

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

HYDRAULICKÉ VLASTNOSTI PRVKŮ VZDUCHOTECHNIKY
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TOMSA VÍT

10 – BS - 2015

Anotace

Tématem této práce je měření hydraulických vlastností vzduchotechnických klapek kruhového průřezu a sérii dvou klapek. V úvodní části práce jsou popsány jednotlivé měřené klapky, které byly použity k vyhodnocení tlakových a rychlostních parametrů. Výsledky měření pro jednotlivé klapky a sérii klapek jsou graficky zobrazeny v bezrozměrném měřítku. Závěrečná část práce je věnována sériovému zapojení dvou klapek za účelem zlepšení regulační charakteristiky.

Klíčová slova: hydraulické vlastnosti, klapky, série klapek, tlakové parametry, bezrozměrné měřítko, regulační charakteristika.

Annotation

The theme of this work is to measure the hydraulic properties of air flaps circular cross section and a series of two flaps. In the first part describes the individual measured flaps that were used to evaluate pressure and velocity parameters. The measurement results for each series of valves and dampers are graphically displayed in dimensionless measure. The final part is dedicated serial connection of two valves to improve the control characteristics.

Key words: hydraulic properties, dampers, series of dampers, pressure parameters, dimensionless measure, control characteristics

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Hydraulické vlastnosti prvků vzduchotechniky“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Kučery, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 19.6.2015

Jméno Příjmení

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Přehled použitých symbolů a označení..... | 7 |
| 1. Úvod..... | 9 |
| 1.1 Cíle práce | 10 |
| 1.2 Regulační klapky ve vzduchotechnice..... | 10 |
| 1.3 Současný stav problematiky..... | 12 |
| 1.4 Postup řešení bakalářské práce..... | 12 |
| 1.5 Popis změřených regulačních listů..... | 13 |
| 2. Experimentální trať pro měření tlakových ztrát..... | 15 |
| 3. Stanovení parametrů ovlivňující proudění vzduchu v potrubí..... | 17 |
| 3.1 Postup měření sledovaných veličin..... | 17 |
| 3.2 Popis sondáže rychlostního profilu..... | 18 |
| 3.3 Vyhodnocení střední rychlosti vzduchu..... | 20 |
| 3.4 Postup výpočtu tlakových parametrů zohledňující klapku..... | 23 |
| 4. Měření hydraulických vlastností vybraných klapek a jejich vzájemných kombinací..... | 27 |
| 4.1 Grafické znázornění naměřených klapek..... | 27 |
| 4.2 Vyhodnocení soustavy klapek v bezrozměrném měřítku..... | 31 |
| 4.3 Porovnání výsledků tlakových měření a diskuze..... | 35 |
| 5. Měření zvolených kombinací pro vylepšení hydraulických vlastností soustavy..... | 36 |
| 5.1 Postup měření vybraných soustav klapek při nastavení klapky B...36 | |
| 5.2 Vyhodnocení zjištěných dat soustav regulačních klapek..... | 38 |
| 6. Závěr..... | 42 |
| Seznam použité literatury..... | 43 |
| Seznam příloh..... | 44 |

Přehled použitých symbolů a označení

| | | |
|---------------------|-----------|---|
| $K_{M1, \dots, 4}$ | $[-]$ | konstanty mikromanometrů |
| R | $[m]$ | vnitřní poloměr potrubí |
| Re | $[-]$ | Reynoldsovo číslo |
| T | $[K]$ | termodynamická teplota |
| V | $[m^3/h]$ | objemový průtok vzduchu |
| d | $[mm]$ | vnitřní průměr potrubí |
| g | $[m/s^2]$ | tíhové zrychlení |
| k_k | $[m^3/h]$ | jmenovitý průtok vzduchu při zvoleném natočení θ klapky |
| k_{k100} | $[m^3/h]$ | jmenovitý průtok vzduchu při plném otevření θ_{100} klapky |
| i | $[-]$ | číslo daného mezikruží |
| l_{12} | $[m]$ | vzdálenost odběrných míst statických tlaků |
| $l_{1, \dots, 4}$ | $[mm]$ | výchylky mikromanometru M1 až M4 |
| $l_{01, \dots, 04}$ | $[mm]$ | nulové výchylky na mikromanometrech M1 až M4 |
| n | $[-]$ | počet mezikruží |
| n' | $[-]$ | počet rychlostí pro jednotlivé rozsahy |
| p_b | $[Pa]$ | barometrický tlak |
| p_c | $[Pa]$ | celkový tlak |
| p_d | $[Pa]$ | dynamický tlak |
| p_s | $[Pa]$ | statický tlak |
| p_{stK} | $[Pa]$ | statický podtlak v místě uložení klapky |
| p_{stP} | $[Pa]$ | statický podtlak v místě Prandtlovy sondy |

| | | |
|----------------------|----------------------|---|
| p_v | [Pa] | parciální tlak vodních par |
| Δp_z | [Pa] | tlaková ztráta dána rozdílem statických tlaků před a za klapkou |
| Δp_{zt} | [Pa] | tlaková ztráta třením |
| r_a | [J/kgK] | plynová konstanta vzduchu |
| r_i | [m] | poloměr polohy sondy při měření |
| t_a | [°C] | teplota okolního vzduchu |
| t_i | [°C] | teplota vzduchu v potrubí |
| t_m | [°C] | teplota mokrého teploměru |
| t_s | [°C] | teplota suchého teploměru |
| \bar{w} | [m/s] | střední rychlost vzduchu |
| w_i | [m/s] | rychlost proudění vzduchu v poloměru r_i |
| w_s | [m/s] | rychlost v ose potrubí |
| θ | [°] | úhel natočení listu ve zvolené poloze |
| θ_{100} | [°] | úhel natočení listu při plném otevření |
| λ | [-] | součinitel tření |
| ν | [m ² /s] | kinematická viskozita vzduchu. |
| ζ | [-] | součinitel místních tlakové ztráty |
| ζ_{100} | [-] | součinitel místní tlakové ztráty při plném otevření |
| ρ_K | [kg/m ³] | hustota vzduchu v místě klapky |
| ρ_{lihu} | [kg/m ³] | hustota lihu |
| ρ_P | [kg/m ³] | hustota vzduchu v místě Prandtlovy sondy |

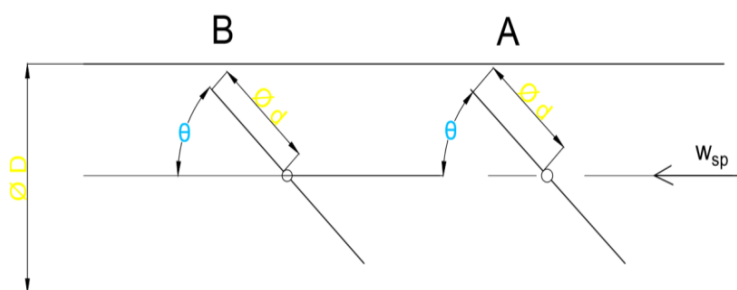
1. Úvod

Tématem bakalářské práce je měření hydraulických vlastností prvků vzduchotechniky a to zejména kruhové klapky. Jednotlivé typy se liší konstrukčním řešením regulačního listu. Každá z těchto klapek prokazuje jiné hydraulické vlastnosti, a proto bylo hlavním úkolem proměřit jejich kombinace a vyhodnocení zvolené kombinace v bezrozměrném měřítku. Měření bylo realizováno na vzduchotechnické trati umístěné v laboratoři Ústavu techniky prostředí, která splňuje veškeré požadavky k měření a vyhodnocení důležitých parametrů. Celkově byly proměřeny 4 druhy klapek, které budou detailněji popsány v následující kapitole. V další části bakalářské práce je porovnání dat naměřených v předchozích letech a návaznost na problematiku regulace, tedy správného natáčení klapek, které by měli vést k linearizaci průtočných charakteristik a vhodnou volbou sériových zapojení při definovaném natáčení. Hlavním úkolem lineární průtočné charakteristiky je to, že při stejné změně natočení regulačního listu způsobí vždy stejnou změnu průtoku bez ohledu na to, jaký je průtok nastaven. Díky těmto charakteristikám získaných z měření a následným zobrazení v bezrozměrném měřítku, si můžeme vybrat oblasti vhodné regulace a nastavit tak servo-motorické ovládání, popř. mechanické na požadované hodnoty. Kvalita regulačního pochodu je odezvou pro dodržení tlakových podmínek, ale také souvisí s akustickým výkonem vytvářejícím se při obtékání různě upravených regulačních listů. V poslední části bakalářské práce budou znázorněny výsledky naměřených dat a diskuze o tom, zda bude vhodné proměřit jiná nastavení pro identické kombinace klapek. V důsledku propojení těchto získaných informací se data mohou využít pro vhodné zapojení kruhových klapek a eliminovat tím např. hlučnost, která je problematikou řešenou v dalších pracích. Není zde tedy řešena, protože spojit tyto dvě odvětví do jedné práce by přesahoval rámeček tohoto zadání.

1.1 Cíle práce

Cílem práce je proměřit předem zvolené kombinace klapek A a B (obr. 1-1), pro definované úhly natočení Θ [°]. Kde klapka A je umístěna v proudu vzduchu jako první. Druhá klapka je značená jako B. Dále pak sérii klapek ve snaze nalézt lineární regulační charakteristiku. Jestliže by se povedlo nelézt vhodné kombinace, dali by se použít pro následující měření vztažená na hlučnost klapek ve vzduchotechnické trati. Tato práce navazuje na práci v lit [1],[4] a hlavním cílem bude rozšířit naměřené data určující lineární regulační charakteristiky.

Posledním úkolem práce je nalezení vhodné kombinace klapek, které budou schopny při jiném natočení o jiném regulačním listu napodobit stejné výsledky.



Obr. 1-1 Schéma dvou kruhových klapek zapojených do série

1.2 Regulační klapky ve vzduchotechnice

Hlavním úkolem vzduchotechnické klapky je regulace žádaného množství vzduchu ve vzduchotechnické síti, nebo škrcení proudu vzduchu, ale také i úplné zamezení proudu vzduchu při aktuální situaci. Vzduchotechnické klapky jsou instalovány do kruhového potrubí, nebo čtyřhranného potrubí. V kruhovém potrubí jsou převážně jednodílné ve čtyřhranném jsou jednodílné či vícedílné. Tlakovou ztrátu v potrubí můžeme regulovat vhodnou volbou vzduchotechnické klapky a správném natočení regulačního listu. Existuje řada klapek a poměrně velká rozmanitost konstrukčních provedení. Zpětná klapka o velikosti potrubí je osazena plným listem, který lze zcela uzavřít a tedy

zabránit proudění vzduchu a většinou se používá u odsávacích zařízení. Regulační klapka je osazena listem zmenšeným o průtočnou plochu, která reguluje průtok vzduchu v určitém rozsahu. Zvláštním případem je klapka s regulačním listem, který je perforovaný a rovnoměrně rozděluje proud vzduchu do dílčích otvorů v regulačním listu. Perforované listy jsou vhodnou volbou, jestliže je podmínkou snížit hladinu akustického výkonu a to je způsobeno rozdělením proudu vzduchu do většího počtu otvorů při různých velikostech. V mnoha případech se instaluje jako regulační člen průtoku vzduchu ve vířivém anemostatu, kdy vyžadujeme rovnoměrnou distribuci vzduchu do místnosti s minimální absencí tlakových ztrát. Na obr. 1-2 jsou příklady několika řečených klapek



Obr. 1-2 Perforovaná klapka, regulační klapka a zpětná klapka (zdroj: AKLIMA, Klimat)

1.3 Současný stav problematiky

Během experimentálního měření byly využívány výpočtové vztahy z literatury [1], ale také literatury [2] přesto, že se autor zabývá v první části práce především problematikou akustického výkonu vyvozeného obtékáním vřazeného odporu, také ale řeší tlakové parametry, konkrétně se tím zabývá v kapitole 6. V lit [3] jsou naměřená data zobrazena pomocí poměrných veličin a úhlu v bezrozměrném měřítku. Přesto, že jsou tyto závislosti vztažené k měření vzduchotechnických klapek čtyřhranného průřezu, jsou univerzální a dají se použít i pro klapky kruhového průřezu. Hlavním zdrojem je lit [4], kde je řešena problematika hydraulických vlastností kruhových klapek. Postup vyhodnocení je tedy plynule naveden k výsledkům v této práci. Hlavním problémem vzduchotechnických klapek je jejich hlučnost vyvozena obtékáním proudem vzduchu. Vyhodnocené kombinace, které vytvoří lineární regulační charakteristiky budou podrobeny diskuzi, zda bude vhodné se vrátit k tomuto měření a rozšířit ho na základě akustických vlastností.

Hlavním parametrem zastupující hydraulické vlastnosti kruhových klapek je součinitel místních tlakových ztrát, který je dán geometrií konkrétního elementu. Jednou z dalších tlakových ztrát je ztráta třením, která je charakterizována součinitelem tření, jenž byl experimentálně stanoven [2] v závislosti na Reynoldsově čísle, protože pro dané potrubí nebyl zadán výrobcem a po celé vyhodnocování je používán.

1.4 Postup řešení bakalářské práce

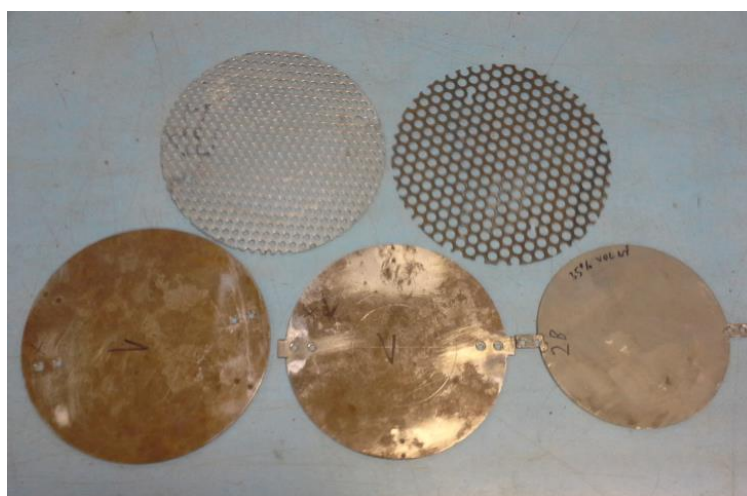
Problematika stanovení hydraulických parametrů teoreticky obtížně řešitelná, proto je tato práce experimentálního charakteru. V první řadě byly proměřeny jednotlivé klapky, aby se vyhodnocené data mohli srovnat s doposud naměřenými v lit [4] a mohlo se tak provést rozšířenější měření. Postupným měřením kombinací klapek se získávají data, za účelem vytvoření regulačních charakteristik, ze kterých budeme schopny vyloučit některé další následující měřící kroky a tím tedy zkrátit průběhy měření. Veškeré naměřené výsledky jak už jednotlivých klapek, tak zapojených do série budou zobrazeny graficky. Série klapek je pak zobrazena v bezrozměrném měřítku, díky kterému sledujeme bezprostředně chování klapek v proudu vzduchu.

1.5 Popis změřených regulačních listů

Během vypracování této práce bylo použito pět druhů klapek (obr. 1-5) s odlišnými regulačními listy. Budeme-li se bavit o měření kde je zapojena pouze jedna klapka, bude popsána pouze jejím příslušným názvem. Při zapojení klapek do série budeme přidělovat k názvům klapek ještě značení podle obr. (1-1). První změřenou klapkou byla těsná klapka, kde průměr regulačního listu byl shodný s průměrem potrubí tedy $d = 0,175$ m o tloušťce $t = 2$ mm. Následující klapka byla perforovaná s 35 % perforací, tedy s 35 % volnou průtočnou plochou a průměry jednotlivých děr $d = 5$ mm a tloušťkou $t = 1$ mm. Další klapka je perforovaná s 58 % perforací, tedy s 58 % volnou průtočnou plochou a stejnou tloušťkou. Předposlední dvě klapky jsou regulační klapky. Mají stejnou tloušťku regulačního listu jako klapka těsná. Jsou rozděleny opět podle velikosti volné průtočné ploše. Jednou z nich je regulační klapka 93%. Rozměr jejího regulačního listu je $d = 0,1625$ m, což je hodnota 93% z průřezu potrubí. Poslední změřená klapka je regulační 35%, je tedy tvořena 35 % volnou průtočnou plochou.

Klapku A prezentuje perforovaná klapka s 35 % perforací, tedy s 35 % volnou průtočnou plochou a průměry jednotlivých děr $d = 5$ mm s výjimkou na jedno měření, kde byla zaměněna za perforovanou klapku 58%. Klapku B prezentují v průběhu měření následující klapky- perforovaná s 58 % perforací, což znamená , že perforace tvoří 58 % volnou průtočnou plochu, regulační klapka s průměrem listu $d = 0,1625$ m, což odpovídá 93% z průřezu potrubí, regulační klapka s 35 % volnou průtočnou plochou.

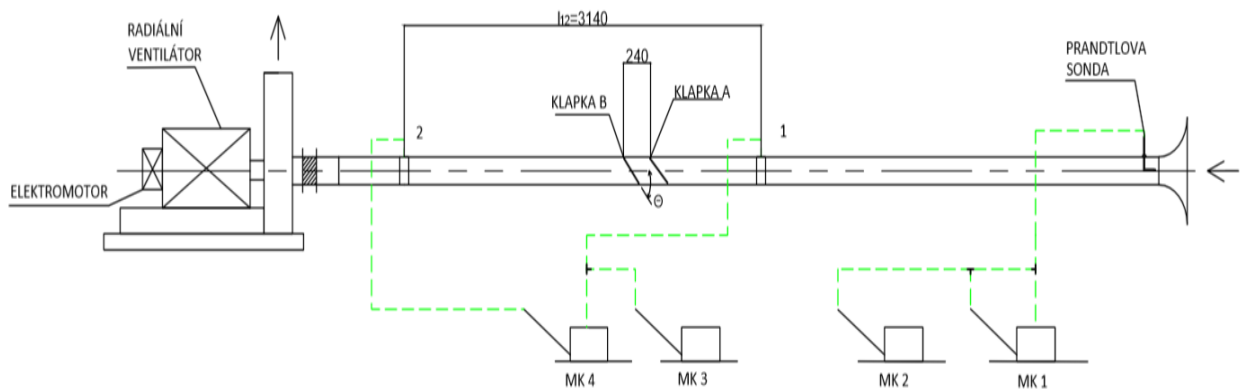
Jako z dalších úkolů byla proměřena kombinace perforované klapky 35% s těsnou klapkou ještě v užším intervalu nastavení úhlu. Zbylé naměřené kombinace perforované klapky 35% s regulační klapkou 93% a regulační klapkou 35% se zaměřují na výsledky právě z předešlé kombinace a z výsledků se budou odvozovat závěry, zda se dají ve správném nastavení nahradit, nebo správně navést ke správné regulaci průtoku vzduchu potrubím.



Obr. 1-5 Zleva nahoře perforovaná klapka 35%, perforovaná klapka 58%, zleva dole těsná klapka, regulační klapka 93%, regulační klapka 35%

2. Experimentální trať pro měření tlakových ztrát

Experimentální trať vznikla při měření tématu Aerodynamické zdroje hluku při nízkých Machových číslech [1]. Trať se skládá z plastového potrubí poskládaného z jednotlivých dílů o vnitřním průměru $D = 0,175$ m. Konstrukční provedení umožňuje měřit jednotlivě klapku, nebo v sériovém provedení. Zapojení vzduchotechnických klapek do série je zobrazeno na obr. (2).



Obr. 2-1 Schéma experimentální trati pro měření tlakových parametrů

Prvním v pořadí je klapka A do té je vkládán perforovaný list a do klapky B list plný. Kombinace listů v klapce B (obr.2-2) se měnila podle potřeby měření. Pro přesnou polohu úhlu listu, byla během předchozích měření vytvořena úhlová stupnice s požadovaným rozsahem úhlů. Pozice daného úhlu je zajištěna šroubem s maticí. Při nastavení meziúhlu byla použita svorka, jak je znázorněno na obr. 2-2.



Obr. 2-3 Soustava klapek zapojená do série pro měření tlakových rozdílů

Vstupní část trati je osazena tvarovkou definovaného tvaru (obr. 2-4), která zajišťuje plynulý náběh na vstupu (sání) a rovnoměrný rychlostní profil. Za tímto úsekem je instalována Prandtlova sonda pro měření dynamického tlaku vstupujícího vzduchu do potrubí. Pro odběr statického tlaku před a za klapkami slouží dva prstencové sběrače (obr. 2-5) přizpůsobené vnějšímu průměru potrubí. Pro měření samostatné klapky je vzdálenost mezi odběry $l_{12} = 2,9$ m a pro sestavu klapek $l_{12} = 3,14$ m. Dopravu vzduchu zajišťuje radiální ventilátor s dozadu zahnutými lopatkami s plynulou změnou otáček. Během měření je potřeba docílit určitých rychlostí pro vyhodnocování a to znamená, že je potřeba plynulé změny otáček, k tomu byl zvolen frekvenční měnič. Data pro vyhodnocení, se odečítají ze čtyř mikromanometrů, které jsou zakresleny na obr. 2-1, a popsány budou v další kapitole.



Obr. 2-4 Sání experimentální tratě v místě



Obr. 2-5 Odběr statického tlaku za klapkou B

3. Vyhodnocení hydraulických parametrů klapky

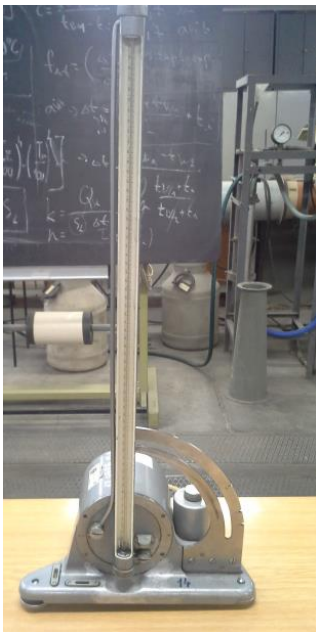
Z vyhodnocení hydraulických vlastností se určí, jak jsou klapky schopné regulovat průtok vzduchu. Hlavním parametrem k posuzování vhodné regulace jsou tlakové ztráty a její bezrozměrné součinitele.

3.1 Postup měření sledovaných veličin

Úkolem měření bylo proměřit zvolené klapky s vybranými regulačními listy a také jejich kombinaci v zapojení do série, v závislosti na natočení regulačních listů. Požadovanou veličinou je součinitel místní tlakové ztráty ζ [–], která reprezentuje danou klapku při natočení úhlu jejího regulačního listu. Během celého měření se odečítalo z mikromanometrů (obr. 3-1) se sklonnou trubicí. Další postup vyhodnocení vychází z měřených dat, tedy z výsledků výšek lihového sloupce na mikromanometrech, tak jak budou dále popsány.

Pomocí mikromanometru M1, se zaznamenává rozdíl statického a celkového tlaku, tj. tlak dynamický pro účely výpočtu rychlosti proudění vzduchu na vstupu do potrubí. Mikromanometr M2 zaznamenává statický podtlak v místě Prandtlovy sondy, který je nezbytný pro výpočet hustoty. Mikromanometr M3 zaznamenává statický podtlak v místě uložení klapky, pomocí něhož se vypočítává hustota vzduchu právě v tomto místě. Mikromanometr 4 určuje rozdíl statických tlaků před a za klapkou. Jednotlivá měření byla prováděna podle identických postupů, pouze se měnila v sestavě klapky a natočením úhlů nastavení klapky. Měření probíhalo v rozsahu rychlostí od 3 m/s do 20 m/s. Ve stejném rozsahu byly měřeny klapky v lit. [1] a je tedy možné naměřené data s výsledky této práce porovnat. Následuje posloupnost jednotlivých kroků uvedených v přechozím odstavci. V průběhu měření byl dále použit Assmanův psychrometr

(obr. 3-2), který zaznamenával hodnoty teplot a to suchého a mokrého teploměru. Barometrický tlak je odečítán na staničním barometru (obr. 3-3).



Obr. 3-1 Mikromanometr



Obr. 3-2 Assmanův psychrometr

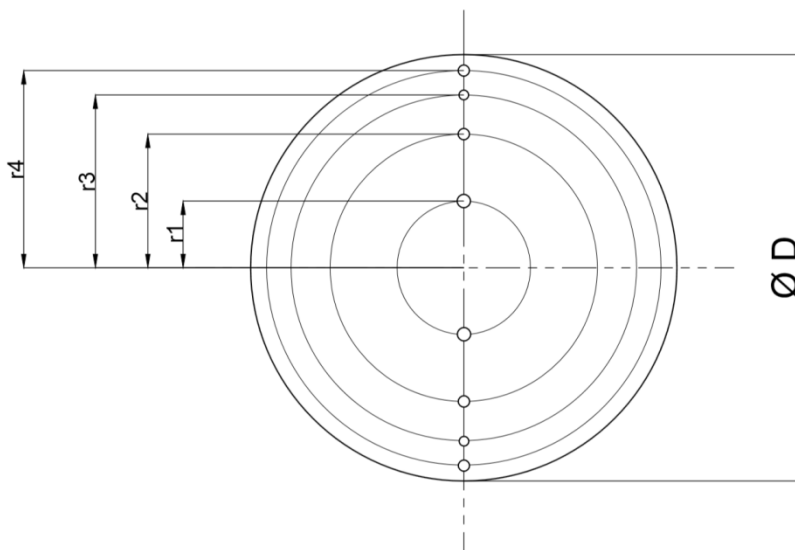


Obr. 3-3 Staniční rtuťový barometr

3.2 Popis sondáže rychlostního profilu

Výsledkem sondáže je hodnota střední rychlosti. Problém je ale, že tyto jednotlivé rychlosti nejsou konstantní, ale proměnné v závislosti na souřadnici. Existuje mnoho způsobů pro měření rychlosti, které jsou uvedeny v literatuře [2], ale pro tento experiment poslouží Prandtlova sonda. Sonda je během měření upevněna v držáku přišroubovaném k měřicí přírubě na potrubí. Prandtlova sonda bude nastavována podle obr. (3-4) do jednotlivých bodů. Vzhledem k rozměru potrubí je vhodné volit 4 rovnoplochá mezikruží v tom získáme následující poloměry (Tab. 1), do kterých budeme postupně umisťovat Prandtlovu sondu. Budeme měřit pouze ve vertikálním

směru vně potrubí. Tato metoda se jmenuje metoda stejnoplochých mezikruží, která je také uvedena v lit. [2]. Během měření na mikromanometru M4, hodnoty odečtené ze sklonného ramene jmenně pulzovaly vlivem difference tlaků před a za klapkou. Odečetla se tedy horní mez a spodní mez a následným dosazením za tyto meze bychom získali hodnoty s vyšší tlakovou ztrátou, nebo nižší. Avšak rozdíly mezi ztrátami by nebyly značné je nejlepší řešení udělat průměr obou hodno. Pro tuto kombinaci bylo typické kolísání pro nižší rychlosti okolo 4mm , při vyšších rychlostech zhruba 2mm a takto se postupovalo v rozsahu celého měření.



Obr. 3-4 Schéma sondáže pomocí Prandlový sondy v jednotlivých bodech

Vztah pro výpočet potřebných měřících poloměru r_i

$$r_i = R \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot n}}, \quad (3.2)$$

kde R [mm] je vnitřní poloměr potrubí,
 i [-] číslo daného mezikruží,
 n [-] počet mezikruží.

| | |
|------------|-------|
| r_1 [mm] | 30,93 |
| r_2 [mm] | 53,58 |
| r_3 [mm] | 69,17 |
| r_4 [mm] | 81,80 |

Tab. 1 Hodnoty poloměrů jednotlivých mezikruží

Tyto hodnoty poloměrů byly používány po dobu celé sondáže a její vyhodnocení je v příloze, která je součástí práce v podobě CD.

3.3 Vyhodnocení střední rychlosti vzduchu v potrubí

Pro vyhodnocení střední rychlosti, potřebujeme znát hodnotu dynamického tlaku, kterou dostaneme z rozdílu celkového a statického tlaku měřených Prandtlovou sondou. Dynamický tlak, je dán následujícím vztahem (3.3)

$$p_d = p_c - p_s = k_{MI} \cdot \frac{(l_1 - l_{01})}{1000} \cdot \rho_{LIH} \cdot g \quad (3.3)$$

| | | | |
|-----|--------------|----------------------|---|
| kde | p_c | [Pa] | je celkový tlak v potrubí, |
| | p_s | [Pa] | statický tlak v potrubí, |
| | k_{MI} | [-] | konstanta mikromanometru, |
| | l_1 | [mm] | výchylka mikromanometru M1, |
| | l_{01} | [mm] | nulová výchylka na mikromanometru M1, |
| | ρ_{LIH} | [kg/m ³] | hustota lihu jako nápln v mikromanometru, |
| | g | [m/s ²] | tíhové zrychlení. |

Dynamický tlak je možno dále definovat v závislosti na rychlosti vztahem

$$p_d = \frac{w_i^2}{2} \cdot \rho_P \quad (3.4)$$

kde w_i [m/s] je rychlost proudění v daném poloměru r_i ,
 ρ_P [kg/m³] hustota v místě Prandtlovy sondy.

Dosazením vztahu (3.3) do rovnice (3.4), můžeme jednoduše odvodit rovnici pro rychlost proudění vzduchu ve tvaru

$$w_i = \sqrt{\frac{2 \cdot (l_1 - l_{01}) \cdot \rho_{LH} \cdot k_{M1} \cdot g}{1000 \cdot \rho_P}}, \quad (3.5)$$

Tím byla získána rychlost pro danou souřadnici r_i [mm]. Takto stanovíme rychlosti pro všechna mezikruží. Frekvenčním měničem se plynule mění otáčky v rozsahu rychlostí výše uvedených a postupně se stanovují hodnoty rychlostí v jednotlivých poloměrech. Pro stanovení rychlosti je potřeba změřit teplotu mokrého teploměru a barometrický tlak, které jsou nezbytné pro výpočet hustoty vlhkého vzduchu v místě Prandtlovy sondy.

$$\rho_P = \frac{(p_{stP} - p_v \cdot 0,378)}{r_a \cdot T}, \quad (3.6)$$

kde p_{stP} [Pa] je statický podtlak v místě Prandtlovy sondy,
 p_v [Pa] parciální tlak vodních par ve vzduchu,
 r_a [J/kg · K] měrná plynová konstanta vzduchu,
 T [K] termodynamická teplota na mokřém teploměru.

Hodnotu parciálního tlaku vodních par, odečteme z psychrometrického diagramu v závislosti na teplotě mokřého a suchého teploměru.

Statický podtlak v místě měřicí sondy se měří na mikromanometru M2 (obr. 2-1), který měří rozdíl barometrického tlaku p_b a statického tlaku p_{stP} na výstupu z Prandtlovy sondy.

$$p_{stP} = p_b - k_{M2} \cdot \frac{(l_2 - l_{02})}{1000} \cdot \rho_{LíH} \cdot g \quad (3.7)$$

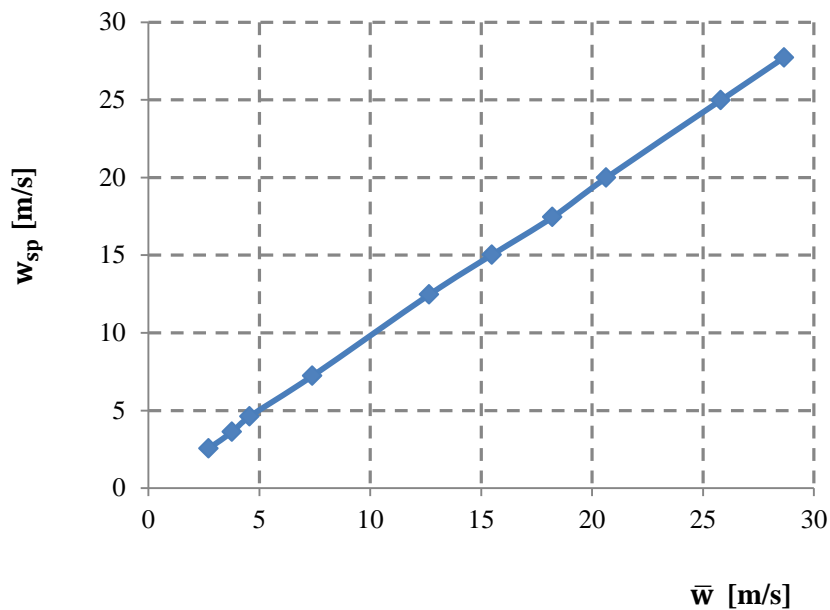
| | | | |
|-----|----------|------|---------------------------------------|
| kde | p_b | [Pa] | je barometrický tlak, |
| | k_{M2} | [-] | konstanta mikromanometru, |
| | l_2 | [mm] | výchylka mikromanometru M2, |
| | l_{02} | [mm] | nulová výchylka na mikromanometru M2. |

Po vyhodnocení dílčích rychlostí w_i [m/s], se dále stanoví střední rychlost daná aritmetickým průměrem všech hodnot ve vypočítaných poloměrech.

$$\bar{w} = \sum_1^n w_i / n, \quad (3.8)$$

| | | | |
|-----|-------|-------|---|
| kde | w_i | [m/s] | je rychlost proudění v poloměru r_i , |
| | n | [-] | počet naměřených rychlostí. |

Pro další měření je vhodné nalézt vazbu střední rychlosti na rychlosti v určitém bodě. Nejjednodušší vazba bude na rychlost v ose potrubí. Ta se změřila stejným způsobem, jako střední rychlost v celém rozsahu. Nyní vznikne funkční závislost (obr. 3-3), která zjednoduší náročnost následujících měření. Vyhneme se tedy opakovaným sondážím při každé měřené klapce a jejich vzájemných kombinací.



Obr. 3-3 Závislost střední rychlosti vzduchu \bar{w} na rychlosti v ose potrubí w_{sp}

Tuto výslednou závislost proložíme polynomickou regresí druhého stupně a tím vytvoříme univerzální funkci použitelnou pro celý rozsah měření o spolehlivosti $R^2=0,9998$

$$w_{sp} = -0,0002 \cdot \bar{w}^2 + 0,9713 \cdot \bar{w} + 0,0342 . \quad (3.9)$$

3.4 Postup stanovení součinitele místních tlakových ztrát

Charakteristickým parametrem klapky je místní tlaková ztráta, kterou je za potřebí, experimentálně určit. Z naměřených hodnot z mikromanometru M3 se určí statický podtlak v místě před klapkou podle vztahu

$$p_{stK} = p_b - k_{M3} \cdot \frac{(l_3 - l_{03})}{1000} \cdot \rho_{LíH} \cdot g, \quad (3.10)$$

| | | | |
|-----|----------|------|---------------------------------------|
| kde | p_b | [Pa] | je barometrický tlak, |
| | k_{M3} | [-] | konstanta mikromanometru, |
| | l_3 | [mm] | výchylka mikromanometru M3, |
| | l_{03} | [mm] | nulová výchylka na mikromanometru M3. |

Hustota vzduchu před klapkou se určí ze vztahu

$$\rho_K = \frac{(p_{stK} - p_v \cdot 0,378)}{r_a \cdot T}, \quad (3.11)$$

| | | | |
|-----|-----------|------------|---|
| kde | p_{stP} | [Pa] | je statický podtlak v místě klapky, |
| | p_v | [Pa] | parciální tlak vodních par ve vzduchu, |
| | r_a | [J/kg · K] | měrná plynová konstanta vzduchu, |
| | T | [K] | termodynamická teplota na mokřém teploměru. |

Tlakovou ztrátu danou rozdílem statických tlaků před a za klapkou určíme podle vztahu

$$\Delta p_z = \frac{(l_4 - l_{04})}{1000} \cdot \rho_{LíH} \cdot g \cdot k_{M4}, \quad (3.12)$$

| | | | |
|-----|----------|------|------------------------------------|
| kde | l_4 | [mm] | je výchylka mikromanometru M4, |
| | l_{04} | [mm] | nulová výchylka mikromanometru M4, |
| | k_{M4} | [mm] | konstanta mikromanometru. |

Přímé úseky potrubí před a za klapkou mezi odběry statických tlaků vykazují tlakovou ztrátu třením. Třecí ztráty jsou způsobeny vlivem drsnosti potrubí a její hodnotu nejvíce ovlivňuje dynamický tlak p_d [Pa] a délka úseku odběru statických tlaků l_{12} [m]. Jestliže je hlavním cílem získat informace o regulačních schopnostech klapky musíme hodnotu z výsledku měření na mikromanometru M4 odečíst (3.16).

$$\Delta p_{zt} = \lambda \cdot \frac{l_{12}}{d} \cdot \frac{w_{sp}^2}{2} \cdot \rho_K, \quad (3.13)$$

| | | | |
|-----|-----------|----------------------|--|
| kde | λ | [-] | je součinitel tření, |
| | l_{12} | [m] | délka potrubí mezi odběrnými místy 1 a 2 (obr. 2-1), |
| | d | [m] | vnitřní průměr potrubí, |
| | w_{sp} | [m/s] | rychlost v ose potrubí v místě klapky, |
| | ρ_K | [kg/m ³] | hustota vzduchu v místě klapky. |

Vzdálenost odběrů pro případ jedné klapky je $l_{12} = 2,9 \text{ m}$ a pro sestavu klapek

$$l_{12} = 3,14 \text{ m}.$$

Součinitel tření byl stanoven experimentálně. Prakticky použitelný vztah pro součinitel tření λ pro námi použitou experimentální trať je převzat z literatury [1]

$$\lambda = 3 \cdot 10^{-19} \cdot Re^3 + 3 \cdot 10^{-13} \cdot Re^2 - 8 \cdot 10^{-8} \cdot Re + 0,0284. \quad (3.14)$$

Hodnotu Reynoldsova čísla určíme podle vztahu

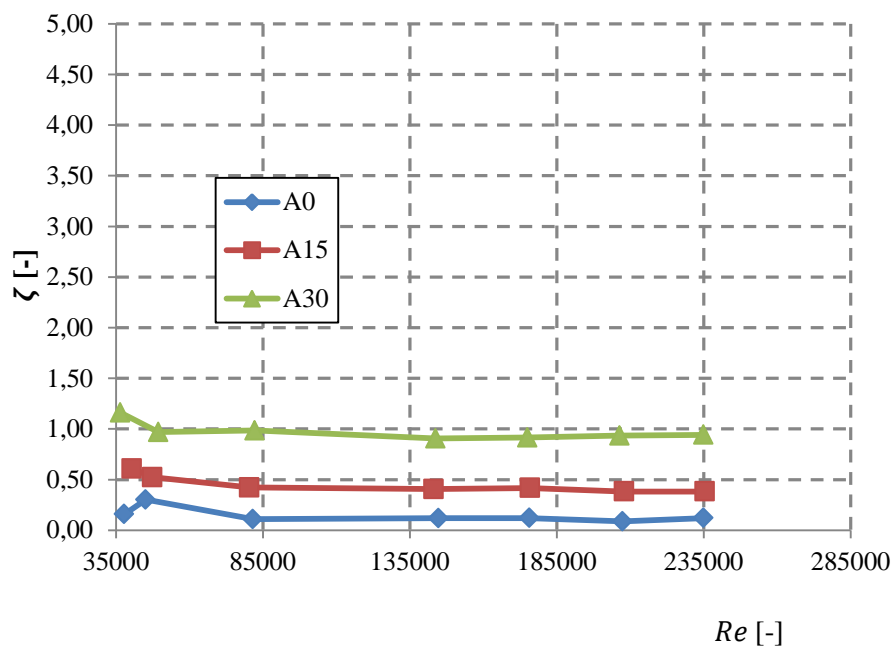
$$Re = \frac{w_{sp} \cdot d}{\nu}, \quad (3.15)$$

| | | | |
|-----|-------|---------------------|--------------------------------|
| kde | d | [m] | je vnitřní průměr potrubí, |
| | ν | [m ² /s] | kinematická viskozita vzduchu. |

Po vyhodnocení předchozích vztahů se určí součinitel místních tlakových ztrát

$$\zeta = \frac{2 \cdot (\Delta p_z - \Delta p_{zt})}{w_{sp}^2 \cdot \rho_K}. \quad (3.16)$$

Na obr.3-4 je vyhodnocené měření pro perforovanou klapku 35% měřenou jako samostatný prvek. Pro sedm naměřených rychlostí dostaneme hodnoty odporů, které jak je vidět jsou téměř nezávislé na rychlosti charakterizující Reynoldsovo číslo. Dílčí rozdíly jsou dány nejistotou měření jednotlivých tlaků a rychlostí. Jestliže se budeme držet tohoto tvrzení je možné hodnoty odporu zprůměrovat a získat tak jednu hodnotu z celého měřeného rozsahu.



Obr. 3-4 Závislost součinitele místního odporu ζ [-] perforované klapky 35% na Reynoldsově čísle [-]

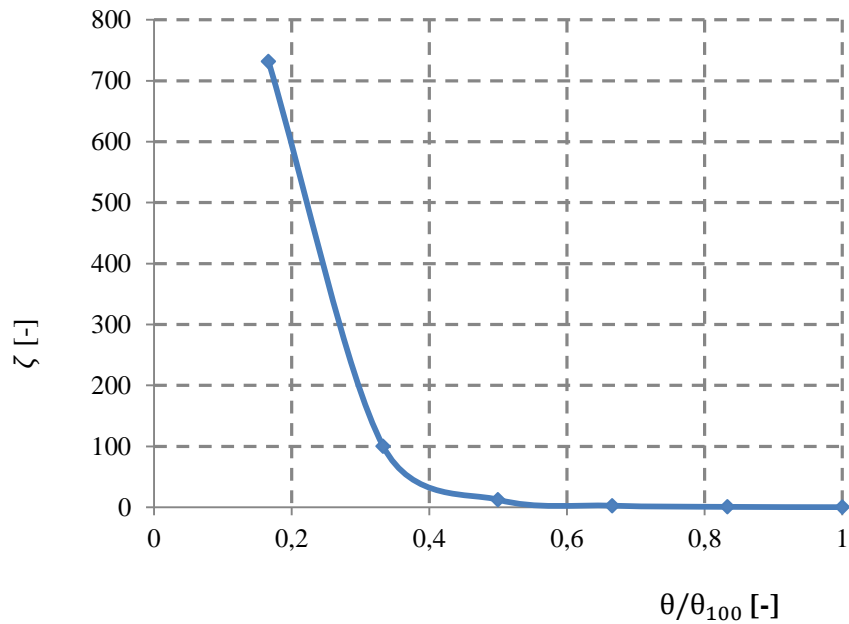
4. Měření hydraulických vlastností klapek a jejich kombinací

Klapky pracující na principu škrčení průtoku vzduchu. Změnu odporu vytváří natočení regulačního listu. Odpor můžeme ovlivňovat změnou geometrie. Tlaková ztráta vytvářená před a za klapou, charakterizována součinitelem místních tlakových ztrát, je měřena z odběrových míst. Vlivem natáčení úhlu listu klapky se mění, tedy při malých úhlech nastavení má poměrně malé účinky a postupným zvyšování klade nejvyšší odpor.

Značení pro úhel nastavení bude používáno Θ [°] během jednotlivých kroků po 15°. Pro zobecnění výsledků je vhodné jednotlivé parametry vztahovat ne pouze na úhel natočení Θ , ale na poměrný úhel natočení θ/θ_{100} . Vznikne tak poměrná veličina a může se lépe sledovat chování změřených klapek v proudu vzduchu, kterou popisuje závislost $\zeta = f(\theta/\theta_{100})$. Z literatury [4] se ukazuje na lineární regulační charakteristiku při konstantním úhlu nastavení klapky B (těsné klapky) v rozmezí od 0°-30°, tedy od 30° měření nebylo prováděno. Nastavení úhlu klapky A (perforované klapky 35%) probíhalo v plném rozsahu od 0° do 90° po 15°.

4.1 Grafické znázornění naměřených klapek

Během měření se vystřídalo několik vzduchotechnických klapek (obr. 2-2). Každá z klapek vykazuje jiné regulační schopnosti a jiné technologické upravení. Jako první je zobrazena těsná klapka (obr. 4-1). Z tohoto grafu je na první pohled vidět, že při malých úhlech natočení a to zejména do hodnoty $\Theta = 45^\circ$. Od této hodnoty prudce roste součinitel místních ztrát ζ a měření je ukončeno na konečném úhlu nastavení 75°, kde bylo možné měřit pouze do určité hodnoty rychlosti. Výsledek byl srovnatelný se získanými hodnotami v lit. [2], s minimální nepřesností.

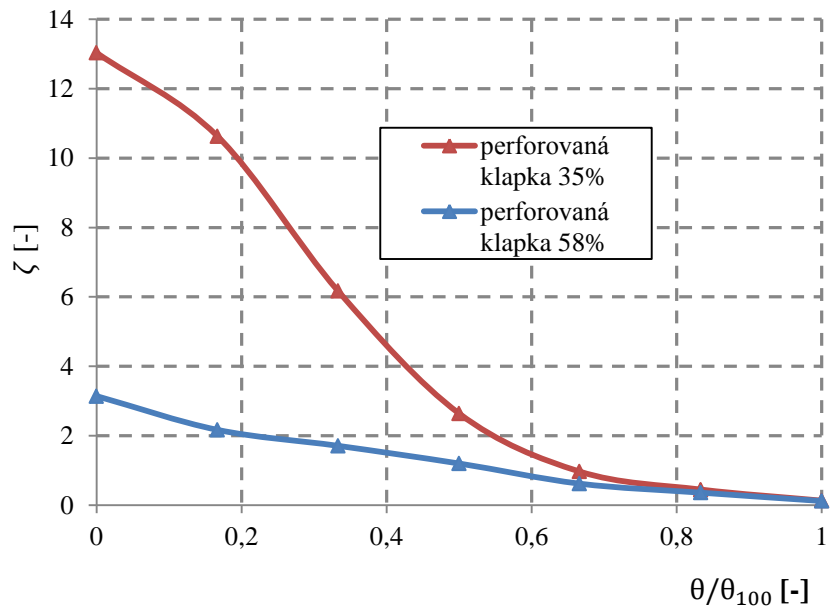


Obr. 4-1 Závislost součinitele místního odporu ζ [-] těsné klapky na poměrném úhlu natočení plného listu θ/θ_{100} [-]

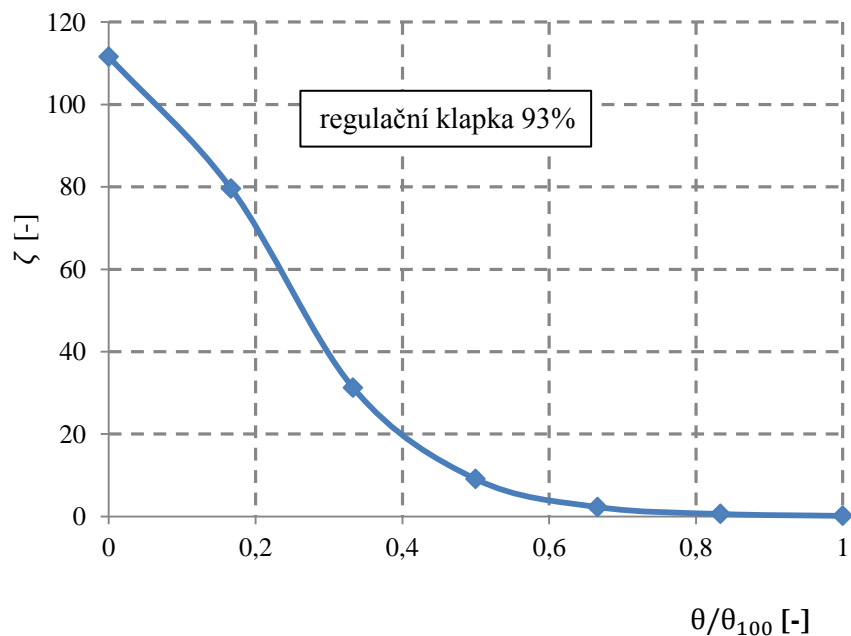
Jako další k získání naměřených dat byly zvoleny perforované klapky (obr. 4-2). Při malém otevření klapky je vidět jak se chovají stejně, až při úhlu 30° u perforované klapky 35% narůstá hodnota odporu do úplného zavření. Je to samozřejmě způsobeno perforací, která je tvořena menšími průměry vyvrtnaných děr, což vede k menší průtočné ploše a klapka způsobuje větší hodnotu odporu. Druhý případ je klapka s perforací 58% a je vidět výrazně menší odpor, který klapka klade při postupném zavírání. Je tedy zřejmé, že obě klapky budou vhodné pro jiné rozsahy.

Poslední klapky, které byly proměřeny jsou regulační s odlišnými velikostmi volných průtočných ploch. Regulační klapka 93% (obr. 4-3) je odlišná od těsné pouze malou změnou velikosti průměru listu a tedy je možné očekávat podobný průběh. Jak je vidět, tak při postupném zavírání do úhlu 45° klade minimální odpor, až od této hodnoty značně narůstá. Změna průměru listu vede tedy ke zjištění, že součinitel místních tlakových ztrát se sedminásobně sníží, než tomu bylo u těsné klapky. Regulační klapka 35% (obr. 4-4) má stejný průběh jako perforovaná klapka 35%, protože mají stejnou velikost volné průtočné plochy. Perforovaná klapka umožňuje proud vzduchu pronikat celým průřezem a tím zmenší tlakovou ztrátu, ale regulační je schopna vést proud vzduchu pouze po obvodu listu a tedy docílí většího odporu. Pro přehled a celkové

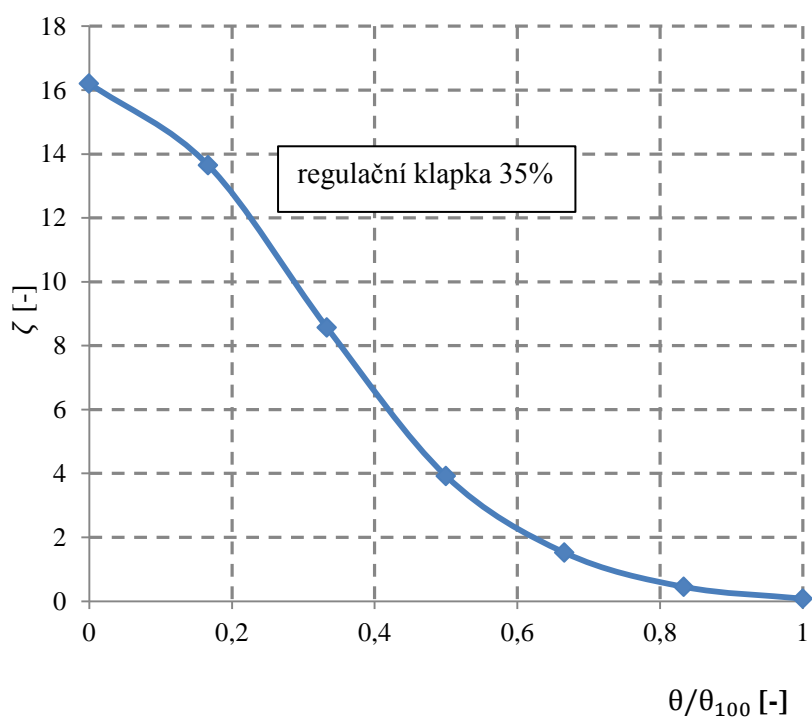
porovnání všech proměřených klapek je vytvořen graf (obr. 4-5). Můžeme zde vidět lineární průběh klapky perforovaní 58% a průběhy klapky s volnou průtočnou plochou 35% vykazují také linearitu pro jiné rozsahy úhlu natočení.



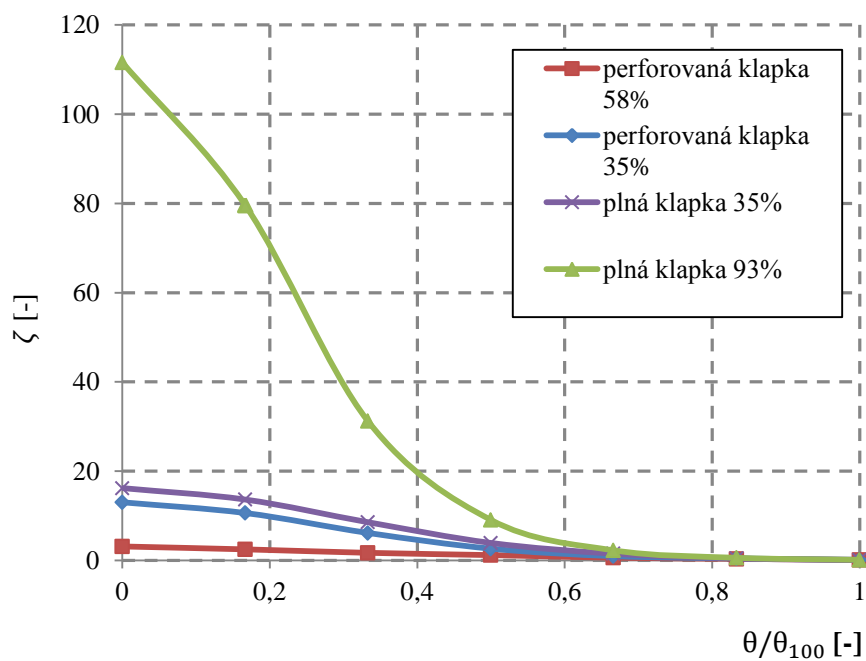
Obr. 4-2 Závislost součinitele místního odporu ζ [-] perforovaných klapky na poměrném úhlu natočení plného listu θ/θ_{100} [-]



Obr. 4-3 Závislost součinitele místního odporu ζ [-] regulační klapky na poměrném úhlu natočení plného listu θ/θ_{100} [-]



Obr. 4-4 Závislost součinitele místního odporu ζ [-] regulační klapky na poměrném úhlu natočení plného listu θ/θ_{100} [-]



Obr. 4-5 Závislost součinitele místního odporu ζ [-] zvolené klapky na poměrném úhlu natočení regulačního listu θ/θ_{100} [-]

4.2 Vyhodnocení soustavy klapek v bezrozměrném měřítku

Pro zobecnění je vhodné porovnávat výsledky kombinací klapek v bezrozměrném měřítku, musí se zavést tzv. poměrné veličiny. Jedna z veličin, už byla zavedena v kapitole 4. Druhá veličina je jmenovitý průtok, tzv. k_k hodnota, vyjadřující objemový průtok klapkou $k_k [m^3/h]$ při definovaném rozdílu Δp_K . Jako u úhlu nastavení při plném otevření θ_{100} bude zavedena hodnota jmenovitého průtoku při nulovém otevření klapky k_{k100} . Jmenovitý průtok získáme ze vztahu převzatém z lit.[2] dle vzorce

$$k_k = \frac{V}{\sqrt{\Delta p_K}}, \quad (3.17)$$

kde $V [m^3/h]$ je objemový průtok vzduchu potrubím

Položíme-li hodnoty jmenovitých průtoků do poměru zjistíme, že celý vztah je závislý na součiniteli místních tlakových ztrát odporu vztaženého na nastavení úhlu natočení podle následujícího vztahu

$$\frac{k_k}{k_{k100}} = \sqrt{\frac{\zeta_{100}}{\zeta}}, \quad (3.18)$$

kde $k_{k100} [m^3/h]$ je jmenovitý průtok vzduchu při plném otevření θ_{100} klapky,

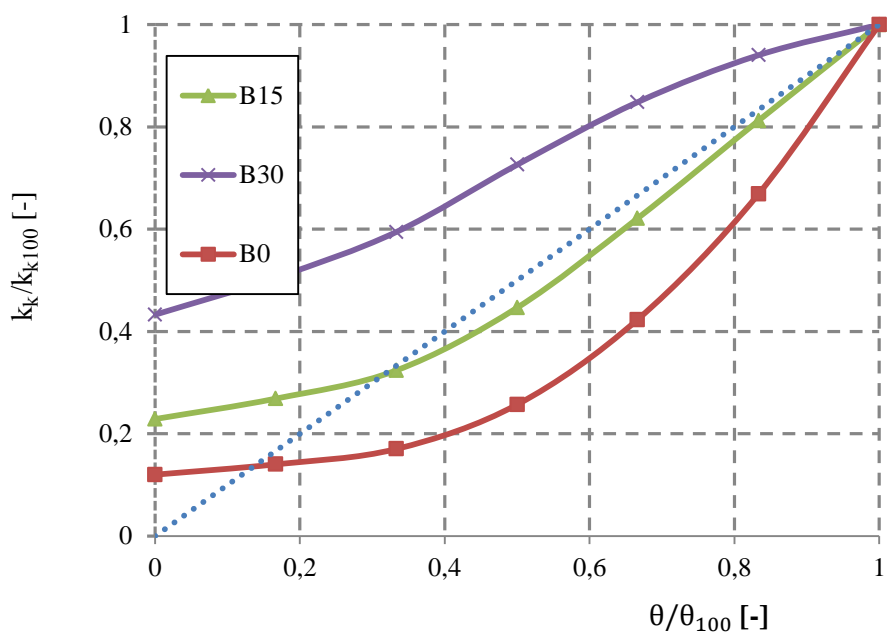
$\zeta_{100} [-]$ součinitel místních tlakových ztrát, při plném otevření θ_{100} klapky,

$\zeta [-]$ součinitel místních tlakových ztrát při zvoleném úhlu natočení klapky.

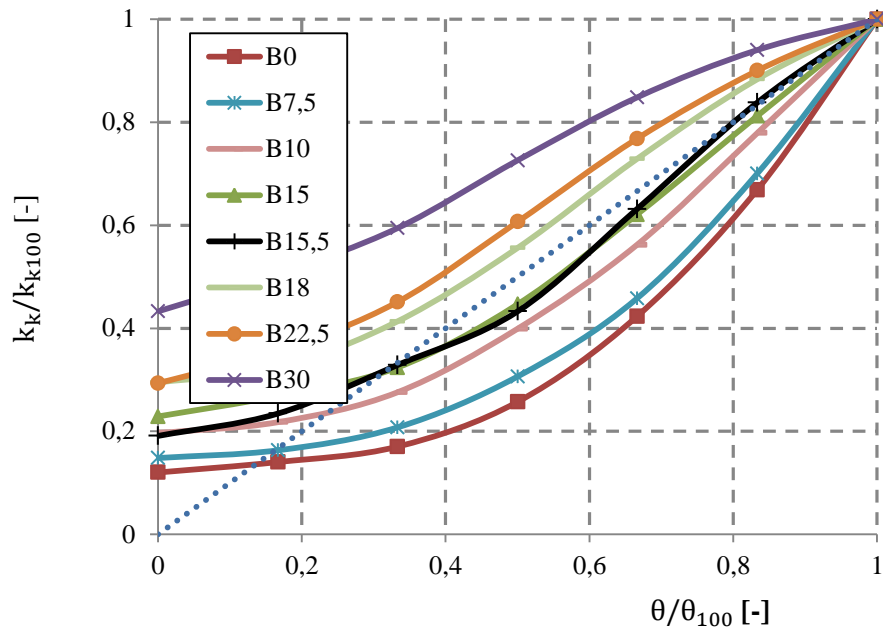
Při měření klapek zapojených do série, vykazuje každý zapojený element jiný odpor. Jestliže během měření je klapka A nastavena na konstantní úhel 0° a klapka B se natáčí

v plném rozsahu, tak výsledná data mohou být považována za hodnoty příslušející autoritě klapky $P_K = 1$ [3]. Tedy hodnoty získané při plném otevření klapky A, v podstatě je to samé, jako když změřím samostatně klapku jako jeden prvek. Výsledkem získáme autoritu klapky při plném otevření klapky.

Jak bylo patrné z obr. 4-2, tak perforovaná klapka 35% prokazovala plynulou změnu součinitele místní tlakové ztráty a podle [1] se ukázalo, že ve spojení s těsnou klapkou můžeme dosáhnout lineární průtočné charakteristiky pro určité nastavení klapek. Na obr. 4-6 pracujeme s poměrnými veličinami a můžeme sledovat chování této soustavy klapek, kde čárkovaná čárka prezentuje ideální lineární průběh. Zde je vidět, že linearita se prokazuje při nastavení úhlu klapky B15° a odtrhává se od hodnoty A60°. Není potřeba měřit větší úhel, než je B30°, kde není linearita prokázána, ale je možné tedy proměřit oblasti mezi úhly B0° a B30° směrem k B15°. Přidáme do těchto oblastí hodnoty v meziúhlech popř. jiné zvolené úhly, docílíme zahuštění grafu pro snadnější nastavování úhlů natáčení (obr. 4-7)

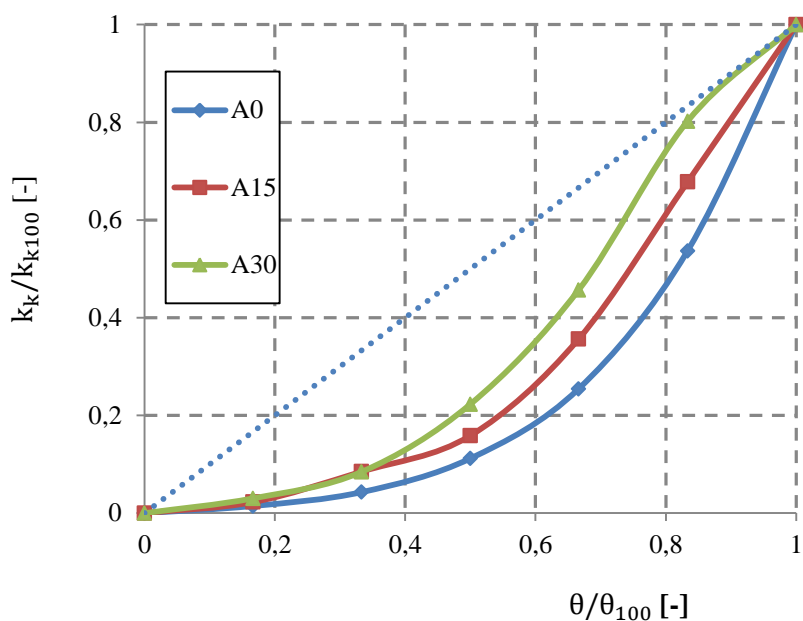


Obr. 4-6 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 35% a těsné klapky na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka B při konstantním zvoleném úhlu nastavení

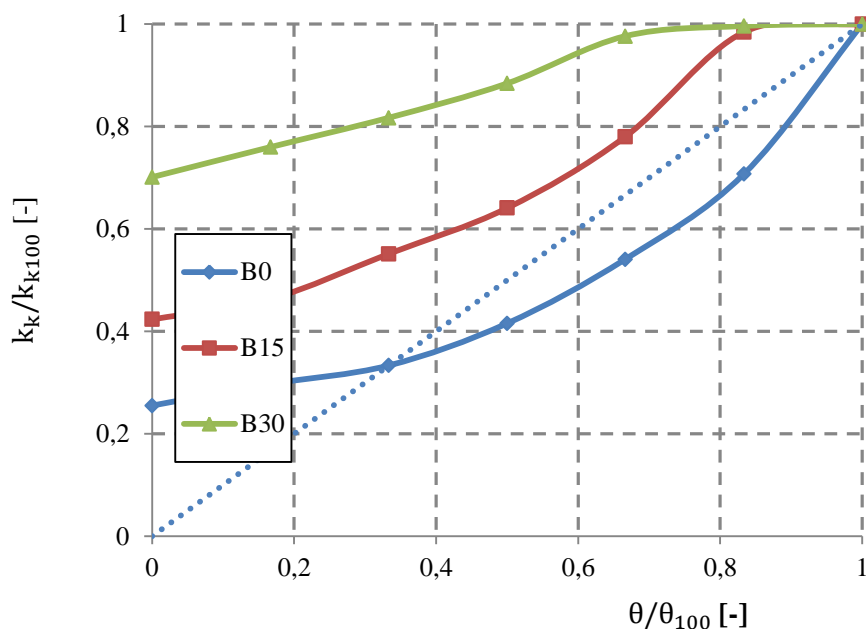


Obr. 4-7 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 35% a těsné klapky na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka B při konstantním zvoleném úhlu natočení

Zde jsou také vidět získaná data pro nastavení úhlu B18°, kopírující průběh B15° a z jistotou se může konstatovat, že mezi těmito úhly v rozsahu od 8° do 15° při nastavování klapky B se může zrealizovat měření při citlivějším nastavování úhlu a nalezení přesnější lineární regulační charakteristiky. Dokazuje to průběh průtoku při nastavení B15,5° kde jde vidět změna při nepatrném pootočení klapky o 0,5°. Následující kombinace pro změření hydraulických vlastností, byla zvolena perforovaná klapka s perforací 58% (klapka A) v sérii s těsnou klapkou B (obr.4-8). Pro tento případ s konstantním úhlem nastavení byla perforovaná klapka a těsná klapka v nastavení od B0° do B75°. Ukázalo se, že regulace se projevila pouze u klapky A30° a těsná klapka od B15° směrem výše se chová v podstatě jako samostatný vložený prvek. Perforovaná klapka má rozdíl průřezů od těsné klapky větší než 50% a během konstantního úhlu natočení se autorita blíží hodnotě plnému otevření, čili není vhodná pro zlepšení hydraulických vlastností soustav klapek. Z grafu jde také patrné, že klapka A bude vykonávat lepší regulační schopnosti při vyšších úhlech během zavírání, ale nikdy nedocílíme přesné regulace, protože autorita klapky A se snaží převzít vůdčí schopnost změnit průtok vzduchu, přičemž klapka B nestihne tak rychle zareagovat na změnu průtoku, jako tomu je v opačném případě.



Obr. 4-8 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 58% a těsné klapky na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka A při konstantním zvoleném úhlu natočení

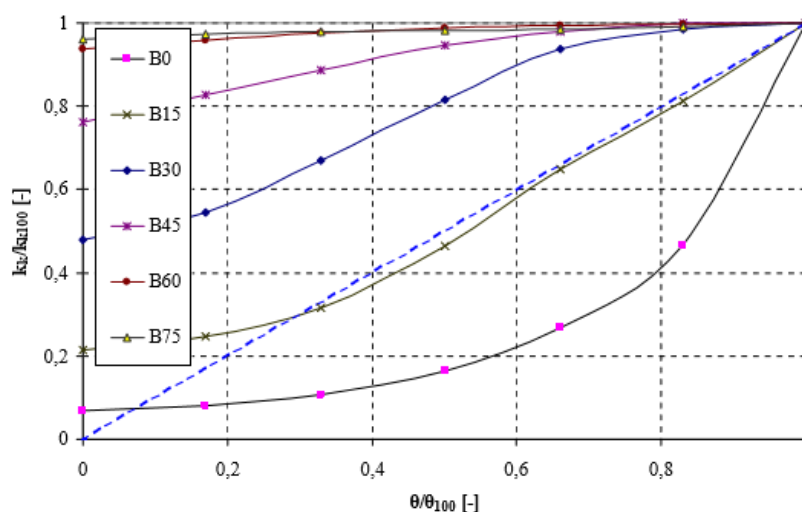


Obr. 4-9 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 58% a těsné klapky na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka B při konstantním zvoleném úhlu natočení

Regulační schopnosti perforované klapky 58% (obr. 4-9) se projeví kolem hodnoty $A30^\circ$ až $A60^\circ$ a těsná klapka B nastavena na $B0^\circ$ až $B15^\circ$, kde je vytvořena oblast pro doplnění této kombinace za cenu nalezení lepší regulační charakteristiky. Tento graf je opačný případ, konstantní úhel nastavení plní klapka B. Není v tomto případě regulace potřeba větších úhlů nastavení klapky B, opět se soustředí na hodnoty mezi $B0^\circ$ a $B15^\circ$ v rozsahu nastavení klapky A od 0° do 60° .

4.3 Porovnání výsledků tlakových měření a diskuze

V předchozí části bakalářské práce (4.2) bylo provedeno zpracování výsledků tlakových měření a jejich následné grafické zobrazení. Při porovnání obr. 4-1 až obr. 4-4 s výsledky doposud naměřených dat [1],[4] vycházeli hodnoty součinitelů místních odporů v závislosti na natáčení klapky podobné, díky čemu se mohou bezpochybně srovnávat. Srovnání naměřených dat bylo velmi důležité pro posouzení stavu měřící trati a měřících elementů, zda jsou použitelné pro toto měření. Na obr. 4.6 se podařilo nalézt lineární regulační charakteristiku pro $B15^\circ$. Důvodem proč se měřila zrovna tato kombinace klapky je rozšíření výsledků z předchozích měření [4] a následně bylo doporučeno proměření v meziúhlech, popř. v jiných zvolených úhlech, které je zobrazeno na obr. 4-7. Porovnáme-li obr. 4-6 s obr. 6-21 [2] je vidět, že při měření úhlu $B15^\circ$ se dosáhlo přibližně stejného výsledku. Patrná odchylka od křivek je způsobena nejistotou měření tlakových parametrů.



Obr. 4-10 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 35% a těsné klapky na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka B při konstantním zvoleném úhlu natočení ,[2]

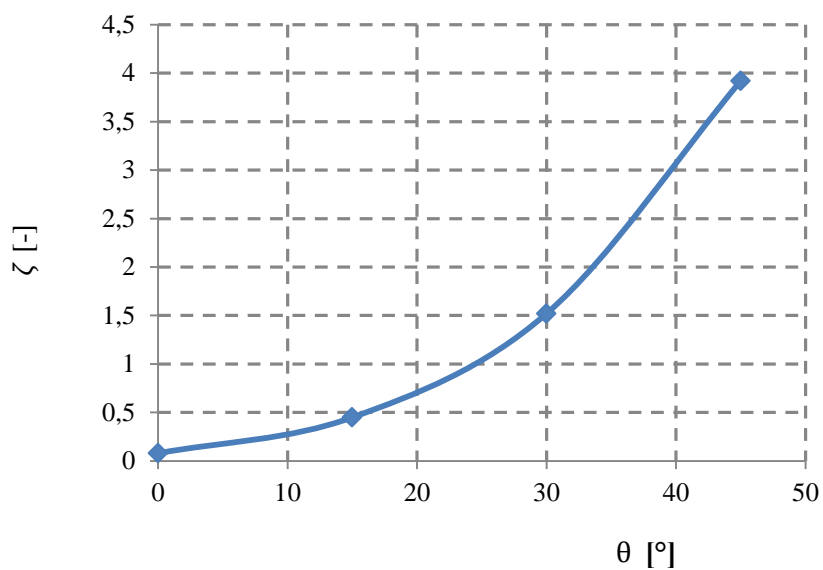
5. Měření zvolených kombinací pro vylepšení hydraulických vlastností soustavy klapek

V předchozí kapitole se měřili kombinace, které již byly naměřeny a byly rozšířeny o detailnější pohled na dosažení lineární regulační charakteristiky. Součástí této kapitoly budou vybrány regulační klapky a to přesněji regulační klapka s 93 % z průřezu plného listu a regulační klapkou s 58 %, poté budou tyto klapky vestaveny do série s perforovanou klapkou s perforací 35%. Poslední kombinací bude perforace 35% s perforací 58% a hledání vhodné lineární průtočné charakteristiky s porovnáním, již naměřených výsledků.

5.1 Postup měření vybraných soustav klapek při nastavení klapky B

Hlavním cílem této kapitoly je vytvořit takovou kombinaci klapek o příslušných autoritách a docílit podobných výsledků, jako při měření kombinace perforované klapky 35% A s těsnou klapkou B. Těsná klapka prokázala při úhlu nastavení B15° (obr. 4-4), téměř lineární průběh a tyto výsledky tuto část práce nasměrovali na prozkoumání této autority při samostatně naměřené těsné klapce. Jestliže těsná klapka klade určitý odpor při této autoritě, bude úkolem nalézt správné nastavení klapek, tak aby vytvářeli stejný odpor. Nejjednodušší cesta jak toto zjistit byla o vytvoření závislosti (obr. 5-1) mezi součiniteli místních tlakových ztrát $\zeta [-]$ na úhlu natočení $\Theta [^\circ]$ a to pouze v rozsahu od 0° do 45°. Tato závislost byla proložena polynomem třetího stupně, který zajišťuje nejpřesnější výsledky. Jako první kombinací byla perforovaná klapka 35% s regulační klapkou 35%, kde je tedy úkolem dosáhnout hodnoty odporu ze získané závislosti, která je dána vztahem o spolehlivosti $R^2 = 1$

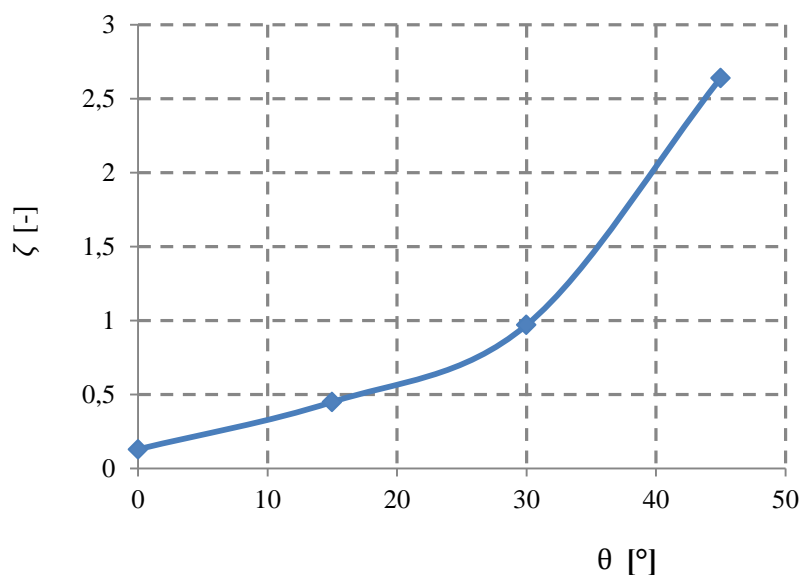
$$\zeta = 0,00003 \cdot \theta^3 + 0,00016 \cdot \theta^2 + 0,01533 \cdot \theta + 0,0800 \quad (3.19)$$



Obr. 5-1 Závislost součiniteli místních ztrát ζ [-] na úhlu natočení θ [°] pro regulační klapku 35%

Další kombinací je série perforovaných klapek 35% , kde závislost je získána stejným postupem jako předchozí a její tvar je následující mající spolehlivost $R^2 = 1$

$$\zeta = 0,00005 \cdot \theta^3 + 0,000167 \cdot \theta^2 + 0,03578 \cdot \theta + 0,13 . \quad (3.20)$$



Obr. 5-2 Závislost součiniteli místních ztrát ζ [-] na úhlu natočení θ [°] pro perforovanou klapku 35%

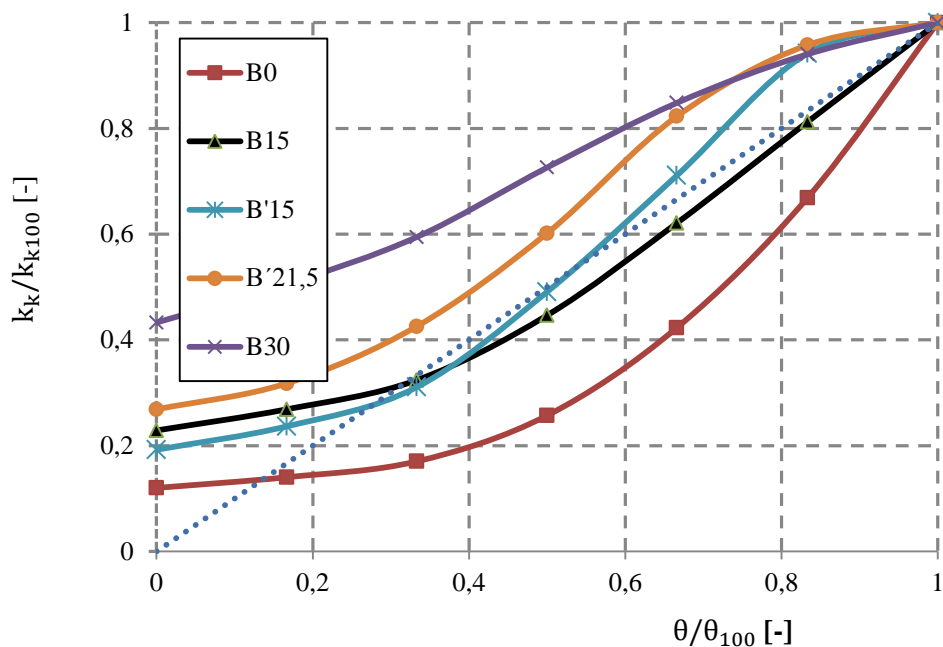
Regulační klapka 93% , vykazuje téměř stejné hodnoty odporu při stejné autoritě jako těsná klapka. Byla tedy proměřena v sérii s perforovanou klapkou 35% při úhlu natočení 15°, kde jsou průběhy porovnány na obr. 5-4. Poslední změřenou kombinací byla perforovaná klapka 35% s perforovanou klapkou 58%. Z výsledků zjištěných ze samostatného měření perforované klapky 58% bylo zjištěno, že vytváří hodnotu odporu při úhlu natočení 30° jako těsná klapka při 15°. Z předešlého měření této práce jde vidět z výsledků, že jestliže byla klapka nastavena na hodnotu konstantního úhlu vykazuje při úhlu natočení 30° charakteristiky vzdalující se linearitě. Tato kombinace se tedy nebude měřit pro tento úhel, ale regulační list se nastaví na hodnotu B15° za účelem zlepšení průtočné charakteristiky.

Výsledky již zmíněných kombinací jsou zobrazeny a popsány v kapitole 5.2. Naměřené hodnoty jsou v příloze, která je vložena na CD a zpracována v tabulkovém procesoru MS Excel.

5.2 Vyhodnocení zjištěných dat soustav regulačních klapek

Vybrané klapky, které byly zapojeny do série s perforovanou klapkou 35% (klapka A) byly zvoleny za předpokladu vhodné lineární odezvy. Dále budou používány, již naměřené charakteristiky a doplněné právě o zvolenou klapku B' zapojenou do série. Jak bylo poznat z obr. 4.4, tak perforovaná klapka s perforací 35% v kombinaci s těsnou klapkou vykazovala linearitu, tedy hlavně při dané autoritě klapky A. Těsná klapka v kombinaci s perforovanou 35% měla nejlepší regulační schopnost při úhlu natočení 15° a cílem bude tedy ponechat toto nastavení pro již zaměněnou klapku. První změřenou klapkou bude perforovaná klapka 58%, výsledky měření se graficky zpracovali a byly vloženy do již vytvořeného grafu (obr. 4-6) pro lepší srovnávání mezi sebou. Při postupném zavírání klapky B' od hodnoty 15° a souběžně klapka A při 30° do 60° se mohou získat lepší regulační schopnosti rovnoměrně měnit průtok vzduchu. Přestože perforovaná klapka 58% vykazuje stejný odpor při 30° jako těsná klapka při

15° byl nastaven pevný úhel na hodnotu 15°. Těsná klapka vykazuje lepší regulaci při volbě vyšších úhlů, než 15° a perforovaná klapka naopak při nižším nastavování.

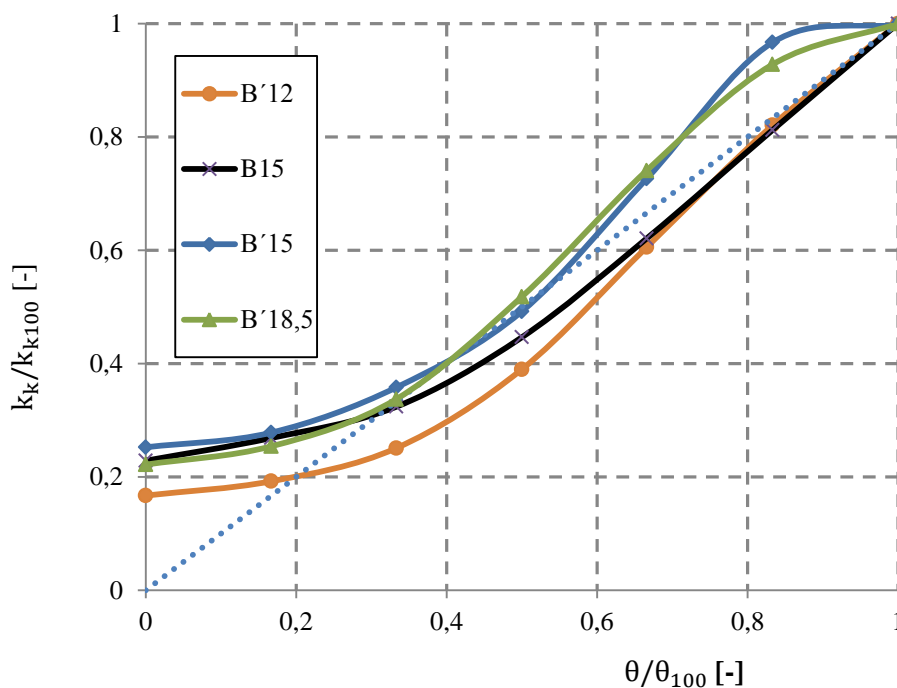


Obr. 5-3 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 35% a perforované klapky 58%, perforované 35% na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka B' při konstantním zvoleném úhlu nastavení

Následující průběh, který je vložený do grafu je výsledkem výměny těsné klapky za klapku perforovanou 35%. Autorita klapky B' byla zvolena na základě postupu uvedeného v kapitole 5.1 a tedy po dosažení do polynomu vychází nejbližší úhel nastavení 21,5°. Pomocí tohoto úhlu chceme dosáhnout přibližně podobajícímu se průběhu B15°. Je patrné, že není možné uplatnit tuto myšlenku záměny autority klapky, ale pomůže nám vyřadit některé oblasti a navést na zlepšení výsledku. Stejně výsledky nemohou vyjít díky úpravě regulačního listu.

Na obr. 5-4 je zobrazen průběh těsné klapky B15° v porovnání se zvolenými regulačními klapkami. Průtočné charakteristiky klapek B' jsou vloženy v jednom grafu, protože byly měřeny vždy v kombinaci s perforovanou klapkou 35%. Změřila se

regulační klapka 93% (průběh B'15) a následně se hledala vhodná autorita klapky tvořící součinitel místního odporu jako těsná klapka. Vyhodnocené výsledky ukázali téměř shodující se výsledky při 15° s nepatrným rozdílem, což vedlo k proměření právě této hodnoty. Prvním úkolem bylo tedy regulační klapku nastavit na konstantní úhel B'15°. Na první pohled je patrné, že autority různých klapek nevykazují stejné výsledky a regulační klapka je schopna regulace při úhlu A45° do hodnoty A60° ve zbývajících úhlech se výsledek oddaluje linearitě. Následující měření by se mohla tedy zaměřit na menší úhly klapky B', tím si vytvořit ideální pásmo, ve kterém by se snadněji hledali příznivé výsledky pro použití právě této kombinace.



Obr. 5-4 Závislost poměrného průtoku k_k/k_{k100} [-] pro soustavu perforované klapky 35% a regulační klapky 35%, regulační klapky, na poměrném úhlu natočení listu klapky θ/θ_{100} , klapka B' při konstantním zvoleném úhlu nastavení

Druhou klapkou byla zvolena regulační klapka tvořena 35% z průřezu plného listu (B'18,5).

Hodnota konstantního úhlu nastavení vychází z dosazení do polynomu (3.19) a tím získáme dvě shodné autority klapek, které mohou prokazovat stejné odpory. Průběh je podobný s B15 pouze v hodnotách A60° až A90°, při nižších úhlech se křivky oddalují což je dáno větší průtočnou plochou. Jestliže se zaměříme na menší úhel klapky B', mohlo by to vést k výraznému zlepšení průtočné charakteristiky, což je zobrazeno

křivkou B'12. Proběhlo tedy přenastavení pouze o 3° a vyšel z toho přesnější výsledek, vytvořilo se tím pásmo mezi B'15° a B'12° kde se může docílit rovnoměrných změn průtoků vzduchu. Regulační klapka 35% dokázala také jako jediná napodobit těsnou klapku v hodnotách nastavení od A0° do A30°. Závěrem měření této kombinace je tedy vhodné konstatovat, že je vhodné se zaměřit na rozsah B'12 při malém nastavování regulačního listu směrem k maximální hodnotě B'15.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce byla měření hydraulických vlastností kruhových klapek za účelem vybrat vhodnou kombinaci klapek a správně definovat nastavení klapek, tak aby zajistili plynulou změnu průtoku, jinak řečeno získat z naměřených výsledků lineární průtočné charakteristiky zobrazené v bezrozměrném měřítku. V první řadě bylo zapotřebí proměřit jednotlivé klapky a posoudit zda se shodují s již naměřenými hodnotami a potom postupovat dále. Dostalo se tedy očekávaných výsledků a na základě těchto výsledků se pokračovalo dále. Při dalším měření byla zvolena jako klapka A perforovaná 58% , klapku B stále prezentuje těsná klapka. Tímto měřením se nedosáhli příznivých výsledků (obr. 4-6) a následovala výměna, přičemž nyní byla v konstantním úhlu těsná klapka. Závěrem tohoto měření bylo doporučení se zaměřit na určité nastavení klapky B v rozsahu od 0° do 15° při malých změnách nastavení. Druhá část měření byla zaměřena na klapku B nahrazenou regulačními klapkami, ale i perforovanými za předpokladu stálého použití klapky perforované 35% (klapka A). Úkolem bylo naleznout příslušné autority těchto klapek, které by vykazovali stejné vlastnosti jako těsná klapka při B 15° .

Došlo se k závěru, že metoda, kterou byly autority klapek zvoleny není plně přesná, ale umožňuje nám dosáhnout výsledků, díky kterým můžeme vyloučit některá měření a naopak se soustředit na vhodnější natáčení klapek. Díky těmto úvahám byly doporučeny další oblasti na proměření. Práce však nepřináší přínos pro použitelnost těchto klapek ve vzájemných kombinacích, poněvadž důležitou veličinou charakterizují klapky je její akustický výkon. Nebylo možné spojit tyto dvě oblasti vzhledem k časové náročnosti, avšak pro kompletní pohled na regulační schopnosti klapek by bylo vhodné dát do souvislosti hydraulické vlastnosti s akustickými a regulační schopnost vztáhnout do souvislosti s výší generovaného akustického výkonu.

Seznam použité literatury

- [1] Kučera, M, : *Aerodynamické zdroje hluku při nízkých Machových číslech* [Dizertační práce] . Praha, 2010. 167.s ČVUT v Praze. Fakulta strojní.
- [2] MATUŠKA, T. : *Experimentální metody v technice prostředí*. Vyd. 1. Praha : Česká technika - nakladatelství. ČVUT, 2005, 200 s. ISBN 80-010-3291-4.
- [3] Hemzal, K. – Laboutka, K. : *Regulace klimatizačních a vytápěcích zařízení*. Ediční středisko ČVUT. Praha 1987
- [4] Kučera, Nový, - Vytápění, větrání, instalace, : *Regulační klapky s lineární charakteristikou*: časopis Společnosti pro techniku prostředí. Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2/2011 , s. 56-59 , ISSN 1210 - 1389
- [5] ŠNÁBL, Jan, : *Optimalizace prvků vzduchotechniky*. Praha 2014. Bakalářská práce (Bc.) ČVUT. Fakulta strojní

Seznam příloh

- Příloha 1** Těsná klapka, sondáž, perforované klapky 35%,58%
- Příloha 2** Perforovaná klapka 35% v sérii s těsnou klapkou (na pevno) + měření v meziúhlech této kombinace
- Příloha 3** Perforovaná klapka 58% v sérii s těsnou klapkou (na pevno)
- Příloha 4** Perforovaná klapka 58% (na pevno) v sérii s těsnou klapkou
- Příloha 5** Regulační klapky 35%, 93%, série perforované klapky 35% s regulačními klapkami