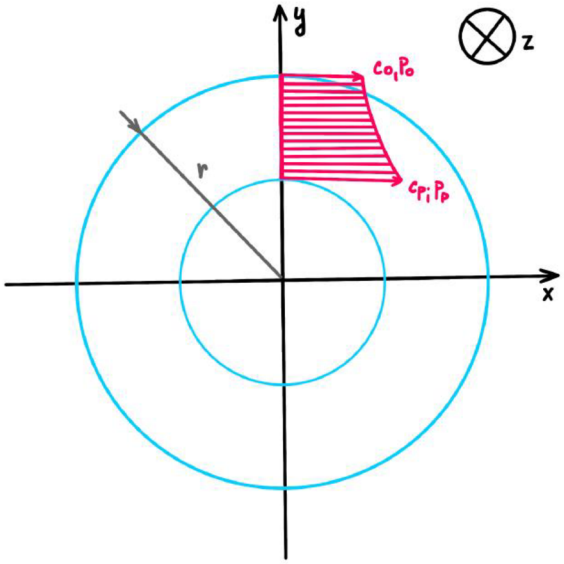
6.2 Potenciální vír

Potenciální vír má hodnotu vířivosti uzavřenou v singulárním bodu, v tomto bodu kapalina proudí potenciálně (ω=0). Singulární bod je ze soustavy vyloučen, a proto lze zbylé proudění považovat za nevířivé. Průběh rychlosti je stanoven následující rovnicí 6.2, kde r je vzdálenost od středu rotace [29].

S potenciálním vírem se v přírodě ve skutečnosti setkat nedá, nikdy totiž nenastane situace, kdy je vířivost uzavřena právě do singulárního bodu, nicméně některé reálné víry mohou za určitých podmínek fungovat (Důležité pro fungování je mít vysokou hodnotu reynoldsova čísla), respektive nahradit modelem potenciálního víru, čímž bude řešení daného problému jednodušší.

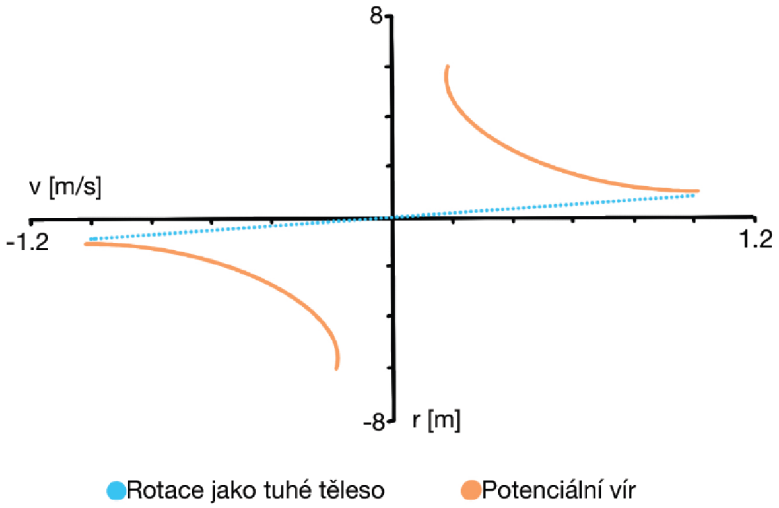
$$c_0(r) = \frac{konst.}{r} \tag{6.2}$$

Na následujícím obrázku 55 jsou zobrazeny rychlosti u teorie potenciálního víru.



Obr. 55 Průběh rychlosti

Na následujícím obrázku 56 je zobrazeno porovnání průběhu rychlostí pro model klasické rotace tuhého tělesa, a pro potenciální vír.



Obr. 56 Průběh rychlostí tuhého tělesa a potenciálního víru

V předchozí kapitole 5 byl proveden výpočet průměru na vstupu a výstupu redukčně-chladící stanice, tyto hodnoty budou použity pro následující výpočet, do vztahu 6.2. Vstupní poloměr je 0,075 m a výstupní 0,175 m.

$$v_{i=}f\left(p_{vstup};t_{vstup}\right) = 0{,}089776\ m^3/kg$$

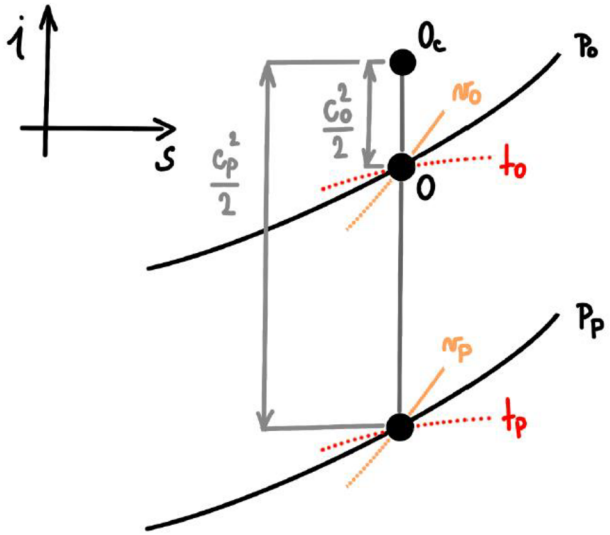
$$v_{e=}f\left(p_{výstup};t_{výstup}\right) = 0{,}35212\ m^3/kg$$

Použitím a úpravou vztahů 5.8 a 5.9 získáme plochu:

$$S_{vstup} = \frac{\pi * d_{vstup}^2}{4} = 0{,}01767\ \ m^2$$

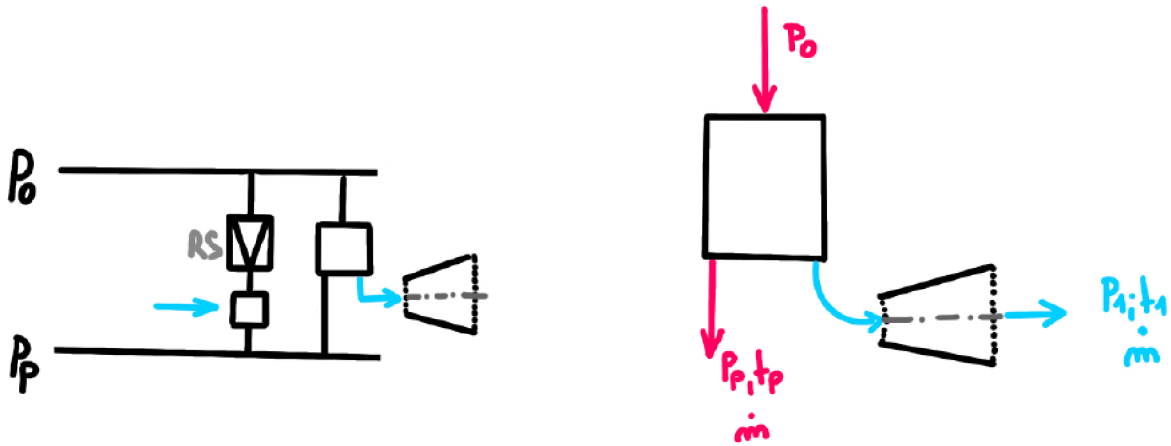
$$S_{výstup} = \frac{\pi * d_{výstup}^2}{4} = 0{,}09621\ \ m^2$$

Na následujícím obrázku 57 je děj popsán i-s diagramu, kde veličiny s indexem p značí požadované hodnoty, respektive hodnoty na výstupu s redukčně chladící stanice a veličiny s indexem o označují hodnoty na vstupu do parovodu. Ve výpočtu půjde o určení velikosti požadované rychlosti „c_p“ a následně vypočtení konstanty ze vztahu 6.2



Obr. 57 Popis děje i-s diagramu

Na následujícím obrázku 58 je děj zobrazen schematicky, kde vlevo je zobrazena redukčně-chladící stanice a vpravo redukčně-chladící stanice na principu vírové trubice, na kterou je zobrazen ještě detail.



Obr. 58 Schematické zobrazení pro výpočet

K výpočtu rychlosti se vyjde z následujícího vztahu 6.3 pro výpočet kinetické energie z vstupních a výstupních entalpií:

$$\frac{c^2}{2} = i_{vstup} - i_{výstup} \tag{6.3}$$

Vycházíme z výpočtu určení entalpií v kapitole 5, kde výstupní entalpie značí právě požadované veličiny a vstupní ty do parovodu (obrázek 56).

$$c = \sqrt{2 * (3303 * 10^3 - 2850 * 10^3)} = 951{,}84\ m/s$$

Vlivem potenciálního víru dojde také k poklesu této nadkritické rychlosti, proto pro výpočet použiji více variant, kde vypočtenou rychlost navýším o určitý počet procent. V následující tabulce 6.1 jsou vypsány právě tyto varianty rychlosti:

Tabulka 6.1 – Navýšené rychlosti

Navýšení o x %	*Rychlost proudění c [m/s]*
5	999,432
10	1047,43
15	1094,62
20	1142,20
25	1189,82

Abychom určili konstantu, bude třeba zavést okrajové podmínky, a to budou právě tyto hodnoty na vstupu a na výstupu, poloměr r by se dal nejprve určit odhadem a následně přepočítávat, nicméně pro lepší porovnání bude zvolen r = 0,075 m, což je navrhovaný poloměr v kapitole 5 pro standartní redukčně-chladící stanici. Po dosazení do vztahu 6.3 nám vyjde potřebná rychlost na vstupu 951,84 m/s. Navýšené rychlosti jsou poté uvedeny v tabulce 5.14. Dosazením do vztahu 6.2 získáme konstantu 71,39. V následující tabulce 6.2 jsou vypočtené konstanty pro navýšené rychlosti.

Tabulka 6.2 – Hodnoty konstant pro různé varianty rychlosti

Rychlost proudění c [m/s]	Konstanta
999,432	74,96
1047,43	78,56
1094,62	82,10
1142,20	85,67
1189,82	89,24

V našem případě je však nutno počítat se střední rychlostí, protože vypočtená rychlost na poloměru poklesne a skutečná odebíraná rychlost bude nižší, proto bylo provedeno navýšení. Polohu skutečně odebírané rychlosti je třeba zjistit pomocí integrace vztahu (6.2):

$$c(r) = \frac{konst.}{r}$$

Je třeba počítat se střední rychlostí, proto bude tvar vypadat následovně:

$$c_{st}(r_2 - r_1) = konst \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr$$

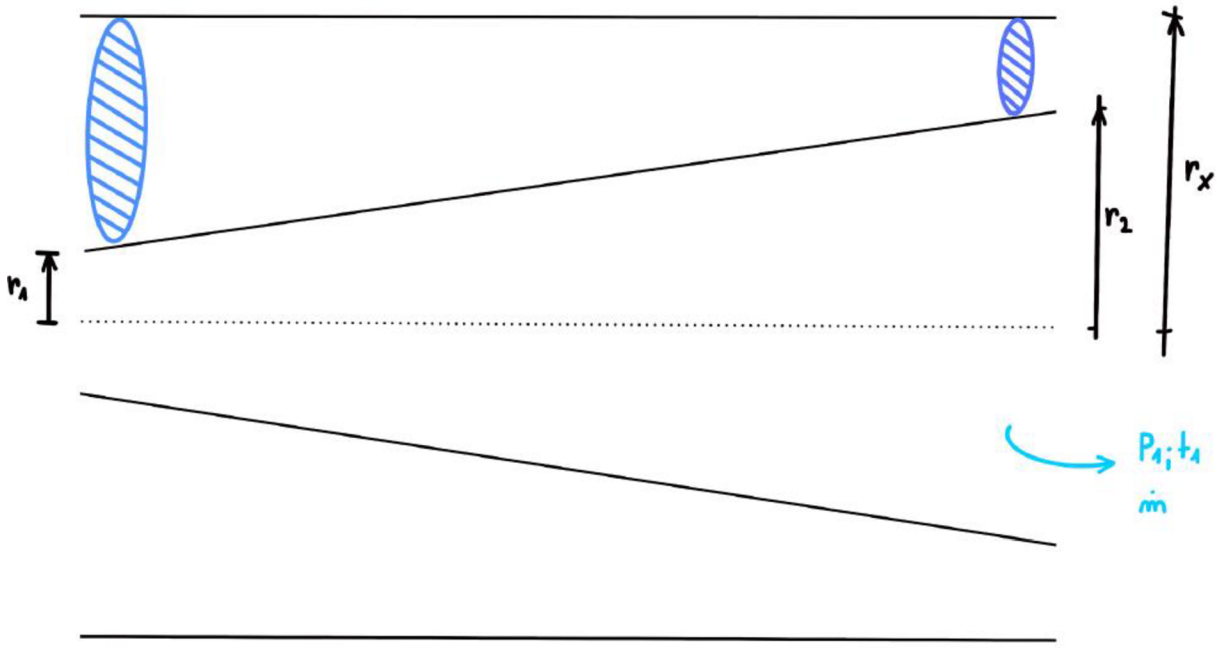
$$c_{st}(r_2 - r_1) = konst[\ln(r_2) - \ln(r_1)]$$

$$c_{st} * r_2 - c_{st} * r_1 = konst * \ln(r_2) - konst * \ln(r_1)$$

$$c_{st} * r_2 - konst * \ln(r_2) = c_{st} * r_1 - konst * \ln(r_1)$$

Z tohoto vztahu je třeba vypočíst r_2, protože se nejedná úplně jednoduchou úpravu, vztah byl pro účely práce vyřešen numericky. Při zvolené velikosti jádra (r_1) 25 mm dostaneme výsledek r_2 = 54.49 mm. Pro náš výpočet to znamená, že u jádra bude navýšená rychlost o 20 % tedy 1142 m/s a ve vzdálenosti, poloměru, 54.49 mm bude právě rychlost požadovaná k odběru tedy 951.84 m/s

Pro náš případ by byla redukovaná pára odsáta středem, kde požadovaný odběr (13 kg/s) by byl právě ve středu a zbytek odběru by musel být proveden ve zbývajícím prostoru vírové trubice, střední teplota odpovídá střední rychlosti c_{st} a odpovídá hodnotě 200 °C. Celkové množství páry je velmi složité stanovit výpočtem. Po domluvě s vedoucím diplomové práce se došlo k závěru, že by bylo by třeba užití experimentálních metod nad hranice náročnosti této diplomové práce. Ovšem očekávání množství páry je více než 10x větší než u standartního typu redukčně-chladící stanice, přičemž nelze zaručit potenciální vír.
Z principu vírové trubice lze tento případ redukční stanice využít jen na chlazení a redukce by nebyla možná právě kvůli nestabilitě potenciálního víru. Na následujícím obrázku 59 je schematicky zobrazen odběr ze zařízení fungujícího na principu vírové trubice.



Obr. 59 Schematické zobrazení odběru z vírové trubice

Sběračem je rozšiřující se kužel, přičemž poloměr r_1 je navolen stejně jako ve výpočtu polohy střední rychlosti a poloměr r_2 je právě vypočtena poloha střední rychlost. Ve sběrači dochází k odebrání požadovaného množství páry difuzí, zbytek by byl odveden v odpadu. Poloměr r_x je závislý na celkovém odebraném množství páry. Jak již bylo zmíněno, tato hodnota se dá velmi těžko výpočtem stanovit (bylo by zapotřebí experimentu), je to i z toho důvodu, že potenciální vír zbavujeme hmoty, ovšem energie zůstává, proto tento poloměr nelze v rámci této práce stanovit. Existují i jiná schémata odběru redukované páry (viz kapitoly o vírových trubicích). Obecně je ale třeba očekávat vyšší spotřebu páry a nižší účinnost.

7 Závěr

Cílem práce bylo popsat problematiku redukčně-chladící stanice, vírové trubice, okomentovat její současné využití a následně navrhnout klasickou redukčně chladící stanici jako první případ. V druhé praktické části šlo o analýzu respektive porovnání redukčně chladící stanice fungující na principu vírové trubice s klasickým řešením.

V první praktické části byly navrhnuty jednotlivé komponenty redukčně-chladící stanice dle zadaných parametrů páry na vstupu a na výstupu. V prvé řadě byla provedena tepelná bilance, ze které vychází množství páry na vstupu 10,77 kg/s a množství chladící vody 2,24 kg/s. Dále byl určen průměr na vstupu a výstupu při zvolené rychlosti proudění páry, která byla zvolena pro náš případ 50 m/s. Vstupní průměr nabývá hodnoty 150 mm, výstupní 350 mm. Na základě zadaných vstupů a vypočtených průměrů byly navržený jednotlivé komponenty redukčně-chladící stanice dle katalogů výrobců. Konkrétně se jedná o samotnou redukční-stanici, kde navrhovaná stavební délka bude 1015 mm. Dále byl proveden návrh elektrického pohonu, regulačního ventilu, uzavíracího ventilu, regulátoru tlaku, elektrického lineárního pohonu pro ovládání uzavíracího ventilu, teploměru, tlakoměru a tlakového čidla. Ke každé příslušné komponentně je v práci uvedena tabulka navrhovaných technických parametrů.

V druhé praktické části šlo o analýzu využitelnosti redukčně-chladící stanice fungující na principu potenciálního víru, v úvodu je popsán rozdíl mezi modelem tuhého tělesa a potenciálním vírem. Základem analýzy je právě teorie potenciálního víru. Nejprve byla vypočtena rychlost, nabývá hodnoty 951 m/s. Nicméně dle přiložených schémat rozložení rychlostí u potenciálního víru je jasné, že rozložení rychlostí není rovnoměrné, proto byla její hodnota pro případy naší práce u jádra navýšena o 20 % a má tedy hodnotu 1142 m/s. Následnou integrací střední rychlosti byla zjištěna poloha požadované odebírané rychlosti, konkrétně v poloměru 54,5 mm.

Pro náš případ by byla redukovaná pára odsáta středem, kde je požadovaný odběr 13 kg/s. Tento odběr by se nacházel ve středu potenciálního víru a zbytek by musel být odveden ve zbývajícím prostoru vírové trubice, střední teplota by odpovídala velikosti střední rychlosti, a konkrétně nabývá hodnoty 200 °C. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce byl vyveden závěr, že celkové množství páry je pro tento případ velmi složité stanovit výpočetně, bylo by třeba použití experimentálních metod. Předpoklad na množství páry je více než 10 x vyšší než u standartního typu redukčně-chladící stanice, přičemž v tomto případě nelze zaručit stabilitu potenciálního víru. Z principu vírové trubice lze tento případ redukční stanice využít jen na chlazení, nikoliv na redukci.

Sběračem by byl v našem případě rozšiřující se kužel. Ve sběrači by docházelo k odběru požadovaného množství páry a zbytek by byl odveden v odpadu, právě poloměr této části je výpočtem velmi složité stanovit, protože je závislí na celkovém množství odebrané páry a jak již bylo zmíněno, tato hodnota by se musela určit experimentem. Tento problém vzniká i z toho důvodu, že potenciální vír chceme zbavit hmoty, ovšem energii chceme zachovat.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] ŠKORPÍK, Jiří. Škrcení plynů a par, Transformační technologie, 2006-01, Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z https://www.transformacni-technologie.cz/37.html.

[2] EXNER, H. Základy hydraulických systémů a základní hydraulické komponenty. 3. vyd. G.L. Rexroth GmbH, 200

[3] PEŇÁZ, Václav a Dušan BENŽA. Tekutinové mechanismy. Brno: VUT Brno, 1990. ISBN 80-214-0082-X.

[4] LDM Valves. Regulační a uzavírací ventily. [Online] 2016. http://www.ldmvalves.com/cz/vyrobky/regulacni-a-uzaviraci-ventily.html

[5] Bašta, Jiří. Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha : ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9.

[6] ROČEK, Jaroslav. Průmyslové armatury. Praha : Informatorium,2002. 80-7333-000-8

[7] APD, s.r.o. Armatury a potrubní díly. [Online] http://www.arpod.cz/armatury-potrubni-dily.php.

[8] Armatury TOPAS s.r.o. Ventily uzavírací. [Online] https://www.armatury-topas.cz/ventily-uzaviraci.

[9] GIACOMINI CZECH, s.r.o. Armatury pro vodovod. www.tzb-info.cz. [Online] http://voda.tzb-info.cz/armatury-pro-vodovod/12248-tece-vamkulovy-kohout-poradime-vam-jak-vybrat-lepsi.

[10] Bc. Lukáš Klus Armatury v otopných soustavách. Brno, 2017. 233 s., 7 příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Marcela Počinková, Ph.D

[11] FEBE armatury s.r.o. Klapky. [Online] 30. 12 2017. http://www.febearmatury.cz/cs/sortiment/klapky

[12] Hawle Armatury s.r.o. Uzavírací a zpětné klapky. [Online] http://www.hawle.cz/cz/kategorie/voda/uzaviraci-a-zpetne-klapky/

[13] HYDRONIC SYSTEMS s.r.o. Regulátor tlakové diference STAP. [Online] http://www.hydronic.cz/rubriky/prehled-produktu/regulatory-tlakovediference/regulator-tlakove-diference-stap/

[14] GAO, Chengming. 2005. Experimental study on the Ranque-Hilsch vortex tube. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. ISBN 90-386-2361-5. Disertační práce. Technische Universiteit Eindhoven

[15] CHÝLEK, R. Vírová trubice. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 86 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D

[16] LEACHMAN, Jacob W. Kinetic orthohydrogen-parahydrogen separation to enable small-modular hydrogen liquefaction [online]. Pullman, Washington: Washington State University, 2015, Dostupné z: https://hydrogen.wsu.edu/wp-content/uploads/sites/44/2014/08/1002-2086_Washington_State_University_Concept_Paper.pdf

[17] Přehled modelů vírových trubic: Aplikace vírových trubic. LONTECH - surface treatment [online]. Dostupné z: https://www.lontech.cz/files/virove_trubice/prehled_modelu_virovych_trubic.pdf

[18] TUNKEL, Lev a John COFFMAN. Vortex Pilot Gas Heater Design Needs No External Energy Source. Pipeline & Gas Journal [online]. 2007, 234(11), 65-66 ISSN 00320188. Dostupné z: http://connection.ebscohost.com/c/articles/27738720/vortex-pilot-gas-heaterdesignneeds-no-external-energy-source

[19] VPGH-Field Installations. Use Vortex Tubes For Fuel-Free Thermal Energy Heating, Cooling |UVI [online].Princeton (USA) Universal Vortex Inc., c2000-2016 Dostupné z: http://www.universalvortex.com/PilotGasHeater/VPGHDPFieldInstallations/tabid/99/De fault.aspx

[20] Dostupné [online] z: https://www.ldmvalves.com/images/stories/katalog/02012CZ.pdf

[21] SCHMITT, Arno. *Příručka hydrauliky*. G.L. Rexroth GmbH, 1991.

[22] FAZEL BAKHSHESHI, Mohammad, Yong WANG, Lynn KEENLISIDE a Ting-Yim LEE. A new approach to selective brain cooling by a Ranque-Hilsch vortex tube. DOI: 10.1186/s40635-016-0102-5. ISBN 10.1186/s40635-016-0102-5. Dostupné z: http://icm-experimental.springeropen.com/articles/10.1186/s40635-016-0102-5

[23] Dostupné [online] z: https://www.valvea.cz/wpcontent/uploads/2021/10/render_valvea_rchs_1_leva.png

[24] Dostupné [online] z: https://www.valvea.cz/princip-fungovani-stanice-rchs/

[25] SŠ COPT. Investice do rozvoje vzdělání. ARMATURY. [Online] https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=27471&revision=-1&instance=2.

[26] E-AUTOMATIZACE. Měření tlaku. [Online] http://www.eautomatizace.cz/ebooks/mmv/tlak/tlak_tlakomery_kapalinove.htm

[27] Dostupné z [online]: https://www.obchod-vtp.cz/teplomer-d100-s-mosaznou-jimkou-75mm-zadni-0-120-c-bimetalovy?gclid=EAIaIQobChMI47SUgcP89QIVeoxoCR2tjQakEAQYCCABEgJkBfD_BwE

[28] MATLÁK, J. *Přisávání plynů do proudící kapaliny.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2014. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Tomáš Svěrák, CSc.

[29] JÍZDNÝ, M. *Vlastní tvary vírového proudění.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 79s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Rudolf, Ph.D.

[30] TAKAHAMA, Heishichiro. Studies on Vortex Tubes: (1) Experiments on Efficiency of Energy Separation. Bulletin of JSME [online], roč. 8, č. 31, s. 433-440 DOI: 10.1299/jsme1958.8.433. Dostupné z: databáze J-STAGE

[31] IM, S.Y. a S.S. YU. 2012. Effects of geometric parameters on the separated air flow temperature of a vortex tube for design optimization. Energy [online]. 37(1): 154-160. DOI: 10.1016/j.energy.2011.09.008. Dostupné z: databáze Sciencedirect

[32] Dostupné z: https://cz.farnell.com/honeywell/mipag1xx050bsaax/pressure-transducer-seal-gauge/dp/3364910?gclid=Cj0KCQiAmpyRBhC-ARIsABs2EAoXZINM9eJgV2SJU7u9bEZIGznvesvx6Ps_dzj0Fh5dibvU4OmD1VEaAlqgEALw_wcB&mckv=sIJKGRV7s_dc|pcrid|490629366892|plid||kword||match||slid||product|3364910|pgrid|109044214738|ptaid|pla-302727223101|&CMP=KNC-GCZ-SHOPPING-Whoop-HI-31-Aug-20&gross_price=true

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
s	Entropie	J/K
Q	Teplo	J
T	Termodynamická teplota	K
t	Čas	s
i	entalpie	kJ/Kg
M	Množství páry/vody v oběhu	kg/s
v	Měrný objem	m^3/kg
k_{vs}	Průtokový součinitel	m^3/h
V	Průtok armaturou	m^3/h
Δp_v	Tlaková ztráta armatury	Pa
ρ	Hustota teplonosné látky při provozní teplotě	kg/m^3
ρ_o	Hustota vody při 15 °C	kg/m^3
Pv	autorita ventilu	-
Δp_{v100}	tlaková ztráta při plně otevřeném ventilu	Pa
Δp_{v0}	tlaková ztráta při plně uzavřeném ventilu	Pa
p	Tlak páry/vody	Pa
S	Průřezová plocha	m^2
d	Vnitřní průměr	m
c_p	Požadovaná rychlost	m/s
c_{st}	Střední rychlost	m/s
r_x	Poloha střední rychlosti	m

7.1 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma redukčně chladící stanice a i-s diagram popisující děje[1] 12
Obr. 2 Charakteristiky průtočného průřezu [2] 13
Obr. 3 Škrtící ventil bez závislosti na viskozitě [2] 13
Obr. 4 Schematická značka škrtícího ventilu (inspirováno [2]) 14
Obr. 5 Škrtící ventil se stabilizací (inspirováno [2]) 14
Obr. 6 Schéma škrtícího ventilu se stabilizací (inspirováno [21]) 14
Obr. 7 Přímo řízený ventil na omezení tlaku (inspirováno [3]) 15
Obr. 8 Schéma jednostupňového ventilu - přímo řízený (inspirováno [21]) 15
Obr. 9 Jednostupňový ventil (inspirováno [3]) 16
Obr. 10 Zapojení pojistného ventilu (inspirováno [2]) 16
Obr. 11 Dvoustupňový nepřímo řízený ventil [3]. 17
Obr. 12 Schematická značka nepřímo řízeného pojišťovacího ventilu 18
Obr. 13 Redukční ventil (inspirováno [2]) 18
Obr. 14 Přímo řízený jednostupňový redukční ventil [3]. 19
Obr. 15 Schéma redukčního ventilu (inspirováno [21]) 19
Obr. 16 Tlakový redukční ventil, dvoustupňový [3,21] 20
Obr. 17 a) Redukční stanice; b) Přepouštěcí ventil (inspirováno [1]) 20
Obr. 18 Vlevo uzavírací ventil přímý; vpravo membránový ventil uzavírací [7,8] 22
Obr. 19 Vpravo ventil křížový; vlevo ventil střídavý [6] 22
Obr. 20 Vlevo šoupátko s nestoupacím vřetenem; vpravo se stoupacím [6] 23
Obr. 21 Řez kulovým kohoutem [9]. 24
Obr. 22 Vlevo centrická klapka menších dimenzí; vpravo větších dimenzí [11] 25
Obr. 23 Schéma excentrické klapky [6] 26
Obr. 24 Dvojitě excentrická klapka [12] 26
Obr. 25 Regulátor objemového průtoku [11] 28
Obr. 26 Trojcestný regulační ventil směšovací vlevo, rozdělovací vpravo [11] 29
Obr. 27 Schéma regulace teploty přiváděné vody [13] 30
Obr. 28 Topná křivka [13] 30
Obr. 29 Škrtící křivka topného tělesa [13] 31
Obr. 30 Škrcení plynu pomocí clony (inspirováno [1]) 32
Obr. 31 Schéma divergentní trubice (inspirováno [14]) 33
Obr. 32 Schéma protiproudé trubice (inspirováno [15]) 33
Obr. 33 Schéma souproudé trubice (inspirováno [15]) 34
Obr. 34 Schéma Ranque-Hilshovy vírové trubice (inspirováno [16]) 35
Obr. 35 Aplikace vírové trubice na chlazení nástroje [17] 36
Obr. 36 Aplikace vírové trubice při chlazení rozvaděčové skříně [17] 37
Obr. 37 Vírová trubice pro ohřev zemního plynu 38
Obr. 38 VPGH připojena na regulační smyčku redukční stanice [19] 38
Obr. 39 Schéma zapojení RHVT při použití metody SBC [22] 39
Obr. 40 Schéma redukční a chladící stanice (a) a kombinované redukční stanice (b) .. 40
Obr. 41 Redukční stanice z katalogu výrobců-svarové provedení [20] 43
Obr. 42 Schéma principu funkce redukčně-chladící stanice [23] 44
Obr. 43 Regulační systém [20] 45
Obr. 44 Rozměry svarového provedení [20] 47
Obr. 45 Pohon Modact MTN control [20] 48
Obr. 46 Rozměry pohonu - typové provedení s konektorem [20] 49
Obr. 47 Rozpis doplňkových rozměrů typového provedení [20] 49

Obr. 48 Jednosedlový regulační ventil VA2011 [24] 50
Obr. 49 Uzavírací ventil VA1010 [24] 51
Obr. 50 Regulátor tlaku VA4001.P1 [24] 52
Obr. 51 Elektrický pohon AUMA [24] 53
Obr. 52 Bimetalový teploměr [27] 54
Obr. 53 Vlevo kapalinový tlakoměr, vpravo membránový [25] 54
Obr. 54 Tlakové čidlo [32] 55
Obr. 55 Průběh rychlosti 56
Obr. 56 Průběh rychlostí tuhého tělesa a potenciálního víru 57
Obr. 57 Popis děje i-s diagramu 58
Obr. 58 Schematické zobrazení pro výpočet 58
Obr. 59 Schematické zobrazení odběru z vírové trubice 60

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5.1 – Průměry redukčně chladící stanice – výstup 42
Tabulka 5.2 – Průměry redukčně chladící stanice – vstup 43
Tabulka 5.3 – Technické parametry 45
Tabulka 5.4 – Technické parametry 46
Tabulka 5.5 – Rozměry a hmotnosti k obrázku 41 46
Tabulka 5.6 – Stavební délka, svarové provedení 47
Tabulka 5.7 – Připojovací rozměry svarových konců 47
Tabulka 5.8 – Technické parametry pohonu Modact MTN control 52 442 48
Tabulka 5.9 – Technické parametry regulačního ventilu VA2011 50
Tabulka 5.10 – Technické parametry uzavíracího ventilu VA1010.V 51
Tabulka 5.11 – Technické parametry regulátoru tlaku VA4001.P1 52
Tabulka 5.12 – Technické parametry elektrického pohonu AUMA 53
Tabulka 5.13 – Technické parametry tlakového čidla 55
Tabulka 6.1 – Navýšené rychlosti 59
Tabulka 6.2 – Hodnoty konstant pro různé varianty rychlosti 59