



Optimalizace proudění vzduchu jednotkou Fan-coil

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Lukáš Petr**
Vedoucí práce: Ing. Petr Novotný, CSc.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

Optimization of Air Flow through Fan-coil Unit

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Lukáš Petr**
Supervisor: Ing. Petr Novotný, CSc.





Zadání bakalářské práce

Optimalizace proudění vzduchu jednotkou Fan-coil

Jméno a příjmení: **Lukáš Petr**
Osobní číslo: S16000136
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávající katedra: Katedra energetických zařízení
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Řešitel se seznámí s konstrukcí a vlastnostmi fancoilových jednotek.
2. Na vybrané jednotce provede měření hladiny akustického výkonu, tlakové charakteristiky a chladícího výkonu.
3. Navrhne a realizuje způsob sledování proudění vzduchu jednotkou Fan-coil.
4. Po vyhodnocení výsledků připraví úpravy vedoucí ke zrovnoměnění ofuku výměníku. Praktický přínos úprav ověří měřením.

Rozsah pracovní zprávy: 30 stran
Forma zpracování práce: tištěná



Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN ISO 3745: Akustika – Určení hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro bez odrazové a polo bez odrazové místnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [2] ČSN EN ISO 3747: Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technické/provozní metody pro použití in situ v dozvukovém prostředí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [3] ČSN EN 1397: Výměníky tepla – Klimatizační jednotky voda-vzduch s ventilátorem -Zkušební metody pro stanovení výkonnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [4] ČSN EN 14511-3: Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin, tepelná čerpadla pro ohřívání a chlazení prostoru a procesní chladiče, s elektricky poháněnými kompresory – Část 3: Zkušební metody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [5] Firemní literatura.
- [6] Zkušební postupy technické laboratoře pro univerzální měřící trať a kalorimetrickou komoru.

Vedoucí práce: Ing. Petr Novotný, CSc.
Katedra energetických zařízení

Konzultant práce: Ing. Štěpán Pírko
FläktGroup Czech Republic a.s.

Datum zadání práce: 1. listopadu 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2020

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci 1. února 2019



doc. Ing. Václav Dvořák, Ph.D.
vedoucí katedry

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

20. 6. 2019

Lukáš Petr



Poděkování

Prostřednictvím tohoto krátkého odstavce bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na tvorbě této bakalářské práce, ať už přímo či nepřímo, a vedli mě na cestě studiem na Fakultě strojní Technické univerzity v Liberci. Díky patří všem zaměstnancům univerzity, mým spolužákům, kamarádům, vedoucímu práce a kolegům ze zkušebny, bez kterých by tato práce nikdy nevznikla. Rovněž děkuji i mé rodině za podporu při studiu a mimo něj.

Anotace

V práci je popisována podstata jednotek fan-coil, resp. jejich konstrukce a vlastnosti. Jsou prováděny návrhy úprav a řada experimentů s cílem zvýšení technické úrovně dodané jednotky.

Autor se zaměřuje na návrh zjištění proudění vyvozeného radiálním ventilátorem uvnitř jednotky a jeho vlivu na ofuk výměníku. Z vyvozených závěrů zjištěného profilu proudění navrhuje konstrukční úpravy jednotky, které by mohly vést ke zrovnoměrnění ofuku výměníku.

Provádí aplikaci úprav s následným ověřením jejich přínosu na zkušebních zařízeních technické laboratoře pro hlavní parametry jednotky, kterými jsou chladicí výkon, akustické parametry a vzduchové charakteristiky.

Klíčová slova

Fan-coil, experiment, chladicí výkon, akustika, proudění vzduchu

Annotation

This thesis is focused on the description of fan-coil units, specifically their construction and properties. Design modifications are being made along with experiments with the goal to enhance the technical aspect of the given unit.

Author is focusing on ascertainment of air flow derived by a radial fan inside the unit and its influence on the heat exchanger. From conclusion of air flow profile measurement, design modifications are being made which could lead to an increase in the size of coverage of air flow through the heat exchanger.

Application of these modifications is being made along with ascertainment with testing equipment of technical laboratory for their impact on main parameters of tested unit. Which are cooling capacity, acoustics parameters and air characteristics.

Keywords

Fan-coil, experiment, cooling capacity, acoustics, air flow

Obsah

1	Úvod	12
2	Popis jednotky fan-coil a její konstrukce	13
2.1	Základní popis	13
2.2	Konstrukce jednotky	16
2.3	Význam jednotlivých komponent	18
2.3.1	Výměník tepla	18
2.3.2	Ventilátor	20
2.3.3	Šasi a další komponenty	22
2.4	Jednotka použitá pro experiment	25
3	Funkce a hlavní parametry jednotky fan-coil	28
3.1	Topný výkon	29
3.2	Chladicí výkon	29
3.3	Akustické parametry	30
3.4	Vzduchové parametry	32
4	Postup a metodika měření experimentu	33
4.1	Postup	33
4.2	Profil proudění ventilátoru	34
4.3	Proudění ve výměňkové komoře	36
4.4	Měření chladícího výkonu	38
4.5	Měření vzduchových charakteristik	42
4.6	Měření hluku do okolí	44
5	Výsledky experiment	45
5.1	Profil proudění ventilátoru	45
5.2	Proudění ve výměňkové komoře	46
5.3	Návrh úprav jednotky	47

5.3.1	Úpravy jednoty v návaznosti kapitoly 5.1.....	47
5.3.2	Úpravy jednoty v návaznosti na kapitolu 5.2.....	48
5.4	Měření chladícího výkonu	51
5.4.1	Základní porovnání pro 5. stupeň otáček ventilátoru	51
5.4.2	Detailní porovnání nižších stupňů otáček ventilátoru	52
5.5	Měření vzduchových charakteristik	53
5.5.1	Základní porovnání pro 5. stupeň otáček ventilátoru	53
5.5.2	Detailní porovnání nižších stupňů otáček ventilátoru	56
5.6	Měření hluku do okolí	58
5.6.1	Základní porovnání pro 5. stupeň otáček ventilátoru	58
5.6.2	Detailní porovnání nižších stupňů otáček ventilátoru	59
6	Zhodnocení experimentu	61
6.1	Návrh finálního řešení	62
7	Závěr	63
	Seznam použité literatury	64

Seznam použitého značení

Značka	Jednotka	Veličina
P_H	[W]	Topný výkon
q_{mL}	[g/s]	Měrný průtok vody
h_{L1}	[kJ/kg]	Měrná entalpie kapaliny na vstupu do výměníku
h_{L2}	[kJ/kg]	Měrná entalpie kapaliny na výstupu z výměníku
c_{pL}	[kJ/(kg.K)]	Měrná tepelná kapacita kapaliny
t_{L1}	[°C]	Teplota kapaliny na vstupu do výměníku
t_{L2}	[°C]	Teplota kapaliny na výstupu z výměníku
P_{ele}	[W]	Celkový příkon
P_C	[W]	Celkový chladicí výkon
q_{mW}	[g/s]	Měrný průtok kondenzátu
P_{lat}	[W]	Latentní chladicí výkon
P_{cit}	[W]	Citelný chladicí
L_p	[dB]	Hladina akustického tlaku
p	[Pa]	Akustický tlak
p_0	[Pa]	Referenční hodnota akustického tlaku
L_w	[dB]	Hladina akustického výkonu
P	[Pa]	Akustický výkon
P_0	[Pa]	Referenční hodnota akustického výkonu
q_m	[kg/s]	Hmotnostní průtok
C	[-]	Součinitel průtoku
β	[-]	Poměr průměrů
ε	[-]	Součinitel expanze
Δp	[Pa]	Diferenční tlak

p	[Pa]	Absolutní statický tlak tekutiny
ρ	[kg/m ³]	Hustota tekutiny
d	[m]	Průměr otvoru clony primárního prvku
D	[m]	Vnitřní průměr potrubí
RPM	[1/min]	Otáčky za minutu
Q	[m ³ /h]	Objemový průtok
I	[A]	Elektrický proud

1 Úvod

Bakalářská práce vznikla úzkou spoluprací s firmou FläktGroup Czech Republic a.s., dále jen FläktGroup, se sídlem v Liberci. Prakticky celá práce proběhla pod záštitou oddělení vývoje, v jehož čele působí Ing. Dušan Kraus. Měření a řešení problematiky bylo zkoumáno v technické laboratoři, která je součástí oddělení vývoje, pod vedením Ing. Štěpána Pírka, který je i hlavním konzultantem této práce.

Jedním z hlavních cílů je seznámení řešitele s konstrukcí jednotek fan-coil vyráběných firmou FläktGroup. Ty patří mezi hlavní produkty portfolia firmy. V současné době vyráběné Flex-geko je využíváno k popisu základní problematiky typů těchto jednotek.

Praktická část experimentu, která je značně vývojového charakteru, se provádí na prototypu nově vyvíjené jednotky fan-coil s interním označením Focus. Cílem je zjistit chování procházejícího vzduchu vnitřkem jednotky a pokusit se navrhnout úpravy, které by mohly vést ke zrovnoměnění ofuku výměníku a vylepšení chladícího (topného) výkonu, případně i akustických a vzduchových parametrů. Rozdíly v hodnotách základní jednotky a navržených úprav jsou následně ověřeny měřeními v technické laboratoři FläktGroup.

Problematika všech funkcí a prvků jednotky, jakožto i použitých metod měření, je značně rozsáhlá a popisuje ji mnoho odborných publikací a státních norem v rozsazích stovek až tisíců stran (viz použitá literatura). Proto je v této práci provedeno jen zkrácené teoretické shrnutí pro základní pochopení těchto principů.

2 Popis jednotky fan-coil a její konstrukce

2.1 Základní popis

Jednotka fan-coil je klimatizační zařízení skládající se z výměníku tepla, sloužícího k topení a/nebo chlazení, ventilátoru a šasi. Může být součástí komplexního systému sloužícího k navození tepelného komfortu v obytných, komerčních nebo průmyslových budovách (Obrázek 3). Taktéž ji lze používat i jako samostatný prvek napojený na zdroj topné/chladicí vody. Využívána může být s opláštěním (Obrázek 1) nebo bez (Obrázek 2). Nabízí širokou škálu rozměrů a příslušenství pro potřeby konkrétního zákazníka.



Obrázek 1: Fan-coil jednotka Flex-Geko firmy FläktGroup s opláštěním comfort [1]

Tepelný komfort, jinak také tepelné pohodlí nebo tepelná pohoda, je stav, který vnímá člověk při pobytu v daném prostředí. Zdroje tepla mohou být různé, může jím být i sám člověk, ten při různých činnostech produkuje teplo a je tedy vhodné zajistit odvod tohoto tepla z prostoru, aby nedošlo ke zvýšení teploty těla. Toho je možné docílit mnoha způsoby, kdy jedním z nich je právě použití jednotky fan-coil.

Je důležité brát na zřetel, že přivedení/odvod tepla nesmí být příliš intenzivní, aby nedošlo ke zvýšení/snížení, které by mohlo negativně ovlivnit zdravotní stav jedince. Optimálně by člověk ve využívaném prostoru neměl cítit pocit nepříjemného tepla ani

chladu. Vhodné je tedy správně zvolit jednotku, potažmo její topný/chladicí výkon, pro použití v daném prostoru a také ji správně nastavit.

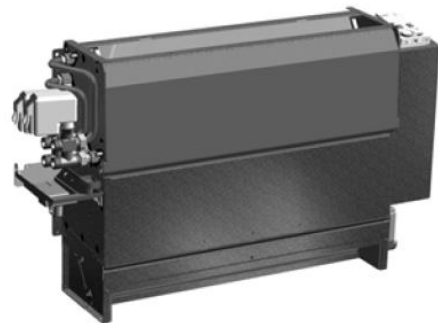
Neméně důležité je i udržování čistoty vnitřku jednotky, kdy např. zanešení ventilátoru nebo výměníku tepla prachovými částicemi může mít negativní vliv na parametry jednotky. Je tedy vhodné správně zvolit a umístit filtr, který zamezí vniknutí nežádoucích částic, a pravidelně jej čistit.

Fan-coil je zařízení, které má několik možností použití. Může být např. samostatně ustavené jako podstropní nebo nástěnná jednotka v konkrétní místnosti a sloužit jako náhrada za topný a klimatizační člen zároveň.

Podstropní jednotka



Nástěnná jednotka



Obrázek 2: Flex-Geko bez opláštění v režimu podstropní a nástěnné jednotky [1]

Další možností použití je zabudování do soustavy vzduchového potrubí, které je napojené na výdech jednotky a může sloužit k rozvádění ošetřeného vzduchu do několika oblastí najednou.

Nabízí se široká škála příslušenství pro docílení požadovaných vlastností. Jako jsou např. topné registry, usměrňovače proudu vzduchu a mnoho dalšího.

Menší nevýhodou může být, že jednotky fan-coil produkují hluk spolu s topným/chladicím výkonem. Tato skutečnost je způsobena samotným principem a konstrukcí jednotky.

Při použití by se tak mělo brát v potaz, jaká úroveň hluku je přípustná pro dané prostory. Jednotka by rovněž neměla překračovat určité hodnoty tónových složek na různých frekvencích, aby nedošlo k negativnímu vlivu na uživatele.

Odstranit hlukové složky je prakticky nemožné, lze se však snažit o dosažení co nejnižších hodnot např. použitím vhodných materiálů, komponent nebo úpravou vnitřní konstrukce jednotky.

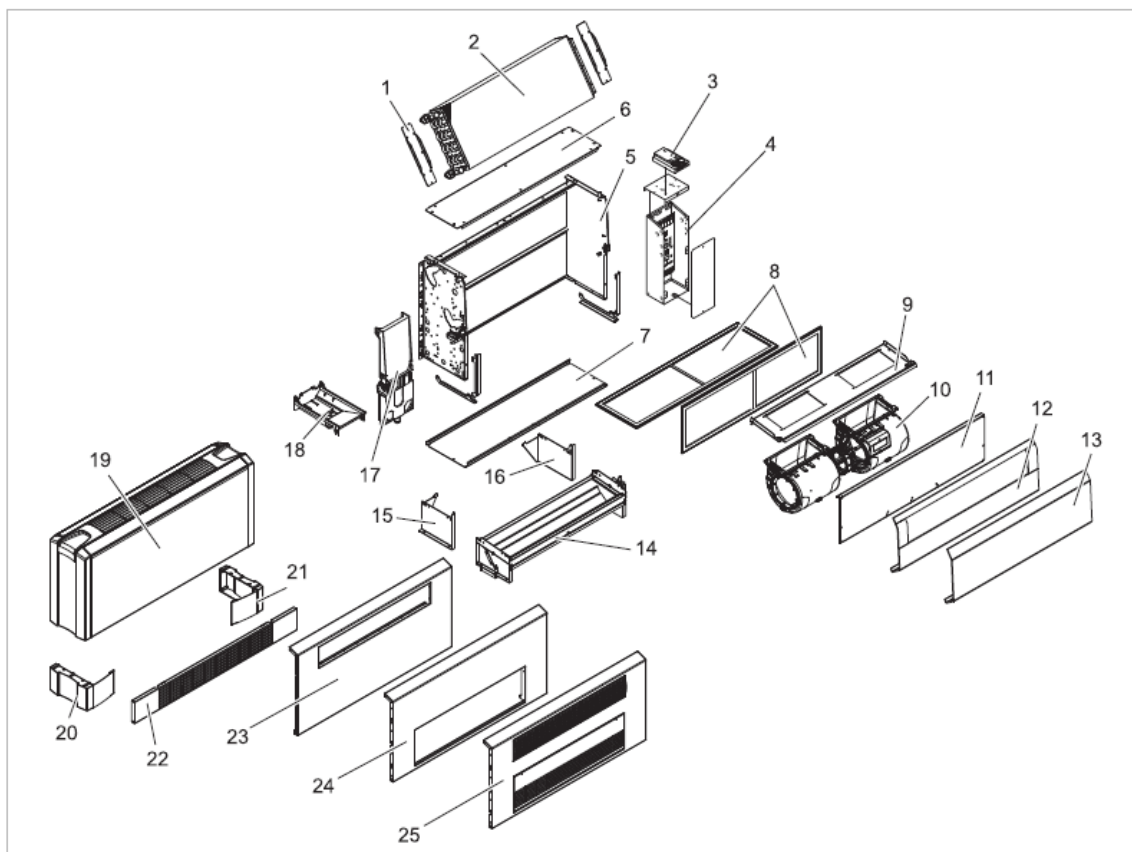


Obrázek 3: Příklad umístění jednotky fan-coil [1]

2.2 Konstrukce jednotky

Konstrukce jednotky fan-coil bude vysvětlena na jednotce Flex-Geko firmy FläktGroup, která je jedním z nejprodávanějších produktů společnosti.

Samotná jednotka se skládá ze tří hlavních komponent, kterými jsou výměník tepla, ventilátor a plechové šasi. Je i mnoho doplňkových a specializovaných částí, které jsou převážně součástí šasi. Konstrukce je znázorněna na schématu (Obrázek 4).



Konstrukční díly klimatizační jednotky Flex-Geko

- | | |
|---|---|
| 1: Držák výměníku | 14: Směšovací komora* se servopohonem |
| 2: Výměník | 15: Noha jednotky levá (pro oběhové jednotky) |
| 3: Ovladač | 16: Noha jednotky pravá (pro oběhové jednotky) |
| 4: Elektroskříň z ocelového plechu | 17: Přídavná podstropní kondenzační vana |
| 5: Skříň (zadní panel s bočnicemi) | 18: Přídavná nástěnná kondenzační vana |
| 6: Krycí plech- výdech čelní | 19: Opláštování jednotky |
| 7: krycí plech - sání čelní | 20: Opláštování nohou levé |
| 8: Filtr | 21: Opláštování nohou pravé |
| 9: Hlavní kondenzační vana (u nástěnné jednotky) | 22: Sací mřížka |
| 10: Ventilátor | 23: Čelní panel opláštování - výdech čelní |
| 11: Kryt ventilátoru - sání spodní/zadní | 24: Čelní panel opláštování - sání čelní |
| 12: Kryt ventilátoru - sání čelní | 25: Čelní panel opláštování - výdech a sání čelní |
| 13: Kryt ventilátoru - výdech horní (nástěnná jednotka) a hlavní kond. vana (podstropní jednotka s vodorovným výdechem) | |

Obrázek 4: Schéma konstrukčních dílů jednotky Flex-geko [1]

Jednotky Flex-Geko jsou vyráběny ve velikostech 1 až 8, kdy hlavní rozdíl je v šířce jednotky a v počtu (typu) použitých ventilátorů. Hlavním parametrem, který se mění, je množství vzduchu procházející jednotkou a jeho schopnost předat topný/chladicí výkon. Rozdíly jsou viditelné v tabulce (Tabulka 1).

Tabulka 1: Základní parametry jednotek různých velikostí [1]

Velikost	Šířka [mm]	Množství vzduchu [m ³ /h]	Hladina akustického tlaku [dB(A)]	Výkon [kW]	
				Topný výkon \dot{Q}_H	Chladicí výkon \dot{Q}_K
1	840	145-530	<20-50	0,6-5,5 0,9-3,0	
2	990	155-540	<20-49	1,0-6,2 1,0-3,4	
3	1140	275-890	21-51	1,7-9,6 1,7-5,3	
4	1290	285-990	20-51	1,9-11,1 2,0-6,2	
5	1440	295-1010	20-51	2,1-12,1 2,0-6,7	
6	1590	425-1310	24-54	2,9-14,2 2,6-7,6	
7	1740	455-1420	24-55	3,2-15,9 2,9-8,7	
8	1890	575-1820	25-53	3,9-19,6 3,7-10,8	

Rozdíly v topných/chladicích výkonech jsou na první pohled patrné. Je na zákazníkovi, aby si zvolil vhodný rozměr jednotky pro použití v zástavbovém prostoru, s potřebnými výkony.

S větším rozměrem souvisí i vyšší cena, což je zřejmé, protože je nutné použití většího objemu materiálu na výrobu šasi, většího a výkonnějšího výměníku tepla a ventilátoru/ů, nemluvě o navýšení prostřednictvím prodloužení doby montáže, zvýšení ceny za dopravu a dalších výdajů.

2.3 Význam jednotlivých komponent

2.3.1 Výměník tepla

Výměníky tepla jsou zařízení, která slouží k předávání tepelné energie pomocí proudících médií.

Hlavní princip výměníku tepla bude vysvětlen na chladícím výkonu. Chladicí médium vtéká vstupní trubkou do výměníku a při průtoku skrz něj přijímá teplo ze vzduchu dodávaného ventilátorem, médium se postupně ohřívá a procházející vzduch se ochlazuje. Analogicky lze popsat i ohřev vzduchu.

Výměníky tepla používané pro jednotky fan-coil ve firmě FläktGroup jsou z měděných trubek s hliníkovými lamelami (Obrázek 5) pro použití při max. provozním tlaku 1,6 MPa a max. teplotě přiváděné kapaliny 90°C.



Obrázek 5: Výměník tepla s měděnými trubkami a s hliníkovými lamelami (SEST 2 3RR)

V jednotkách fan-coil se nejčastěji využívají lamelové výměníky tepla s dvou (Obrázek 6) nebo čtyřtrubkovou (Obrázek 7) konstrukcí, které se dále dělí na jednořadé, dvouřadé, třířadé atd.

Dvoutrubkový výměník může provozovat v jeden okamžik topení, nebo chlazení. Přepnutí mezi těmito dvěma stavy vyžaduje změnu přívodu vody z topného okruhu na chladicí a opačně. Pokud je požadováno provozovat obě dvě funkce jednotky, je třeba další ovládací prvky v potrubním systému topné/chladicí vody, které nejsou součástí jednotky.

Dvoutrubkové výměníky je z ekonomického hlediska vhodné využívat pouze na jednu z uvedených funkcí. Na jednotce lze přepínat mezi topným a chladícím výkonem, ale je nutná vhodná konstrukce vodovodních potrubních systémů budovy a možnost přepínání mezi okruhy, což se může v celkovém součtu značně prodražit.



Obrázek 6: Boční pohled na dvoutrubkový, dvouřadý výměník

Čtyřtrubkový výměník je schopen v jeden okamžik zároveň topit a chladit. Je na pováženou, jakého efektu spuštěním obou stupňů lze dosáhnout, výhoda je však zakořeněna v přívodu vody do výměníku.

Potrubní systém je napojen z topného okruhu potrubí budovy na topný okruh výměníku a naopak chladící potrubní okruh budovy na chladící okruh výměníků. Nikdy tak nemůže dojít ke smíšení těchto dvou kapalin a lze použít i rozdílné typy pro topení/chlazení, což může být v určitých případech použitím značnou výhodou.

Nevýhodou čtyřtrubkových výměníků je jejich rozměr a tlaková ztráta na straně vzduchu. Výhodou je však univerzálnost a schopnost změny z topení na chlazení a opačně během několika okamžiků pouhým vysláním signálu.



Obrázek 7: Boční pohled na čtyřtrubkový, čtyřřadý výměník

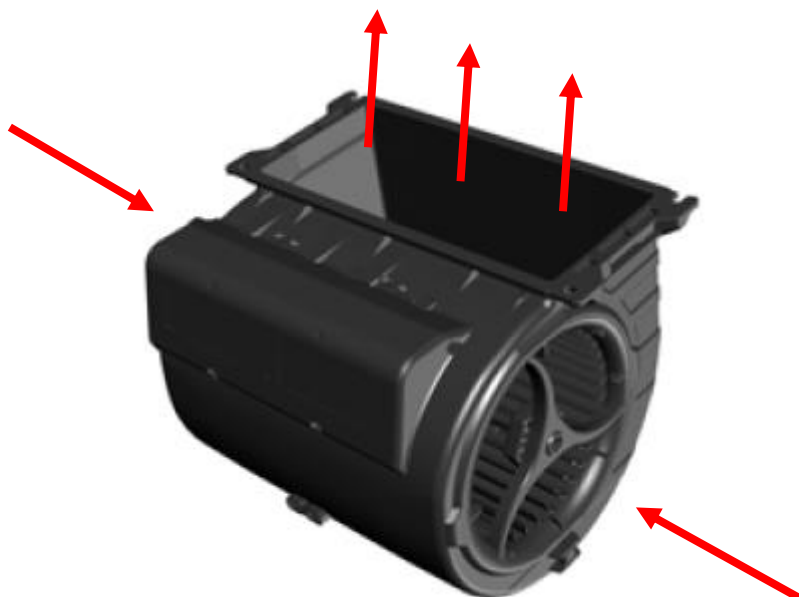
Popis problematiky výměníků tepla je značně rozsáhlé téma. Detailnější popis problematiky lze dohledat např. zde [5].

2.3.2 Ventilátor

V jednotkách fan-coil firmy FläktGroup se využívají radiální ventilátory typu AC (AC = střídavý proud) nebo EC (= elektronicky komutované motory) ve velikostech single, double a triple.

Velikost single lze popsat jako jeden lopatkový rotor se zabudovaným motorem ve středu ventilátoru (Obrázek 8). Větší ventilátory double (Obrázek 10) a triple mají motor vně základní konstrukce a lopatkové rotory se otáčejí díky spojení přes hřídele.

Princip radiálního ventilátoru lze vidět na obrázku (Obrázek 8), kde vzduch vstupuje na bocích, prochází přes rotující lopatky a vystupuje obdélníkovým výdechem.

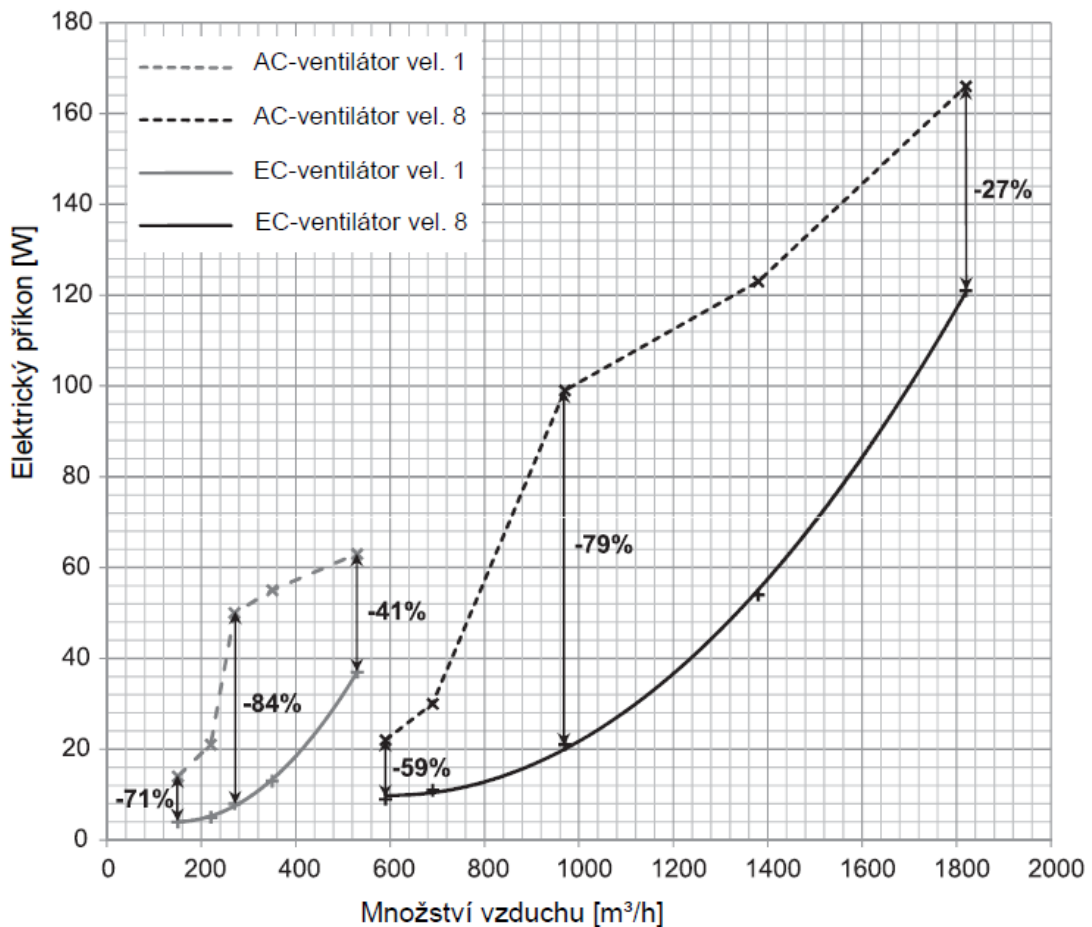


Obrázek 8: Radiální ventilátor velikosti single s naznačeným směrem proudění vzduchu [1]

EC-motory jsou stejnosměrné motory, jejichž rotor není, na rozdíl od konvenčních AC-motorů, konstrukčně řešen jako cívka, ale sestává se z permanentních magnetů. Elektronické řízení motoru umožňuje plynulý (spojitý) provoz, přičemž integrovaná elektronika zajišťuje v závislosti na otáčkách magnetické střídavé pole.

Motor tak neustále pracuje v optimálních podmínkách, což má za následek maximální točivé momenty s minimálními ztrátami. Účinnost EC-motorů používaných ve společnosti FläktGroup je ve srovnání s AC-motory přibližně dvojnásobná.

Porovnání AC a EC-ventilátoru – Flex-Geko



Obrázek 9: Graf porovnání AC a EC ventilátorů [1]

Z uvedeného grafu (Obrázek 9) je možné vyvodit, že AC motor má strmější křivky a díky tomu tolik neklesá výkon při zvyšování tlakové ztráty, resp. zanášení filtru. Tento jev s sebou však nese i zvýšení hlučnosti.

Po uvedených skutečnostech se může zdát, že je jen málo důvodů pro použití AC oproti EC motoru, protože EC motor je ve všech ohledech lepší. Použití AC ventilátorů má však své místo, důvodem je např. zaběhlost ve výrobě a značná dlouhodobá spolehlivost oproti elektronicky řízenému EC motoru.

Odbyt AC motoru v současné době také podporuje prodejní cena, která je téměř o polovinu nižší než u EC motoru. Je tedy na zákazníkově, zda zvolí vyšší počáteční náklady s EC motorem a dlouhodobě se mu investice může vrátit díky vysoké účinnosti, nebo zda zvolí levnější AC motor s vyšší spolehlivostí a dražším provozem.

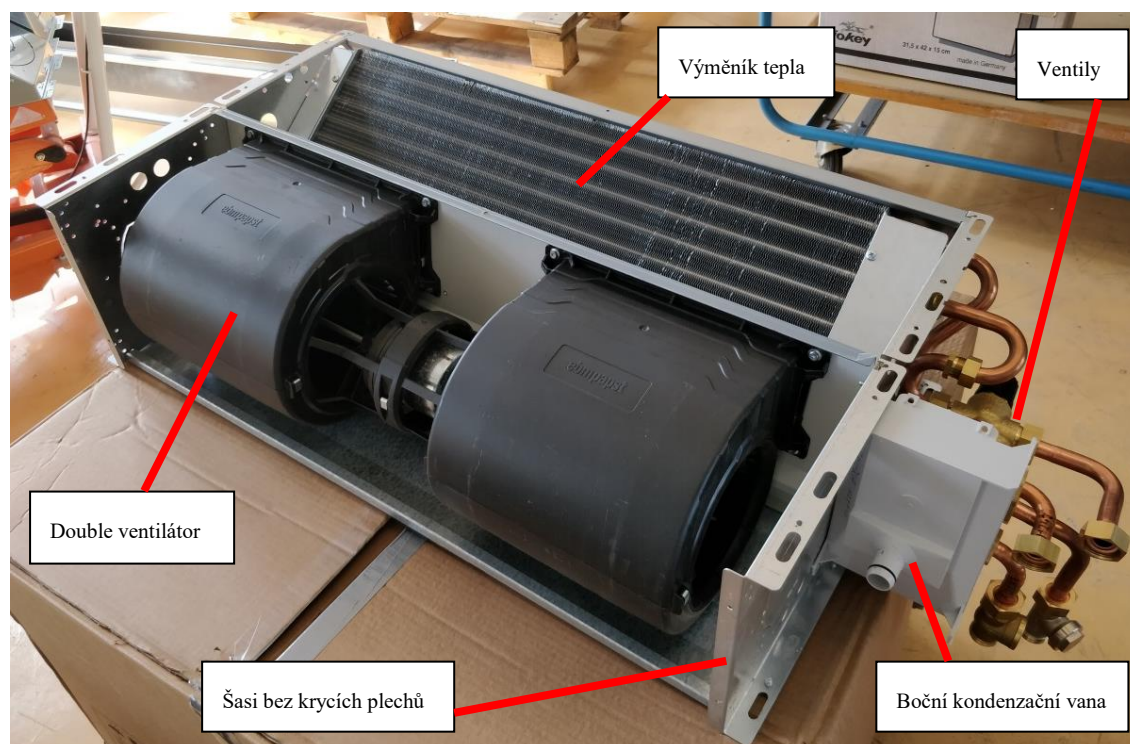
2.3.3 Šasi a další komponenty

Posledním komponentem třech hlavních konstrukčních prvků jednotky fan-coil je samotné šasi, neboli skříň (Obrázek 10). Šasi je v případě jednotky Flex-Geko vyrobeno z plechu.

V šasi jsou zabudovány hlavní funkční prvky, výměník tepla a ventilátor spolu s dalšími komponenty jako je prachový filtr, kondenzační vana, izolace, elektro skříň, kabely a další.

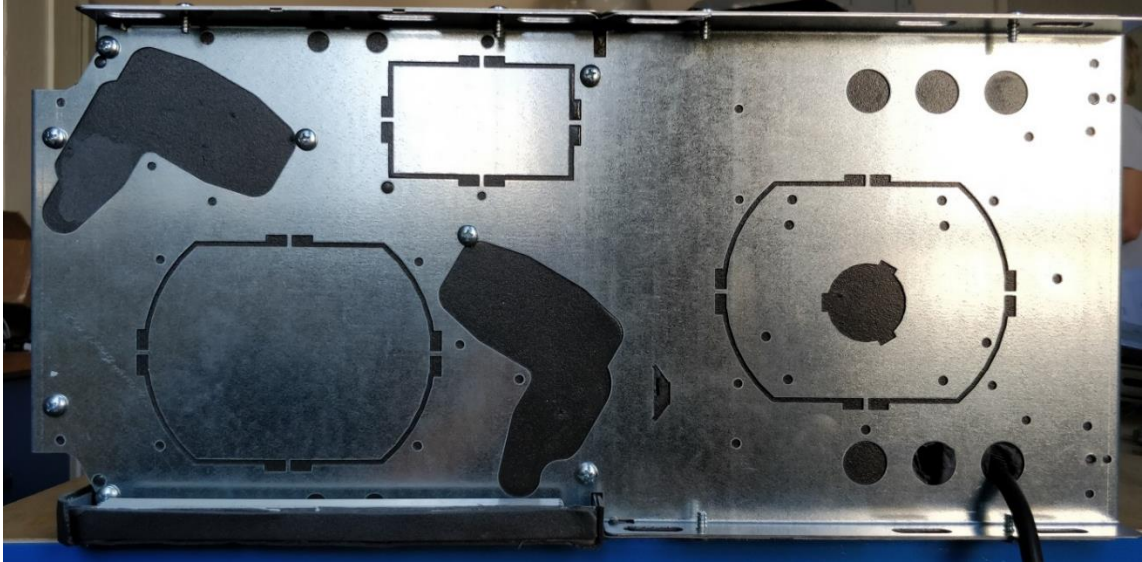
Šasi musí být vyrobeno z dostatečně kvalitních materiálů, aby odolalo použití jednotky za přítomnosti velkého množství vlhkosti v okolním prostředí.

Rovněž musí být připraveno na výkyvy teplot, protože jednotky lze používat jako topné i chladicí a může docházet k dilataci při použití nevhodných materiálů. Tyto skutečnosti je nutné brát v potaz pro životnost jednotky.



Obrázek 10: Šasi jednotky flex-geko velikosti 3 se zabudovaným ventilátorem velikosti double a čtyřtrubkovým výměníkem

V jednotce se používá izolace na místech, kde hrozí kondenzace vodních par na jinak neošetřených místech šasi, mohlo by zde dojít k degradaci konstrukčních materiálů a k případným ztrátám. Další použití je k utěsnění a zastínění nežádoucích konstrukčních otvorů jednotky (Obrázek 11).



Obrázek 11: Vnější pohled na bočnici jednotky s izolací

Na sání jednotky je z pravidla umístován prachový filtr (Obrázek 12), který zamezuje vniknutí nechtěných částic do vnitřku jednotky. Ty by zde mohly způsobit zanesení komponent, což by mohlo vést ke zhoršení parametrů jednotky, případně i k jejímu poškození.

Je důležité správně zvolit třídu filtru pro použití v daném prostředí a dbát na jeho čistotu, aby nedošlo ke kompletnímu zanesení a ztrátě funkcí jednotky.

Ve firmě FläktGroup se používá několik základních typů filtrů s obchodním označením G1, G2 a G3, řízených normou EN 16890. Kvalita filtru je od nejnižšího stupně filtrace (G1) po nejvyšší (G3).



Obrázek 12: Filtr G1 umístěný na sání jednotky velikosti 2

Základní nastavení úrovně topení/chlazení se může provádět ovladačem pro nastavení požadovaného stupně otáček ventilátoru, což vede ke zvýšení/snížení objemu vzduchu, který projde skrze jednotu a předá/odebere tak více, či méně tepla.

Další možností ovládání může být nastavení velikosti průtoku topné/chladicí kapaliny, která přitéká nebo odtéká z výměníku, pomocí regulačních ventilů, nebo výkonu čerpadla.

Tyto dva způsoby lze libovolně kombinovat pro dosažení požadovaných hodnot. Možností je i použití automatického nastavení pomocí např. termostatu, na kterém uživatel nastaví požadovanou teplotu, vhodně umístěný senzor předá aktuální hodnotu vyhodnocovacímu prvku a ten rozhodne o nastavení stupně otáček a průtoku vody výměníkem. Lze použít i složitější ovladače pro komplexnější nastavení funkcí.

Dalším důležitým prvkem je kondenzační vana zabudovaná v jednotce, případně na jednotce, která slouží k zachycení a odvodu kondenzátu vysráženého ve výměňkové komoře, resp. na výměníku tepla.

Další použité komponenty jsou viditelné na schématu konstrukce (Obrázek 4), je i celá řada doplňkových příslušenství pro potřeby konkrétního zákazníka. Jednotky s nestandardním příslušenstvím se nazývají atypické.

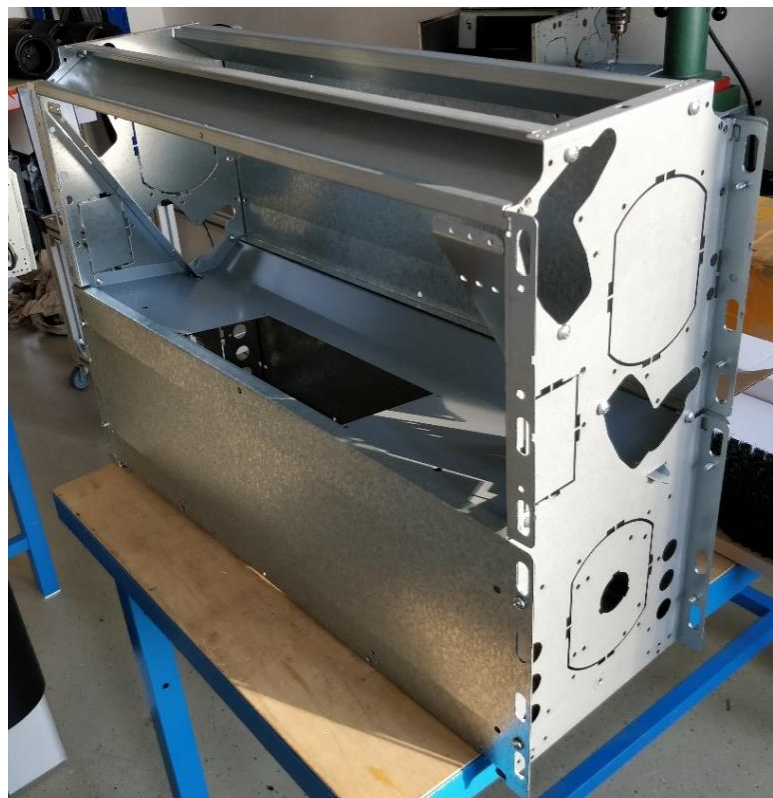
2.4 Jednotka použitá pro experiment

Všechna měření se provádí na prototypu nově vyvíjené jednotky fan-coil firmy FläktGroup (Obrázek 16, Obrázek 17), která má v budoucnu nahradit Flex-geko popsané v předchozích kapitolách. Zatím se nejedná o sériově vyráběnou jednotku, prototypy jsou určeny pro zkoušení a návrhy úprav konstrukce.

Funkce nové jednotky označované interně jako Focus jsou prakticky identické s doposud zavedeným Flex-geko. Rozdíl je však ve větší univerzálnosti šasi.

Univerzálnost šasi by, jak se předpokládá, mohla zefektivnit výrobu. Cílem je rovněž díky univerzálnosti dosáhnout snížení ceny pro koncového zákazníka při vylepšení všech hlavních parametrů jednotky.

Hlavní použité komponenty jednotky v experimentu jsou: Šasi - prototyp Focus (velikost 2) GND2 - Obrázek 13, výměník tepla SEST 2 3RR (firma SEST, dvoutrubkový, třířadý) - Obrázek 14, ventilátor - D4E146-LV19-12 (AC ventilátor typu single od firmy EBM Papst) – Obrázek 15 a filtr G1 (kovový rámeček, filtrační rouno) – Obrázek 12.



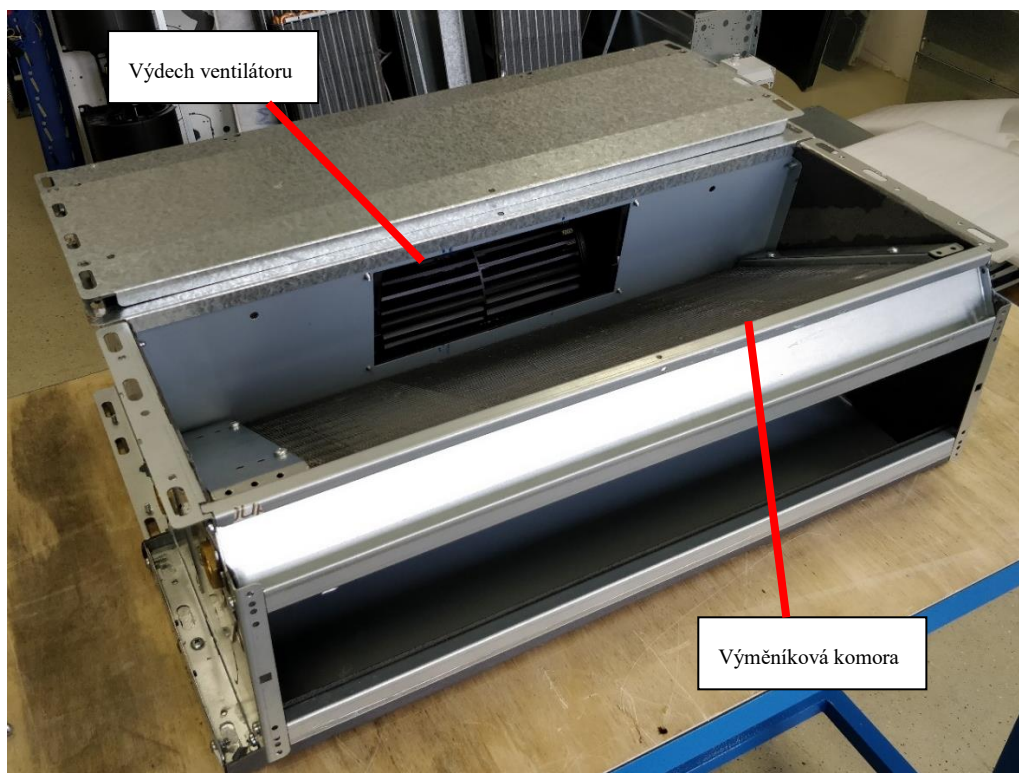
Obrázek 13: Šasi GND2 bez vnitřní izolace



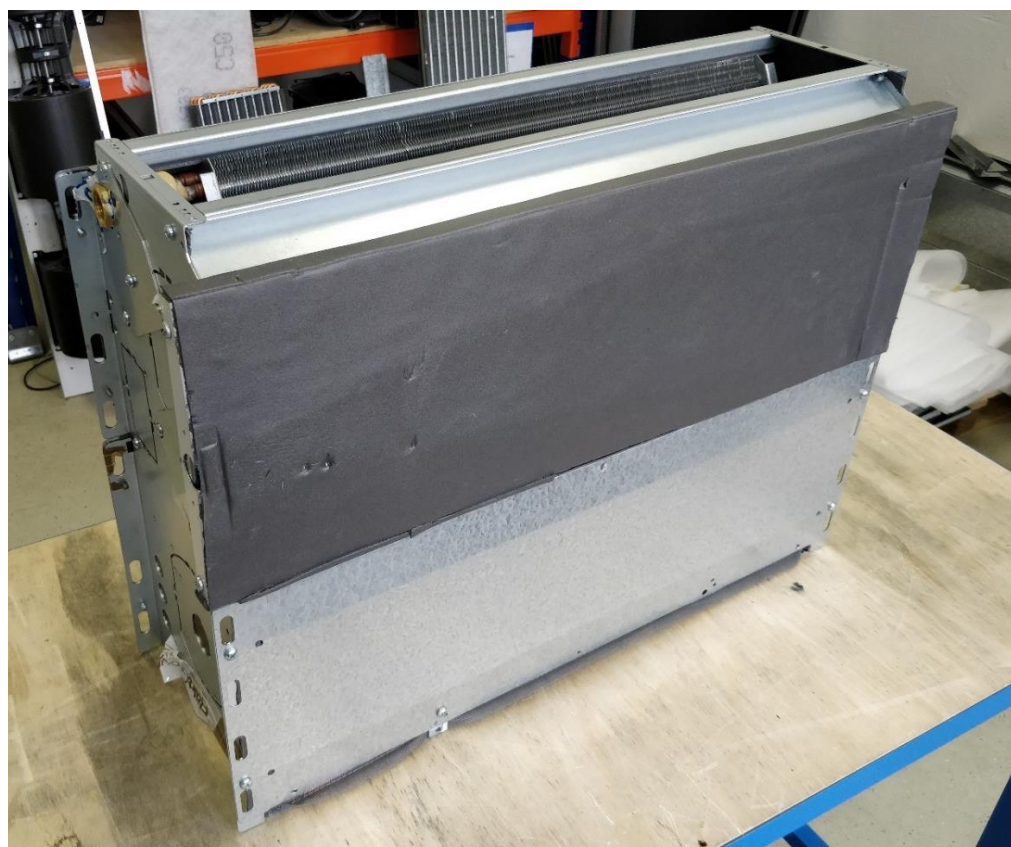
Obrázek 14: Výměník tepla SEST 2 3RR



Obrázek 15: Ventilátor D4E146-LV19-12



Obrázek 16: Šasi se zabudovanými komponenty s pohledem na výdech ventilátoru a odkrytou komoru výměňíku

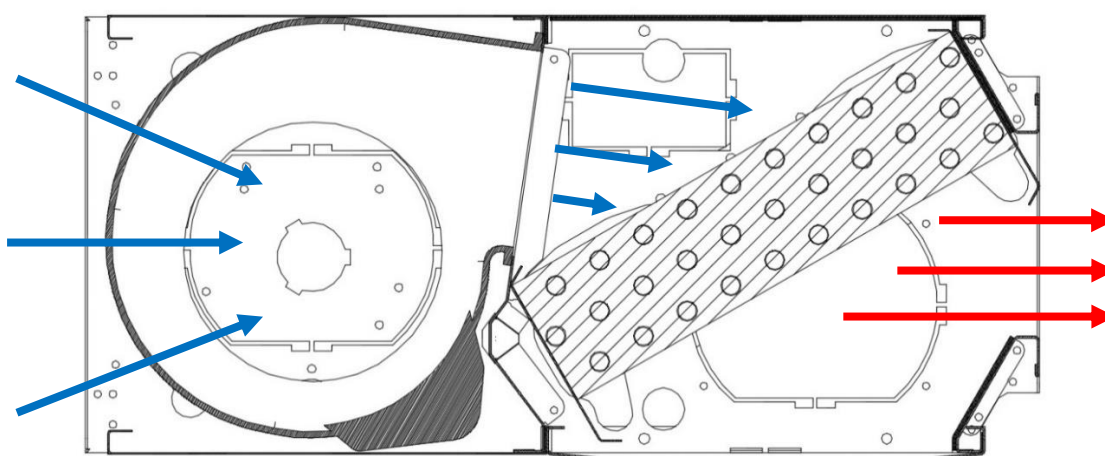


Obrázek 17: Jednotka použitá pro experiment

3 Funkce a hlavní parametry jednotky fan-coil

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, tak základní funkce a princip jednotky je velmi jednoduchý.

Fan-coil jednotka zvyšuje množství vzduchu proudícího přes výměník tepla a tím zvyšuje koeficient přestupu tepla. Díky tomu jsme schopni vytápět nebo chladit místnost rychle, efektivně a přesně. Na schématu (Obrázek 18) je pomocí modrých šipek, symbolizujících chladný vzduch, a červených šipek, symbolizujících ohřátý vzduch, popsána jednotka ve funkci topení.



Obrázek 18: Základní schéma vnitřku jednotky fan-coil při ohřevu vzduchu

Výhodou je možnost v jedné jednotce zkombinovat funkci topení a chlazení a ušetřit tak nemalé množství zástavbového prostoru a finančních prostředků.

Nevýhodou může být, že kvůli principu jednotky bude vždy přítomna i akustická složka, kterou není možné úplně odstranit.

Hlavní parametry, které se využívají pro popis funkce jednotky, jsou již zmíněný topný a chladicí výkon a vzduchové a akustické parametry. Dále jsou zde druhořadé vlastnosti jako např. schopnost filtrace vzduchu a odvlhčování prostoru.

3.1 Topný výkon

Výsledné teplo předané z jednotky do vzduchu. [5]

Topný výkon popisuje schopnost jednotky vytápět okolní prostředí. Princip chodu jednotky je takový, že se na vstup výměníku přivádí z vodního okruhu potrubí ohřátá voda. Ta prochází trubkami výměníku a předává část své energie trubkám a lamelám, které jsou ve styku s proudícím vzduchem, který ohřívá prostor za jednotkou. Hodnota se udává ve wattech.

Výpočet topného výkon jednotky fan-coil se určuje jako součet topného výkonu, měřeného na vstupu vody, a celkového elektrického příkonu (1).

$$P_H = q_{mL} \times (h_{L1} - h_{L2}) + P_{ele} \quad (1)$$

Kde: $h_{L1} = c_{pL} \times t_{L1} \quad (2)$

$$h_{L2} = c_{pL} \times t_{L2} \quad (3)$$

3.2 Chladicí výkon

Celkový chladicí výkon: Celkové teplo odebrané jednotkou z okolního vzduchu je sumou citelného a latentního chladicího výkonu (4). [5]

$$P_C = q_{mL} \times (h_{L2} - h_{L1}) - P_{ele} \quad (4)$$

Latentní chladicí výkon: Teplo, které je odebráno ze vzduchu kondenzací vodních par na výměníku tepla (5). [5]

$$P_{lat} = q_{mW} \times \Delta h_W \quad (5)$$

Citelný chladicí výkon: Je vyjádřením poklesu teploty vzduchu měřené suchým teploměrem (6). [5]

$$P_{cit} = P_C - P_{lat} \quad (6)$$

Chladicí výkon popisuje schopnost jednotky chladit okolní prostředí. Princip chodu jednotky je takový, že se na vstup výměníku přivádí z vodního okruhu potrubí nachlazená voda. Ta prochází trubkami výměníku a odebírá část energie trubkám a lamelám, které jsou ve styku s proudícím vzduchem, který ochlazuje prostor za jednotkou. Hodnota se udává ve wattech.

3.3 Akustické parametry

Jsou důležitou součástí při popisování jednotky a následném provozu. Cílem je docílit co možná nejnižších hodnot. Příliš vysoké hodnoty by mohly mít negativní vliv na uživatele. Akustické parametry se dělí na dvě hlavní složky:

Hladina akustického tlaku je velikost zvukové energie vyzařované ze zdroje hluku. Je slyšitelná zdravým lidským uchem a udává se v decibelech. Vyjadřuje se jako desetinásobek dekadického logaritmu poměru kvadrátu akustického tlaku p a kvadrátu referenční hodnoty p_0 (7). Jednotkou jsou decibely.

$$L_p = 10 \times \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad (7)$$

Kde: $p_0 = 20 \mu Pa$

Hladina akustického výkonu je absolutní hodnota, pomocí které se dají určit hladiny hluku s vyšší přesností než u akustického tlaku. Při měření je však nutné postupovat podle přesně definovaných podmínek. Tento parametr slouží k odbornému měření a výpočtům akustiky. Určuje se jako desetinásobek dekadického logaritmu poměru akustického výkonu P a referenční hodnoty P_0 (8). Jednotkou jsou decibely.

$$L_w = 10 \times \log \frac{P}{P_0} \quad (8)$$

Kde: $P_0 = 1 pW$

Pro potřeby této práce je důležité znát význam vzorce (9), kde se vypočítá hladina akustického výkonu zkoušeného zdroje hluku pro každé oktávové pásmo L_W a pro meteorologické podmínky v době a místě zkoušky.

$$L_W = L_{W(RSS)} - \overline{L_{p(RSS)}} + \overline{L_{p(ST)}} \quad (9)$$

$L_{W(RSS)}$ je hladina akustického výkonu kalibrovaného referenčního zdroje zvuku v daném oktávovém pásmu v decibelech. [8]

$\overline{L_{p(RSS)}}$ je korigovaná hladina střední hodnoty časově průměrovaného akustického tlaku referenčního zdroje zvuku v každém oktávovém pásmu. [8]

$\overline{L_{p(ST)}}$ je korigovaná hladina střední hodnoty časově průměrovaného akustického tlaku zkoušeného zdroje hluku v každém oktávovém pásmu pro zvolený provozní režim. [8]

Zkoumání tohoto vědního oboru je velmi rozsáhlé téma a věnuje se mu celá řada státních norem a odborných publikací. Převážná část vypsanych informací jakožto i dalších detailů o charakteru popsanych termínů a jejich výpočet může být dohledání v [8].

3.4 Vzduchové parametry

Další nedílnou součástí při popisu jednotky fan-coil jsou její vzduchové parametry, ze kterých lze předběžně určit, případně ověřit, teoretické hodnoty chladícího a topného výkonu. V závislosti na průtoku vzduchu jednotkou se určuje tlaková ztráta, otáčky ventilátoru, jeho příkon a dodávaný proud.

Princip metody měření je v zabudování prvku (clony) do potrubí, v němž protéká tekutina. Zabudování tohoto prvku způsobí rozdíl statických tlaků před a za prvkem. Průtok se stanovuje z naměřených hodnot tlakového rozdílu a ze zjištěných vlastností tekutiny. Hmotnostní průtok může být vypočítán podle jednoho z uvedených vzorců (10) a (11).

$$\text{Pro výpočet před prvkem: } q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_1 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (10)$$

$$\text{Pro výpočet za prvkem: } q_m = \frac{c}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon_2 \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_2} \quad (11)$$

$$\text{Kde: } \varepsilon_2 = \varepsilon_1 \sqrt{1 + \frac{\Delta p}{p_2}} \quad (12)$$

$$\beta = d/D \quad (13)$$

Převážnou část vypsanych informací, jakožto i dalších detailů, o charakteru popsanych termínů a jejich výpočtu může dohledat v [9].

4 Postup a metodika měření experimentu

Měření a návrh konstrukčních úprav jednotky fan-coil budou provedeny na prototypu jednotky Focus velikosti 2 dodané firmou FläktGroup v její technické laboratoři.

Zadání určuje, že měření se bude provádět pro chladicí výkon s ověřením vzduchových a akustických parametrů.

Všechna měření se řídí přesnými postupy stanovených v technických normách uvedených u každé zvolené metody. Výjimkou je zkoumání proudění vzduchu jednotkou, které bylo navrženo z předchozích zkušeností a neřídí se žádným stanoveným postupem ani normou.

4.1 Postup

Problematika celého experimentu je značně rozsáhlá a časově náročná, pro maximální efektivnost a využití zkušebních zařízení byl zvolen postup uvedený na schématu (Obrázek 19).

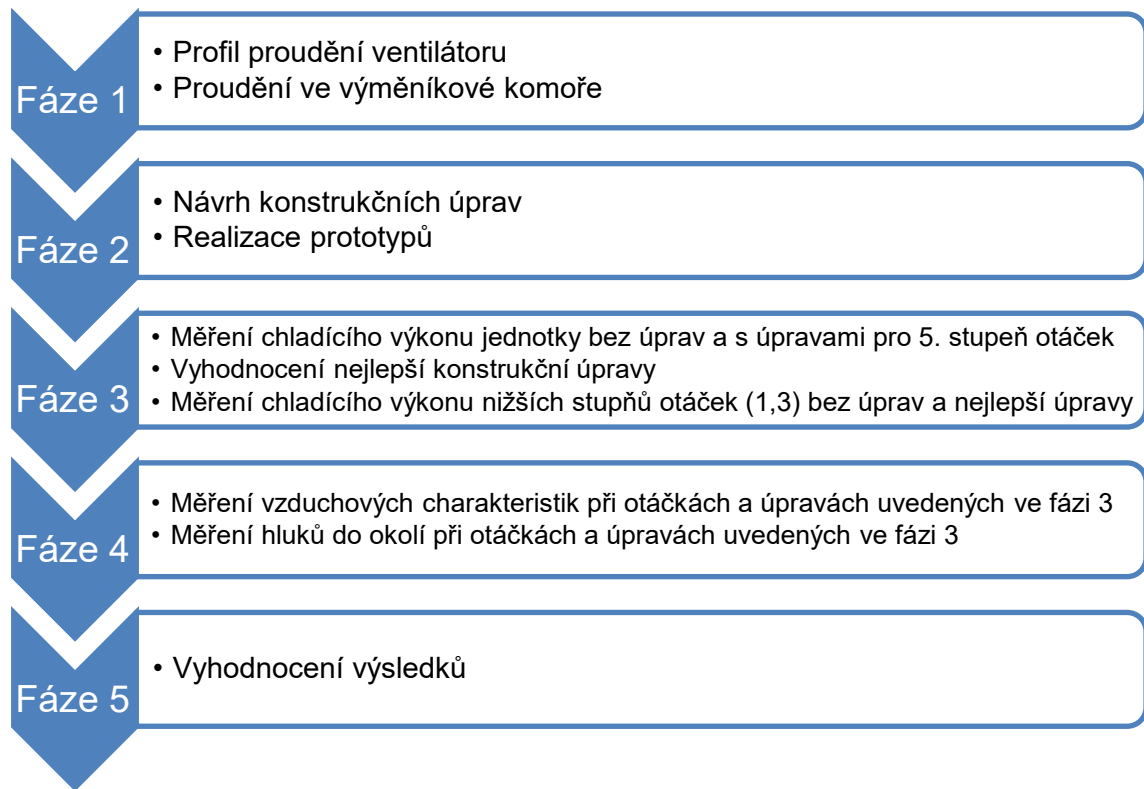
Měření započalo zkoumáním profilů proudění vzduchu samotného ventilátoru a ventilátoru umístěného v jednotce, konkrétně jím vyvolaným profilem proudění mezi výdechem a výměníkem tepla v uzavřeném šasi. Po vyhodnocení výsledků byly navrženy konstrukční úpravy, jejichž efekt na chod jednotky se ověřoval měřeními vůči parametrům jednotky bez úprav.

V reálném čase se nejprve měřil chladicí výkon na jednotce bez úprav a s navrženými konstrukčními úpravami, uvedenými v kapitole 5.3. Měření byla provedena při otáčkách ventilátoru na nejvyšším stupni (5), kde pravděpodobně budou nejvíce patrné případné změny v chladicím výkonu.

Následně se změřil chladicí výkon na jednotce bez úprav na nižších stupních otáček (1,3) a nejlépe vycházející konstrukční úpravy při stejných stupních otáček, pro ověření pravdivosti rozdílů z měření nejvyššího stupně otáček. Další dvě konstrukční úpravy se dále neověřovaly z důvodu časové náročnosti testování a vlivu na praktický přínos pro experiment.

Poté se pokračovalo měřeními tlakových charakteristik a akustických výkonů pro stejné stupně otáček ventilátoru pro uvedené sestavení jednotek.

Hlavním parametrem je chladicí výkon, vzduchové a akustické charakteristiky slouží jako vedlejší hodnoty. Kdyby došlo ke zhoršení těchto dvou parametrů, bylo by na dalším posouzení, zda je v zájmu funkce jednotky např. vyšší chladicí výkon s vyšším hlukem nebo zda se hluk zvýšil natolik, že konstrukční úprava již není výhodná.



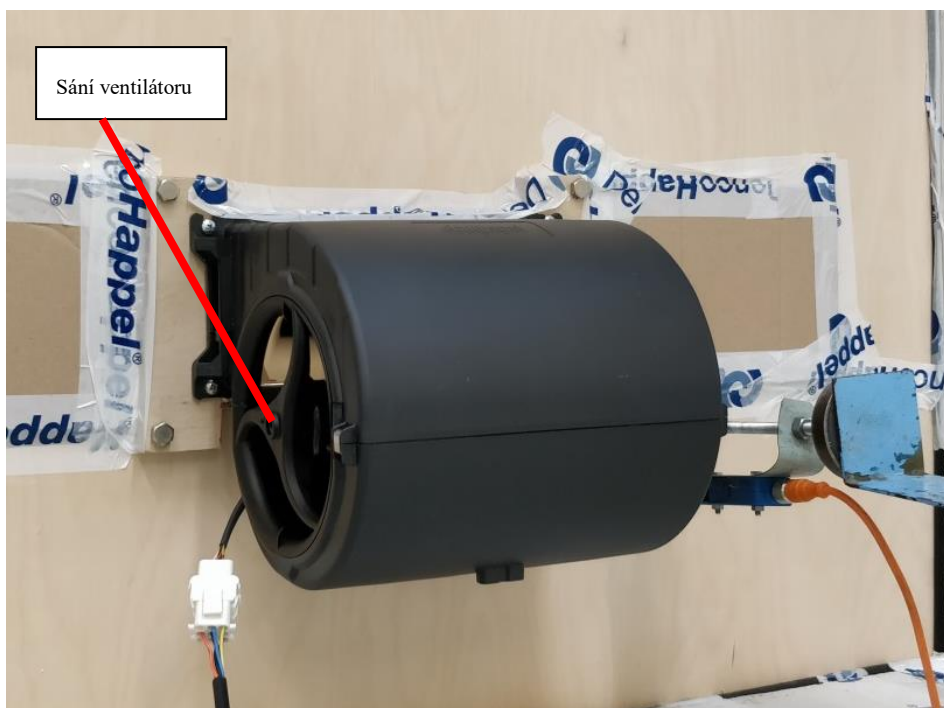
Obrázek 19: Schéma postupu měření

4.2 Profil proudění ventilátoru

V tomto pokusu byly použité následující přístroje a přípravky:

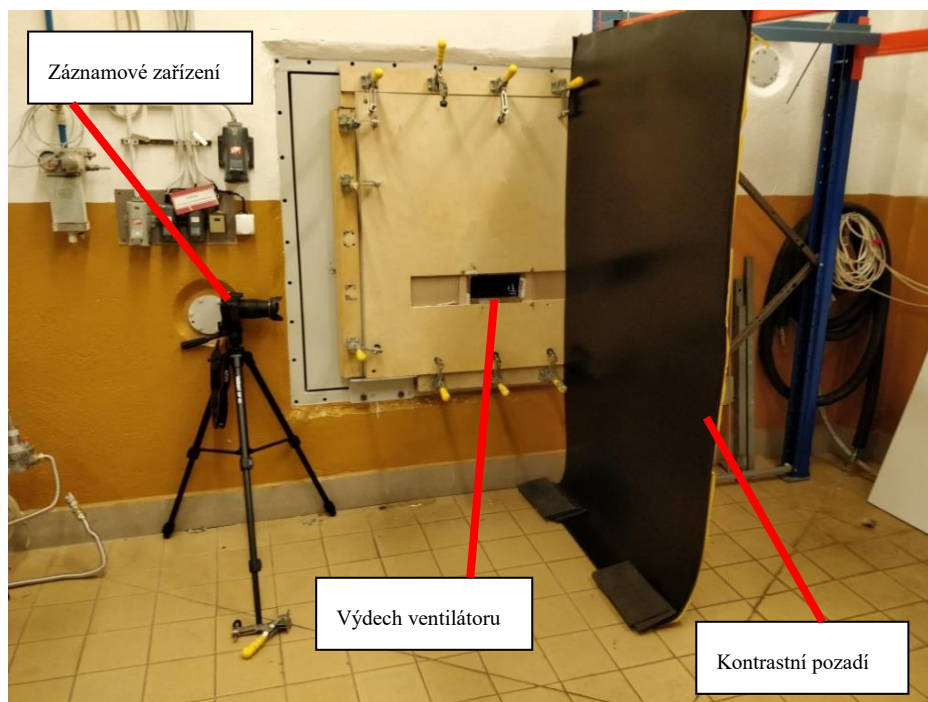
Zkoumaný ventilátor D4E146-LV19-12, měřicí místnost, přechodka, na které je možné docílit jednoznačného oddělení sání a výdechu, zdroj světla, generátor kouře (beamZ S1500) a záznamové zařízení (Canon 77D).

Bylo provedeno pozorování proudění vyvozené samotným ventilátorem bez překážek na sání a výdechu. Ventilátor byl upnutý na desku (Obrázek 20), kdy na jedné straně bylo sání a na druhé výdech. Spoj byl utěsněn, aby vzduch procházel pouze přes ventilátor.



Obrázek 20: Ventilátor D4E146-LV19-12 upnutý na přechodovou desku

V měřicí místnosti na výdechu z ventilátoru bylo umístěno záznamové zařízení s dostatečně kontrastním pozadím (Obrázek 21). Pozorování probíhalo tak, že v místnosti na sání se v intervalech spouštěl generátor kouře a kouř byl následně na výstupu nasvícen pro pozorování a záznam směru proudu vzduchu.



Obrázek 21: Průběh záznamu proudění ventilátoru

4.3 Proudění ve výměňkové komoře

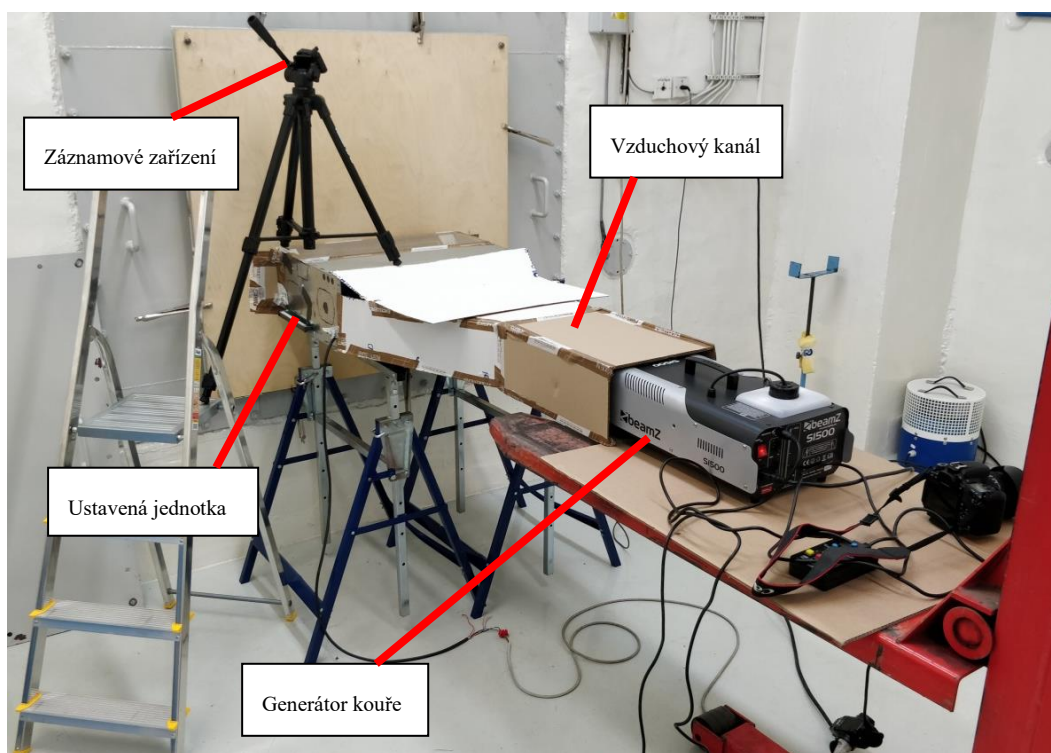
V tomto pokusu byly použité následující přístroje a přípravky:

Jednotka popsaná v kapitole 2.4, měřicí místnost, přechodka, na které je možné docílit jednoznačného oddělení sání a výdechu, zdroj světla, generátor kouře (beamZ S1500), vzduchový kanál pro vedení kouře z generátoru na sání jednotky a záznamové zařízení (Canon 77D).

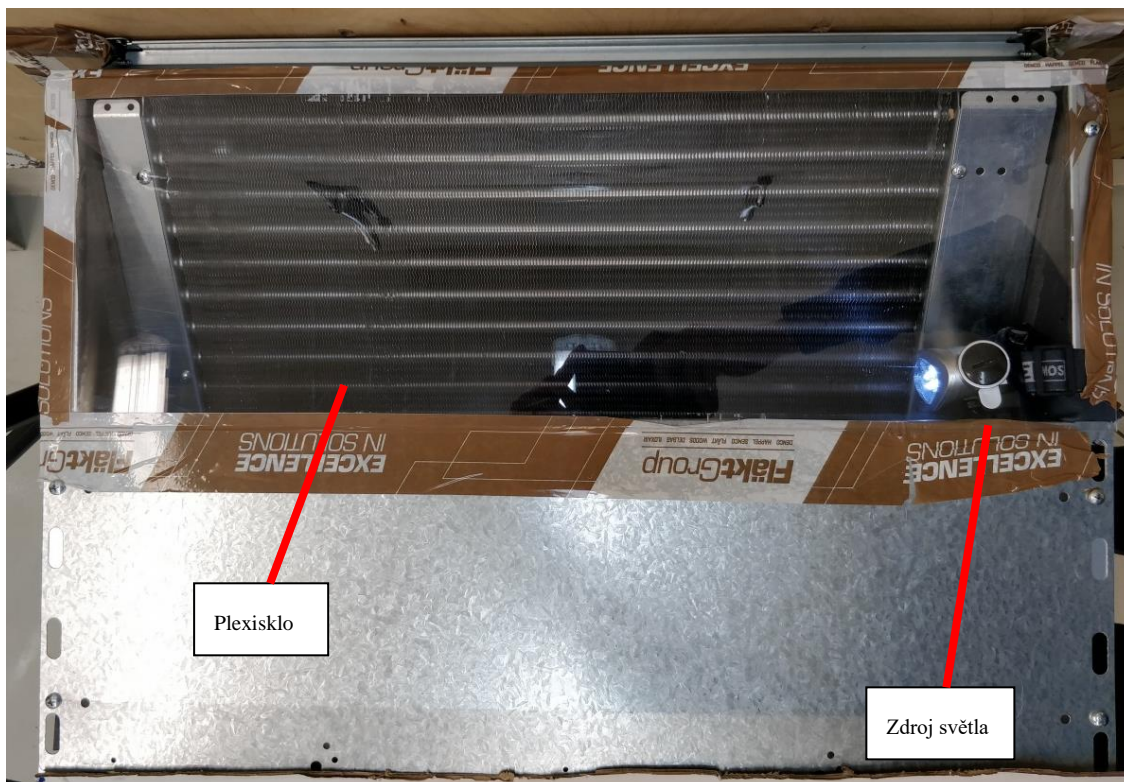
Částí, ve které je možné provést největší konstrukční úpravy, je oblast mezi ventilátorem a výměňkem. Zde se dá potenciálně nejvíce zrovnoměnit ofuk výměníku, což je i cílem této práce.

Pozorování bylo provedeno tak, že se celá jednotka upnula na desku, kdy na jedné straně bylo sání a na druhé výdech. Spoj byl utěsněn, aby vzduch procházel pouze přes vnitřek jednotky. Na sání jednotky se připojil speciálně vytvořený vzduchový kanál pro koncentraci kouře z generátoru, který byl pouštěn v intervalech (Obrázek 22).

Krycí plech nad výměňkem a výdechem ventilátoru byl nahrazen kusem z průhledného materiálu pro možnost pozorování a záznamu proudění (Obrázek 23). Provádělo se pozorování z různých úhlů a při různých otáčkách ventilátoru, které bylo následně zaznamenáno (Obrázek 24).



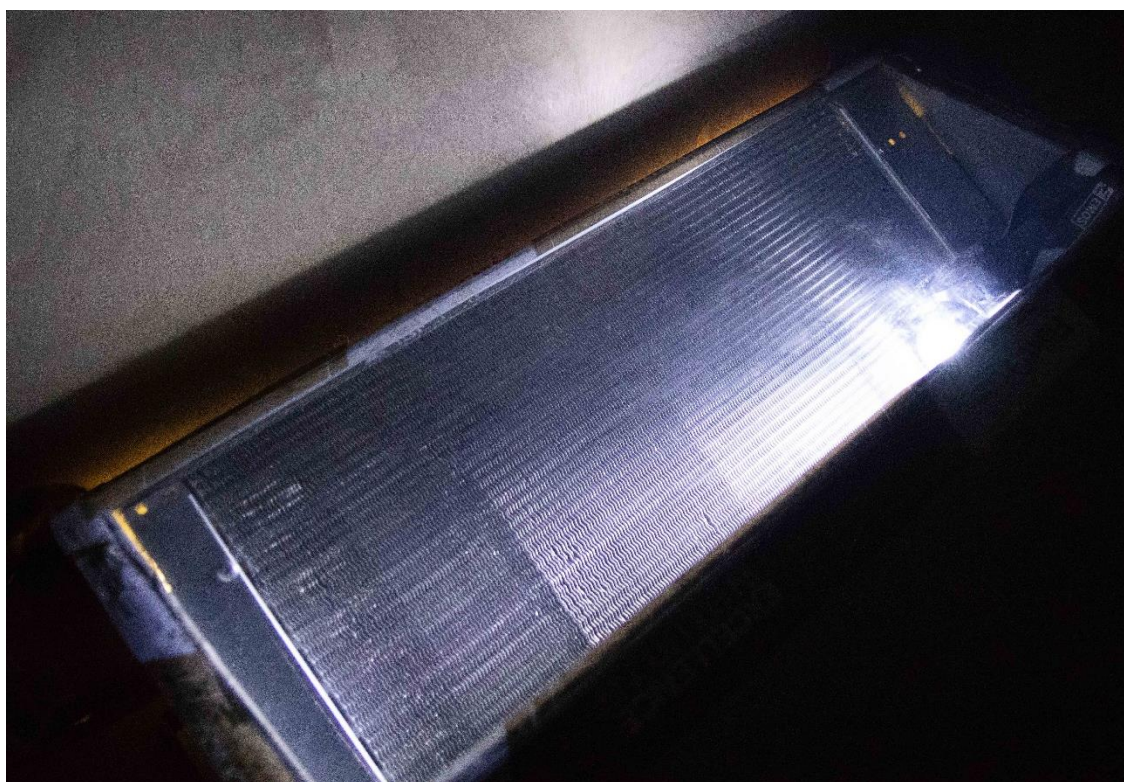
Obrázek 22: Průběh záznamu proudění ve výměňkové komoře



Plexisklo

Zdroj světla

Obrázek 23: Pohled shora na měřenou jednotku s plexisklem místo krycího plechu pro pozorování proudění ve výměňkové komoře



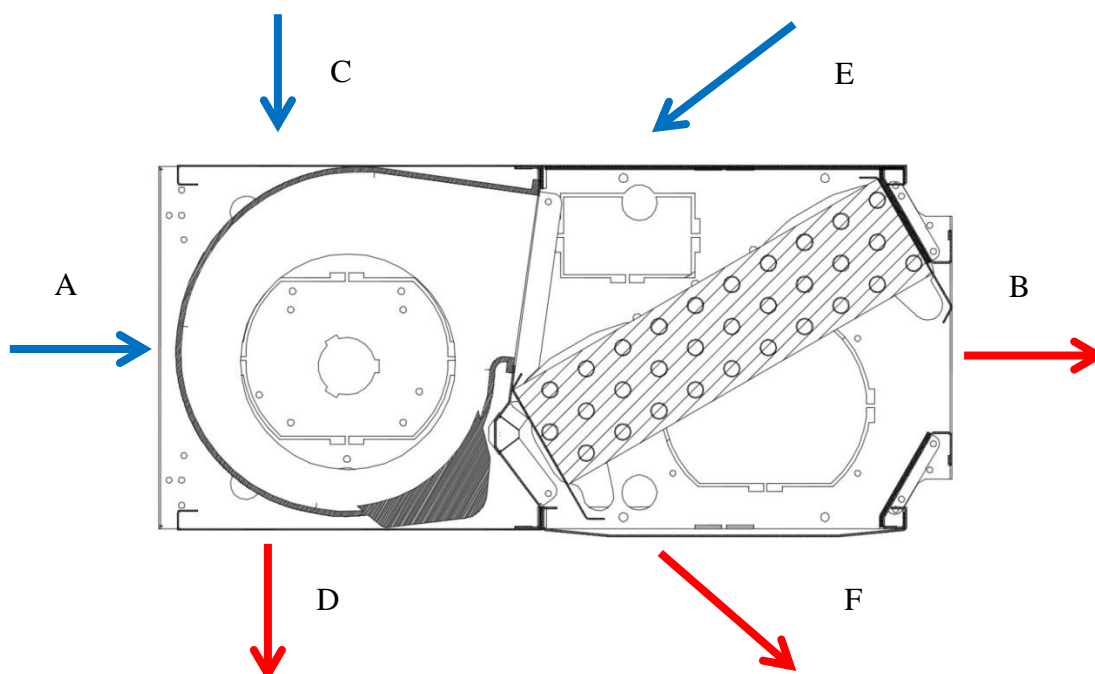
Obrázek 24: Příklad nasvícení výměňkové komory pro pozorování proudění vzduchu

4.4 Měření chladicího výkonu

Měření chladicího výkonu probíhalo v klimatické komoře technické laboratoře v souladu s technickou normou ČSN EN 14511-3. Podstata je v nastavení přesně stanovených podmínek v klimatické komoře za pomoci přídatných zařízení při nepřekročení maximální odchylky v průběhu měření.

Základní princip získání hodnoty chladicího výkonu se určuje ze základní rovnice (14) odpovídající schématu (Obrázek 25).

$$A + C + E = B + D + F \quad (14)$$



Obrázek 25: Schéma vstupních a výstupních hodnot potřebných k určení hodnoty celkového chladicího výkonu

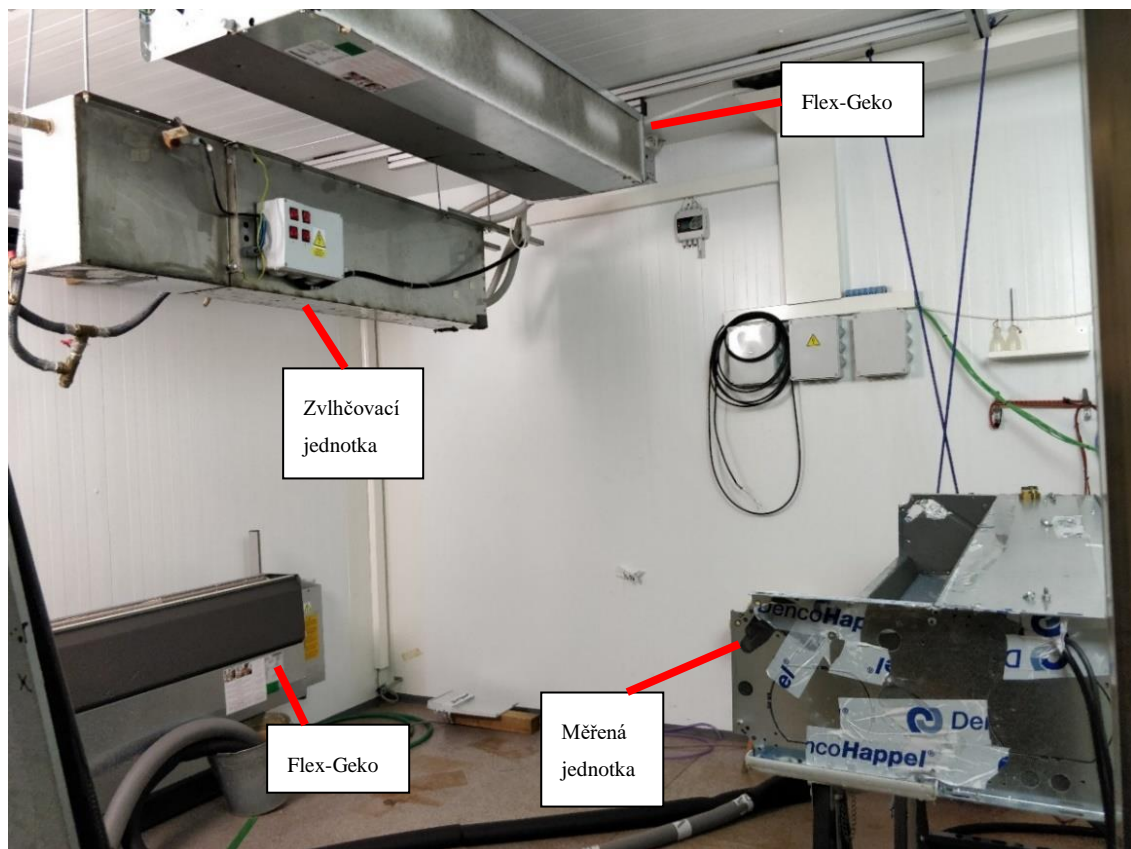
Kde:

A	Vstupní vzduch	B	Výstupní vzduch
C	Vstup vody	D	Výstup vody
E	Celkový elektrický příkon	F	Kondenzát

Základní technické parametry použité klimatické komory jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2) a její vzhled na fotce (Obrázek 26).

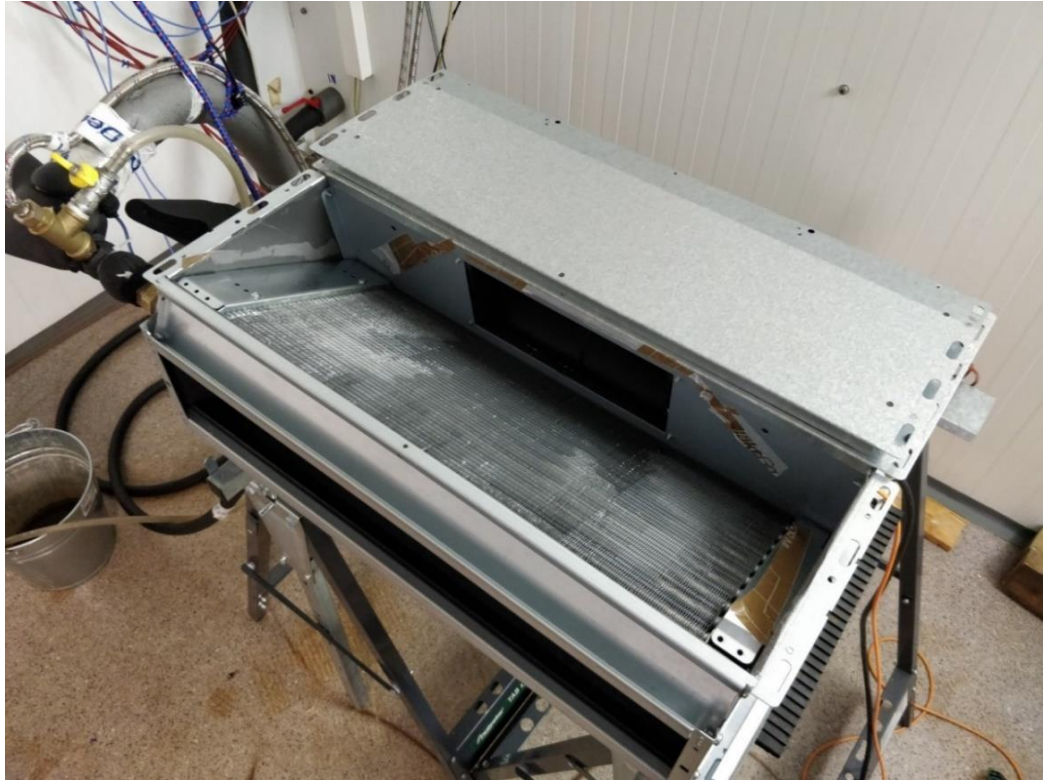
Tabulka 2: Technická data klimatické komory

Parametry	Hodnota
Teplota vzduchu	15-35 °C
Relativní vlhkost	30-90 %
Maximální chladicí výkon	12 kW
Maximální topný výkon	12 kW
Teplota dodávané vody	5,5-90 °C
Průtok vody	80-1500 l/h
Rozměry komory	3 x 3,7 x 2,4 m
Objem komory	27 m ³
Maximální rozměry vzorku	1,2 x 1,8 x 1 m
Maximální hmotnost vzorku	100 kg



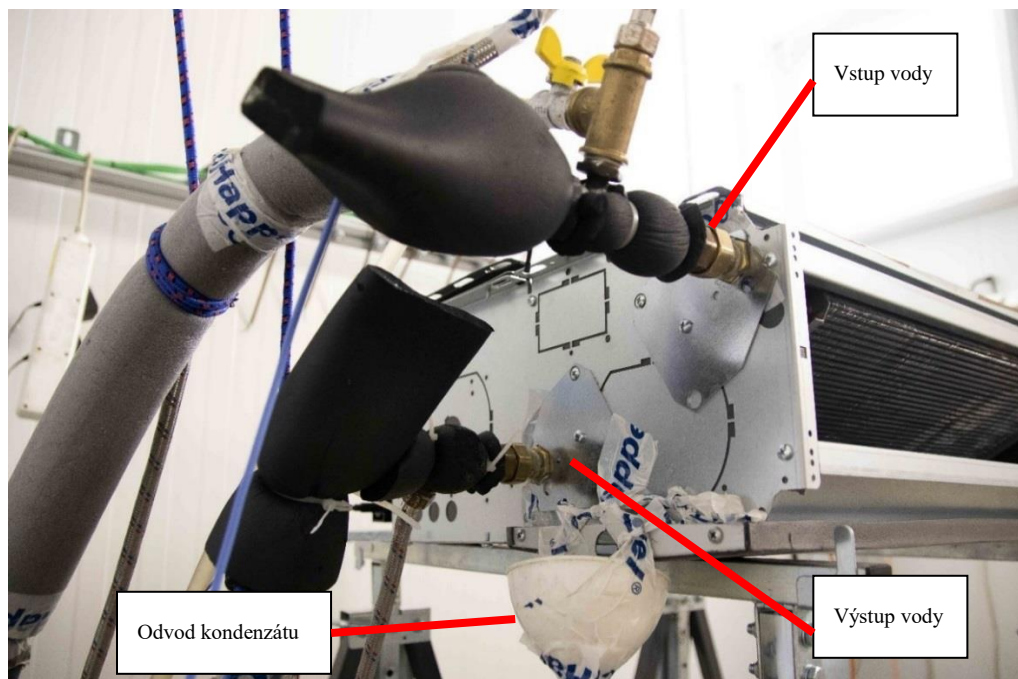
Obrázek 26: Klimatická komora

Jednotka byla umístěna v klimatické komoře v poloze podstropního zavěšení (Obrázek 27), kdy je odvod kondenzátu zajištěn plechovou vanou na spodní straně jednotky.



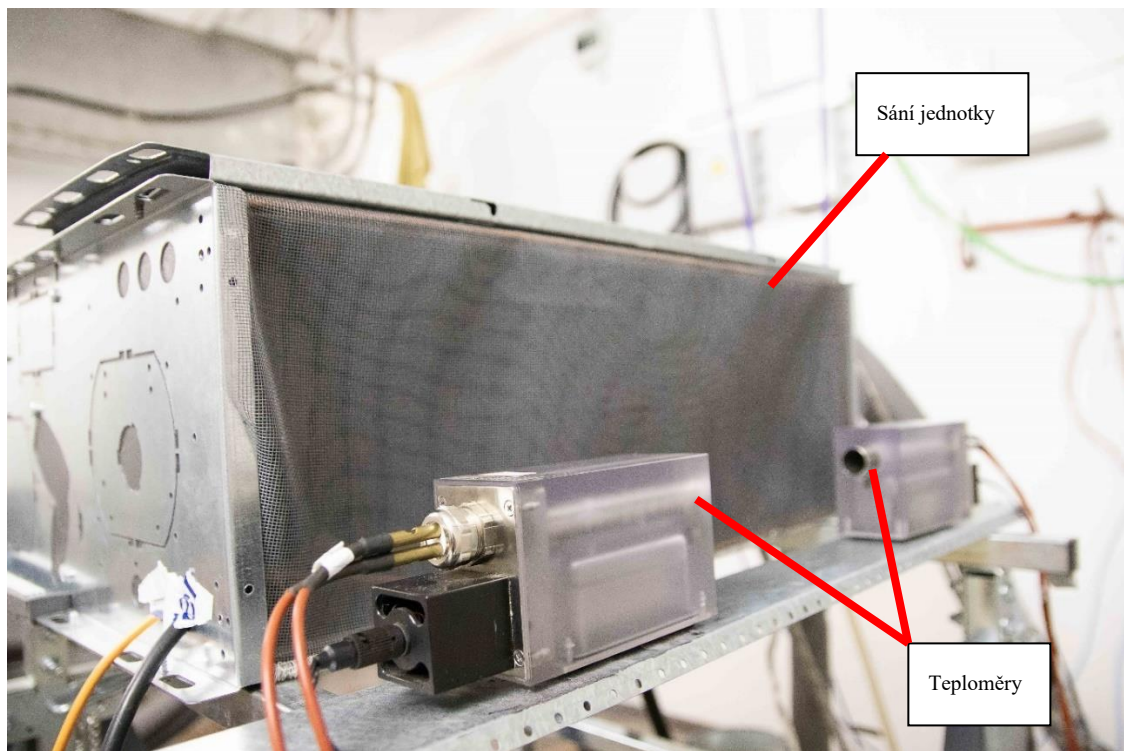
Obrázek 27: Měřená jednotka připojená na vodní okruh chladící vody v klimatické komoře

Podmínky měření: Teplota chladící vody na vstupu/výstupu výměníku: 7/12 °C (Obrázek 28), teplota vzduchu v klimatické komoře na suchém/mokrém teploměru: 27/19 °C.



Obrázek 28: Přívod a vývod vody jednotky

Na sání jednotky byly umístěny dva teploměry pro měření suché a mokré teploty. Každý byl umístěn v 1/3 sání (Obrázek 29).



Obrázek 29: Teploměry umístěné na sání jednotky

Během měření byly pro každý stupeň otáček odečteny skutečné otáčky ventilátoru při oroseném výměníku. Pomocí těchto hodnot bylo z grafů, které vznikly měřením vzduchových parametrů, odečteno teoretické vzduchové množství dodávané jednotkou.

Měření probíhalo po dobu minimálně 30 minut dle uvedené normy a výsledné hodnoty jsou průměrem bodů, které se ukládají v intervalu zhruba 15 sekund (alespoň 130 bodů) při nepřekročení stanovených odchylek.

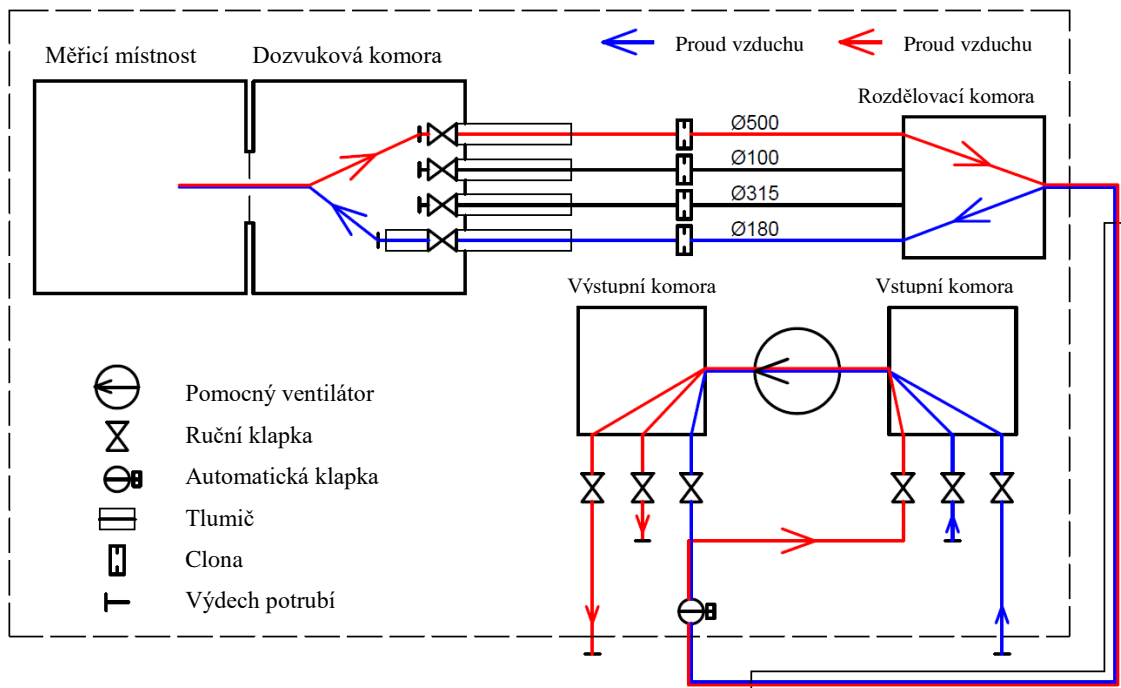
4.5 Měření vzduchových charakteristik

Měření vzduchových charakteristik probíhalo na univerzální vzduchové trati technické laboratoře v souladu s technickými normami ČSN EN ISO 5167 a ČSN EN ISO 5801.

Základní technické parametry použité vzduchové trati a na ní umístěných komor jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 3) a na schématu (Obrázek 30).

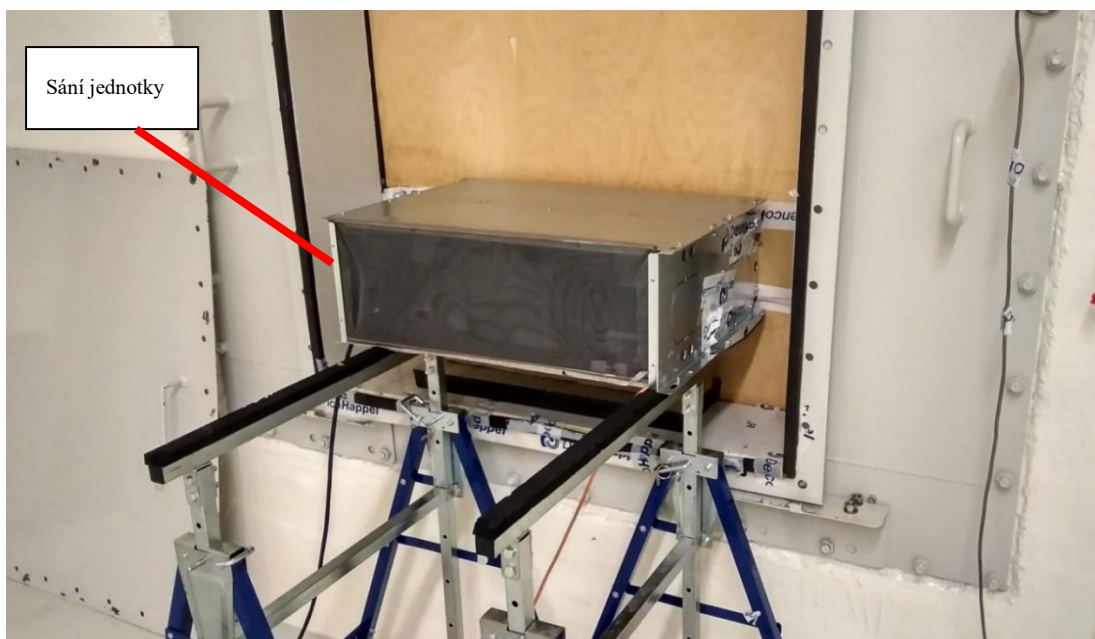
Tabulka 3: Technická data vzduchové tratě

Parametry	Hodnota
Objem komory	103 m ³
Vzduchové množství	50 - 13000 m ³ /h
Maximální tlak	2000 Pa
Průměr vzduch. tratí	100/180/310/500 mm



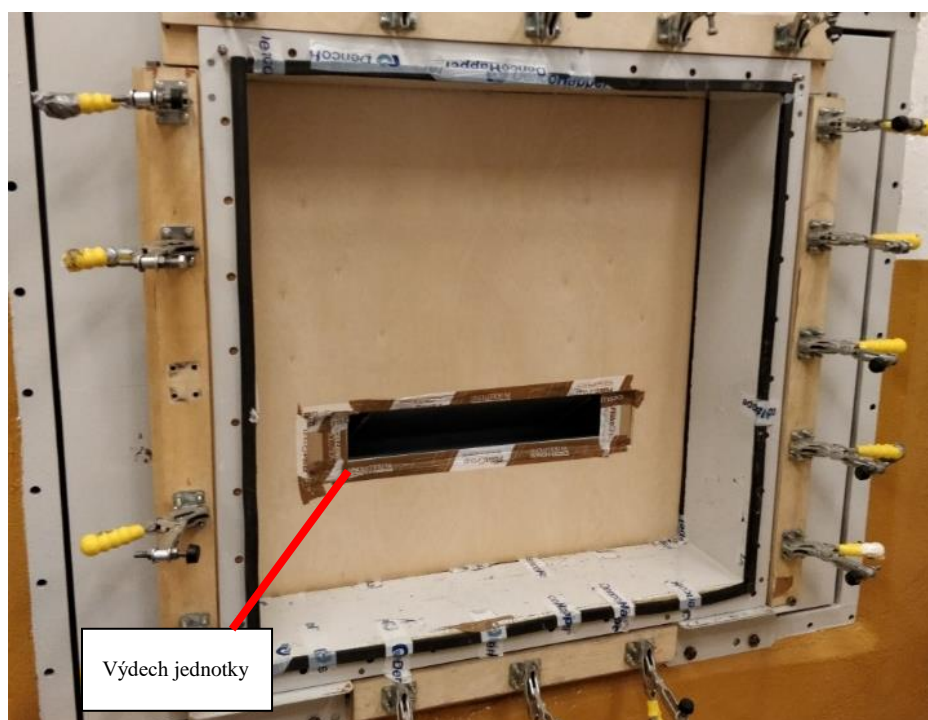
Obrázek 30: Schéma měřicí tratě

Jednotka se umístila se sáním v dozvukové komoře (Obrázek 31) na přechodový díl s výdechem do měřicí místnosti (Obrázek 32).



Obrázek 31: Sání jednotky v dozvukové komoře

Měření začalo v bodě, kdy byly uzavřeny klapky vzduchové trati, tedy ve chvíli, kdy ventilátor vytváří největší rozdíl tlaků v dozvukové komoře a měřící místnosti. Tato hodnota se rozpočítala do 10 měřených bodů a rozdíl tlaků se postupně snižoval po rovnoměrných intervalech, za pomoci otevírání klapky a zvyšování otáček přidavného ventilátoru umístěného na soustavě vzduchové tratě. Poslední bod se vždy měřil při nulovém rozdílu tlaků.



Obrázek 32: Výdech jednotky do měřící místnosti

4.6 Měření hluku do okolí

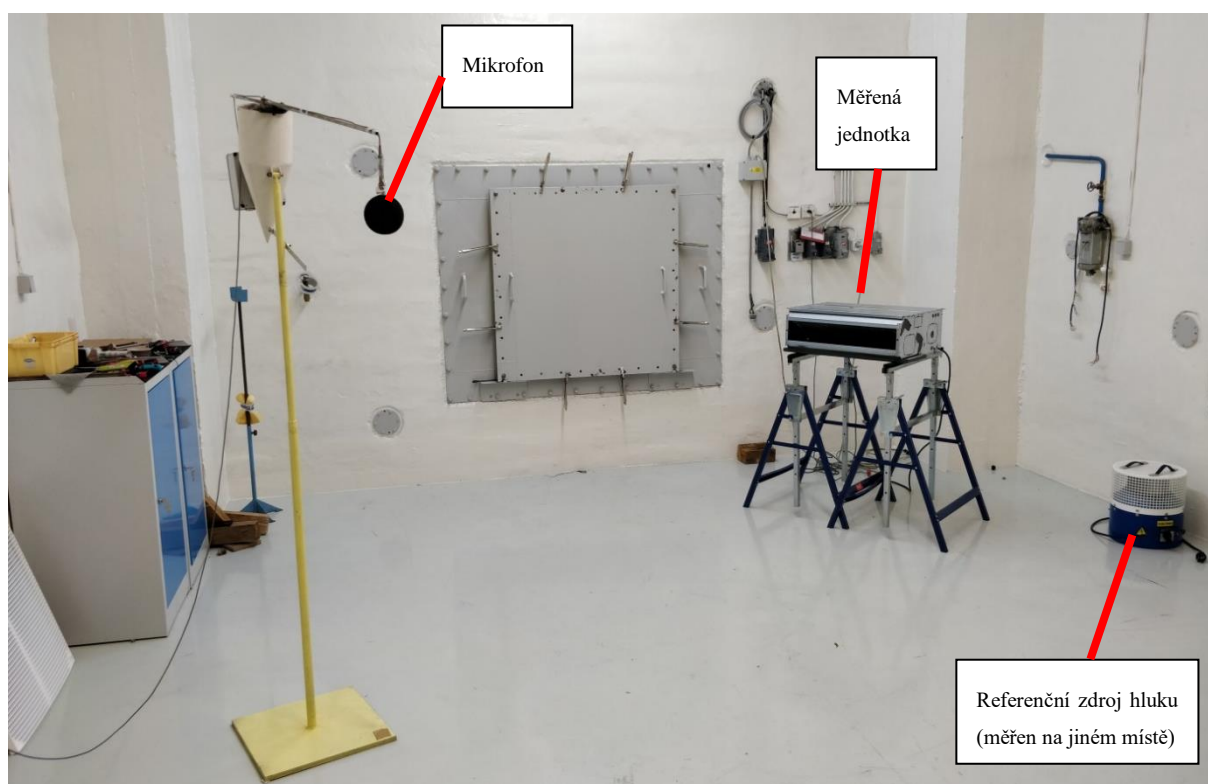
Měření hluku do okolí probíhalo v dozvukové komoře (Tabulka 4) technické laboratoře v souladu s českou technickou normou ČSN EN ISO 3741.

Jednotka byla umístěna v dozvukové komoře (Obrázek 33). Nejprve byl změřen referenční zdroj hluku s vypnutou jednotkou. Před každou změnou otáček se ověřovalo a zaznamenávalo pozadí v místnosti.

Tabulka 4: Technická data pro měření akustických parametrů

Parametry	Hodnota
Objem komory	103 m ³
Rozsah frekvencí	200 - 10 000 Hz
Maximální objem vzorku	2,5 m ³

Použité přístroje: Zvukový analyzátor: Bruel and Kjaer 3560C, Mikrofon: Bruel and Kjaer 4963, Preamplifier: Bruel and Kjaer 2669C, Akcelerometr: Bruel and Kjaer 4507, referenční zdroj hluku, dozvuková místnost.



Obrázek 33: Jednotka ustavená v dozvukové komoře

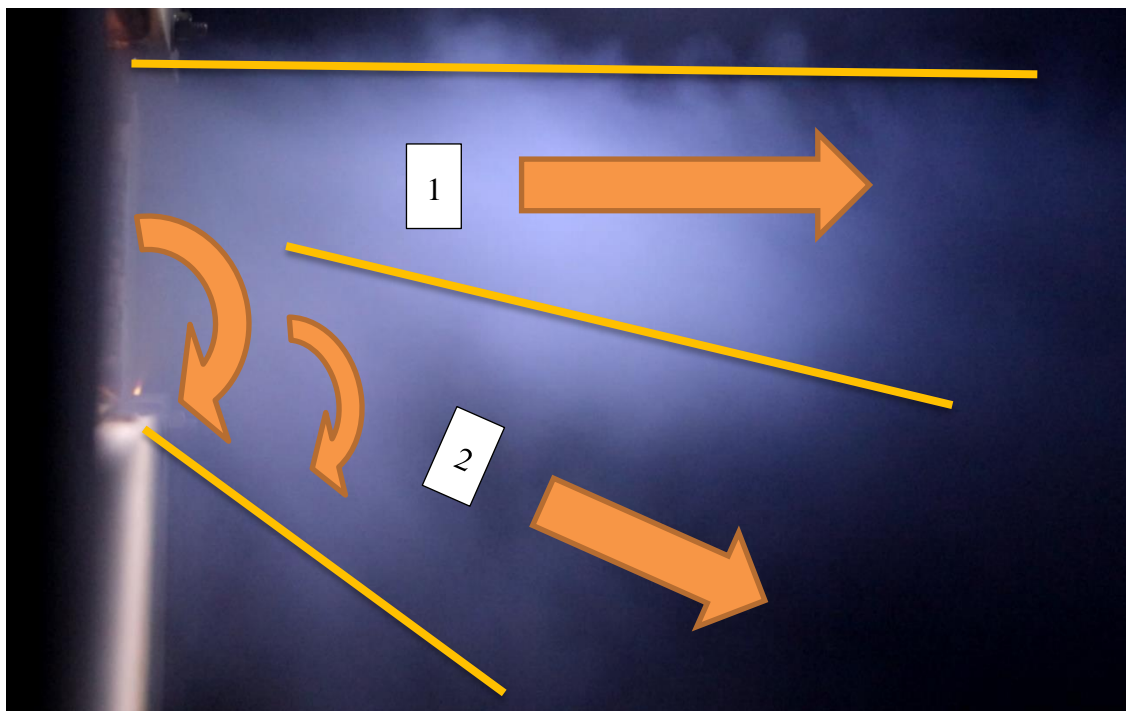
5 Výsledky experiment

5.1 Profil proudění ventilátoru

Z pozorování je patrné, že ventilátor vyvozuje dva silné proudy vzduchu. První (označený na Obrázek 34 číslem 1) fouká podél horní hrany a lehce se mísí se spodním proudem u prostřední naznačené čáry na schématu. Tento proud bude nejspíše způsoben horní plochou ventilátoru ústící do prostoru.

Druhý zaznamenaný proud (označený na Obrázek 34 číslem 2) fouká zároveň s otáčejícím se lopatkovým rotorem a má tendenci se setrvačně točit, což má nejspíše za následek jeho sklápějící se směr.

Popsaný profil proudění se projevuje u všech stupňů otáček ventilátoru.



Obrázek 34: Schéma profilu proudění ventilátoru

5.2 Proudění ve výměňkové komoře

Popisovaným skutečností odpovídá schéma (Obrázek 35). Nejsilnější proud vzduchu proudí z ventilátoru a naráží na střed výměníku, kde jím značná část prochází.

Vzduch vycházející z ventilátoru, který neprojde středem výměníku, má snahu po střetu s ním sklouzávat směrem vzhůru a dále se zatáčet do nefukovaného prostoru a zde se jakýmsi způsobem vířit. Tato skutečnost dává smysl, protože výměník je ofukován přímým proudem vzduchu a není schopen ve svém středu propustit celé vzduchové množství proudící z ventilátoru.

Vzduch se ve vířivé oblasti určitou chvíli točí a až následně projde skrz výměník. Tento zjištěný fakt se zdá být značně nevýhodnou skutečností, protože vzduch zůstává déle v nefunkčních částech výměňkové komory a nemůže tak přenášet požadovaný chladicí výkon.

Dalším vyzorovaným faktem je, že část proudu vzduchu proudí skrze krajní lišty, které slouží k upnutí výměníku na šasi jednotky. Zde nemá výměník žádnou efektivní plochu a není tudíž výhodné, aby zde vzduch proudil. Pokud by došlo k odstranění těchto nefunkčních oblastí, dá se předpokládat, že vzduch bude proudit ve větší míře skrz teplosměnné plochy výměníku a mohlo by dojít k vylepšení chladicího výkonu.



Obrázek 35: Profil proudění ve výměňkové komoře

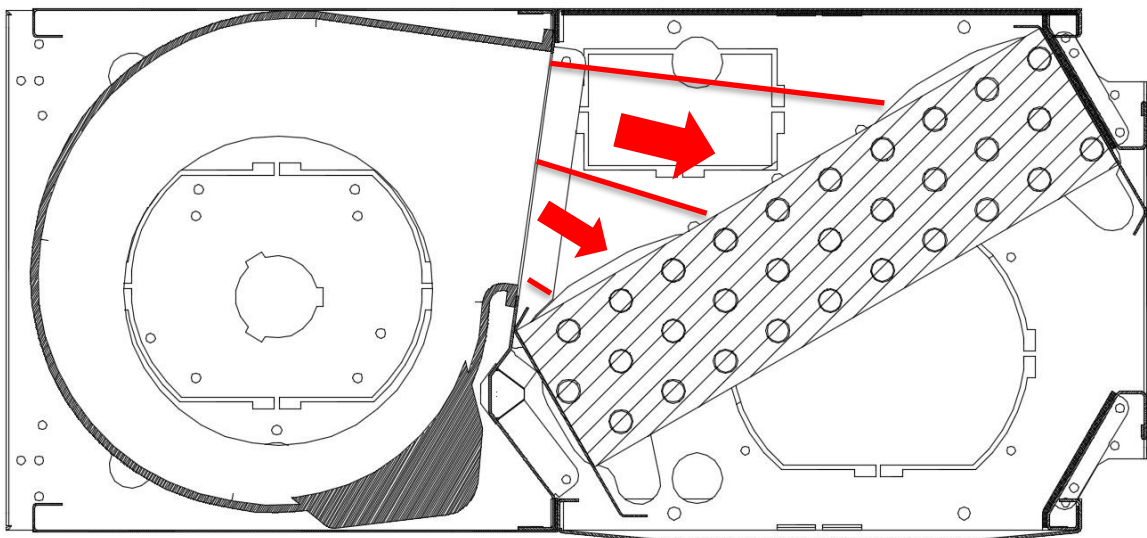
5.3 Návrh úprav jednotky

V této práci je kladen důraz na návrh úprav, které jdou relativně snadno a nenákladně zkonstruovat a jejich zakomponování do jednotky si nežadá rozsáhlé konstrukční úpravy.

5.3.1 Úpravy jednoty v návaznosti kapitoly 5.1

Ventilátor je v jednotce upnutý na šikmé desce (Obrázek 36). Možnou úpravou konstrukce jednotky pro zrovnoměnění ofuku výměníku, díky zjištěnému profilu proudění ventilátoru, může být např. změna vzájemné polohy těchto dvou komponent. Tím je myšlena změna natočení nebo vzdálenosti. Mohlo by se tak docílit větší ofukované plochy výměníku.

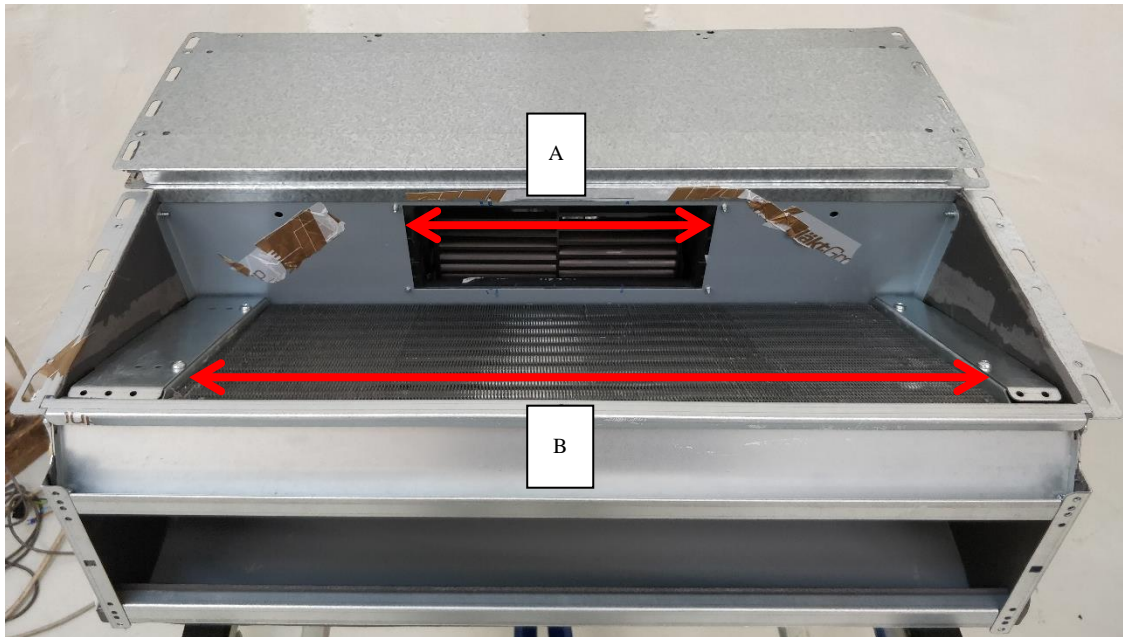
Vzhledem k použitým komponentům a jejich zabudování v šasi jednotky (Obrázek 36) by toto řešení vyžadovalo kompletní přestavbu jednotky nebo zvolení jiných komponent. Není tak vhodným řešením pro tuto práci.



Obrázek 36: Schéma proudění ve výměňkové komoře z boku jednotky

Z rozměru výdechu ventilátoru (A) a jeho vzdálenosti od výměníku je patrné, že pro rovnoměrný ofuk po celé šířce výměníku (B) není zvolen vhodný poměr (Obrázek 37). Nejvýhodnější konstrukční úpravou by pravděpodobně bylo, kdyby výdech ventilátoru měl shodnou šířku jako výměník. Tento ideální stav je však značně obtížné dosáhnout v reálném prostředí. Opět by muselo dojít k přehodnocení funkce celé jednotky, ke

kompletním konstrukčním úpravám a volbě jiného typu ventilátoru. Není tak vhodným řešením pro tuto práci.



Obrázek 37: Poměr šířky výdechu ventilátoru vůči šířce výměníku

5.3.2 Úpravy jednoty v návaznosti na kapitulu 5.2

Díky zjištěnému profilu proudění vzduchu jednotkou může být výhodné se pokusit přidat konstrukční prvek mezi výdech ventilátoru a výměník.

Například se může jednat o rozváděcí plechy, které by mohly mít pozitivní vliv na proudění ve výměňkové komoře, což by mohlo dále vést k vylepšení chladícího výkonu. Potenciálním problémem této úpravy je však možné zhoršení vzduchových a akustických parametrů jednotky, kvůli přidání překážky v proudu vzduchu.

Další možnou úpravou je vedení proudu vzduchu přímo na výměník a díky tomu i odstranění ztrátových oblastí komory pomocí vodícího kanálu.

Vertikální rozváděcí plech

Myšlenkou tohoto tvaru je pokus o stočení proudu vzduchu dříve, než narazí ve své plné síle na střed výměníku. Princip by měl fungovat tak, že zhruba 1/3 proudu se díky zaoblení plechu bude směřovat do jednoho kraje výměníku, další 1/3 do druhého kraje a zbytek zůstane zachovaný ve středu výdechu na své původní dráze.

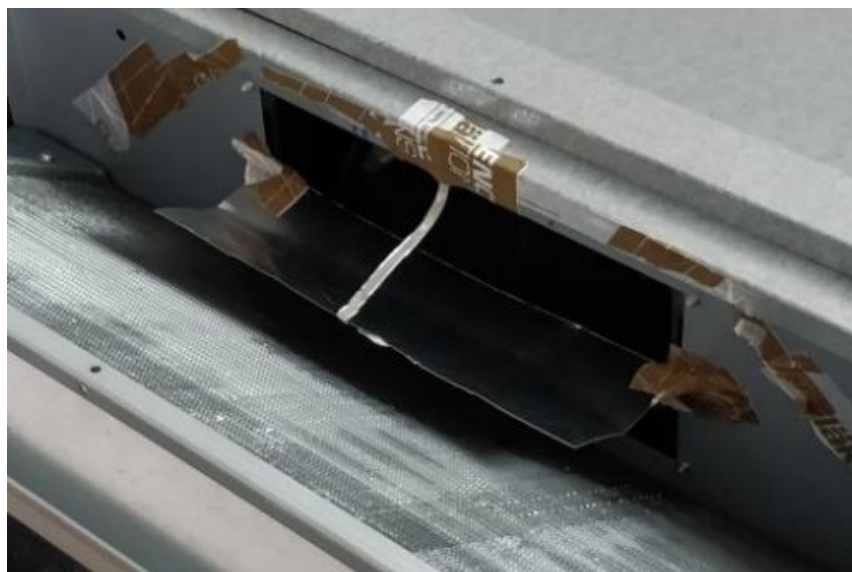
Mohlo by tak teoreticky dojít ke zrovnoměrnění ofuku výměníku a k vylepšení chladicího výkonu. Tato varianta byla vyhodnocena jako vhodná pro návrh a testování. Tvar a uchycení prototypu v jednotce lze vidět na fotce (Obrázek 38).



Obrázek 38: Vertikální rozváděcí plech upevněný na výdech ventilátoru

Horizontální rozváděcí plech

Jakýsi pokus o rozvedení proudu vzduchu díky horizontálnímu stočení. Plech byl lekce zahnutý, aby se jeho sklon postupně srovnal se sklonem výměníku. Umístěn byl v polovině výdechu ventilátoru. Plech se nedotýkal výměníku, byl připevněn pouze na šasi jednotky. Tato varianta byla vyhodnocena jako vhodná pro návrh a testování. Tvar a uchycení prototypu v jednotce lze vidět na fotce (Obrázek 39).



Obrázek 39: Horizontální rozváděcí plech upevněný na výdech ventilátoru

Vodící kanál

Poslední navrženou úpravou je vodící kanál pro usměrnění proudu vzduchu. Hlavní myšlenkou je vedení proudu vzduchu z výdechu ventilátoru přímo na výměník tepla. Dále odstranění oblastí, ve kterých se vzduch ztrátově víří (viz kapitola 5.2), jeho vedení podél hran a utěsnění krajních lišt, sloužících k upnutí výměníku na šasi.

Tato varianta byla vyhodnocena jako vhodná pro návrh a testování. Tvar a uchycení prototypu v jednotce lze vidět na fotce (Obrázek 40).



Obrázek 40: Vodící kanál umístěný ve výměňkové komoře

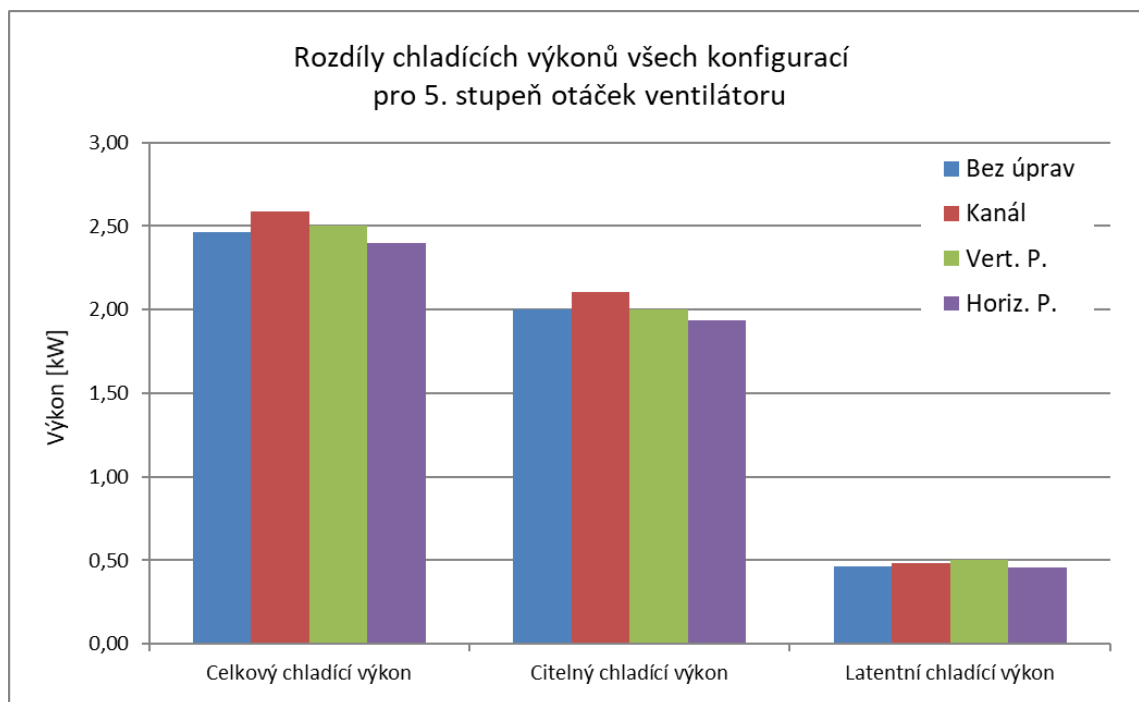
Materiál použitý pro konstrukci prototypů rozváděcích plechů a vodícího kanálu je hliníkový plech o tloušťce 0,6 mm. Žádná část prototypů se nedotýkala teplosměnných ploch výměníku tepla.

5.4 Měření chladícího výkonu

5.4.1 Základní porovnání pro 5. stupeň otáček ventilátoru

Tabulka 5: Rozdíly všech konfigurací pro 5. stupeň otáček ventilátoru

	Jednotky	Bez úprav	Kanál	Vert. P.	Horiz. P.
Stupeň otáček ventilátoru	-	5	5	5	5
Dodávané el. napětí	V	228,44	229,63	228,63	229,00
Dodávaný el. proud	A	0,25	0,25	0,25	0,25
Příkon ventilátoru	W	57,11	58,09	57,16	57,17
Otáčky suchý výměník	1/min	955,00	939,00	981,00	1016,00
Otáčky orosený výměník	1/min	1001,70	979,73	1014,63	1030,22
Vzduchové množství suchý výměník	m ³ /h	523,26	531,50	514,95	516,54
Vzduchové množství orosený výměník	m ³ /h	501,00	516,00	503,00	507,00
Statický tlak	Pa	0,00	0,00	0,00	0,00
Teplota suchého teploměru	°C	27,02	26,98	27,02	27,01
Teplota mokrého teploměru	°C	18,96	18,90	19,07	18,99
Teplota vstupní vody	°C	7,04	6,99	7,03	7,00
Teplota výstupní vody	°C	11,99	12,00	12,06	11,98
Průtok vody	kg/h	427,00	441,93	426,62	412,62
Tlakový spád výměníku	kPa	15,78	16,73	15,76	14,92
Celkový chladící výkon	kW	2,47	2,58	2,50	2,40
Citelný chladící výkon	kW	2,00	2,10	2,00	1,94
Latentní chladící výkon	kW	0,46	0,48	0,51	0,46
Rozdíl celkového chladícího výkonu	%	100,00	104,79	101,49	97,18



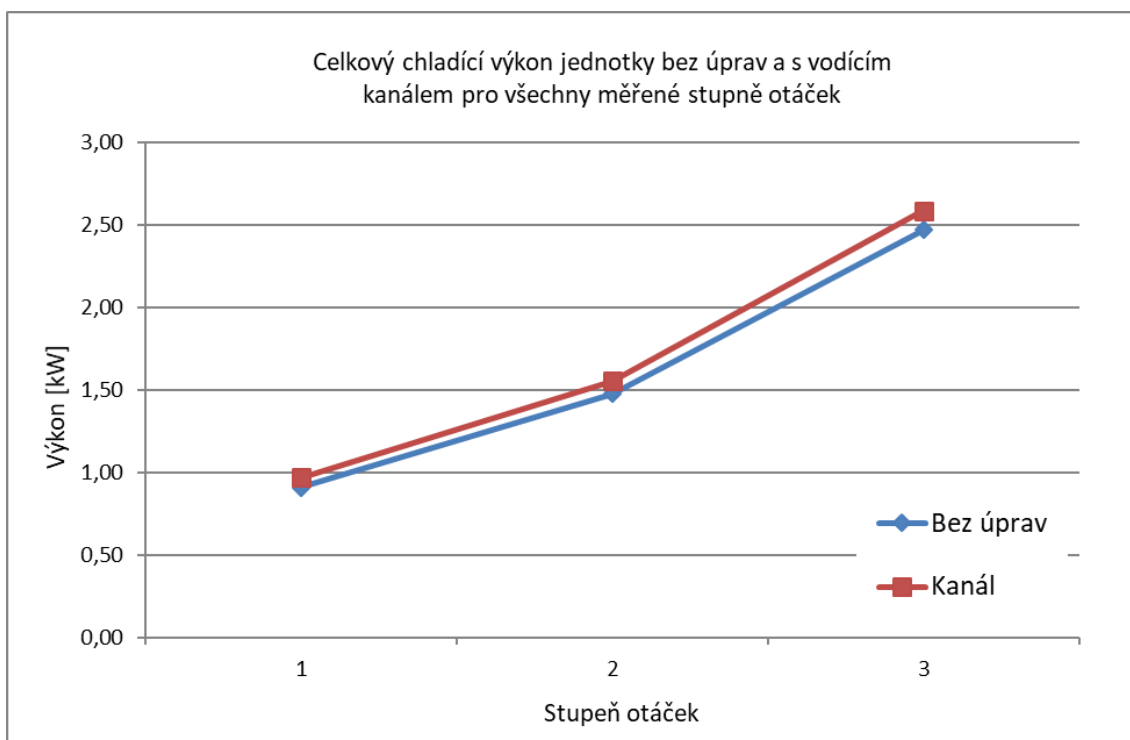
Graf 1: Rozdíly všech konfigurací pro 5. stupeň otáček ventilátoru

Z rozdílu celkového chladicího výkonu je patrné, že na nejvyšším stupni otáček má nejlepší chladicí výkon jednotka s vodícím kanálem, a je proto měřená pro nižší stupně otáček pro ověření pravdivosti výsledků.

5.4.2 Detailní porovnání nižších stupňů otáček ventilátoru

Tabulka 6: Rozdíly jednotky bez úprav a s vodícím kanálem pro všechny měřené stupně otáček

	Jednotky	Bez úprav	Kanáł	Bez úprav	Kanáł	Bez úprav	Kanáł
Stupeň otáček ventilátoru	-	5	5	3	3	1	1
Dodávané el. napětí	V	228,44	229,63	229,37	228,03	230,00	228,64
Dodávaný el. proud	A	0,25	0,25	0,21	0,21	0,00	0,00
Příkon ventilátoru	W	57,11	58,09	45,71	45,41	0,00	0,00
Otáčky suchý výměník	1/min	955,00	939,00	531	517	345	345,00
Otáčky orosený výměník	1/min	1001,70	979,73	568,18	550,53	370,89	362,00
Vzduchové množství suchý výměník	m3/h	523,26	531,50	264,43	269,73	154,55	162,18
Vzduchové množství orosený výměník	m3/h	501,00	516,00	255,50	263,50	145,50	155,80
Statický tlak	Pa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Teplota suchého teploměru	°C	27,02	26,98	26,97	26,99	27,02	27,00
Teplota mokrého teploměru	°C	18,96	18,90	19,01	18,99	19,03	18,99
Teplota vstupní vody	°C	7,04	6,99	6,99	7,01	7,04	6,99
Teplota výstupní vody	°C	11,99	12,00	12,06	12,02	12,06	11,97
Průtok vody	kg/h	427,00	441,93	249,49	265,58	154,73	166,46
Tlakový spád výměníku	kPa	15,78	16,73	6,56	7,25	3,13	3,47
Celkový chladicí výkon	kW	2,47	2,58	1,48	1,55	0,91	0,97
Citelný chladicí výkon	kW	2,00	2,10	1,14	1,16	0,70	0,74
Latentní chladicí výkon	kW	0,46	0,48	0,33	0,40	0,21	0,23
Rozdíl celkového chladicího výkonu	%	100,00	104,79	100,00	105,20	100,00	106,52



Graf 2: Rozdíly jednotky bez úprav a s vodícím kanálem pro všechny měřené stupně otáček

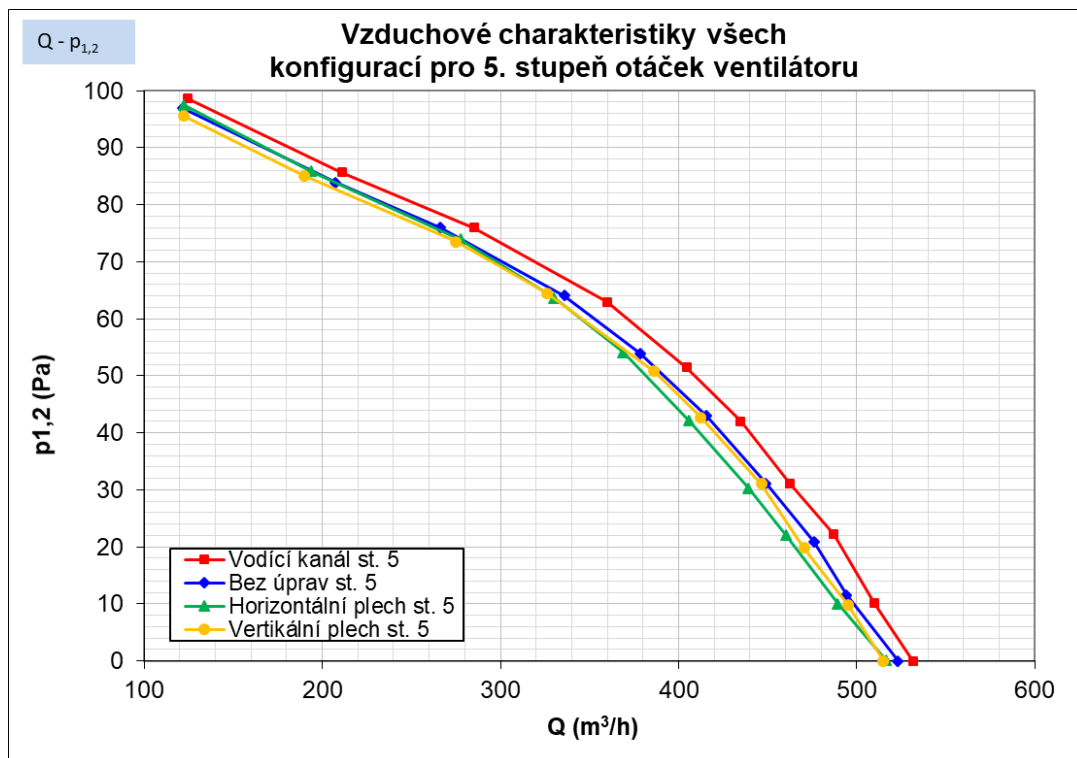
Nižší stupně otáček potvrdily lepší výsledky celkového chladicího výkonu jednotky s vodícím kanálem. Vylepšení se pohybuje v rozsahu 5-6 %.



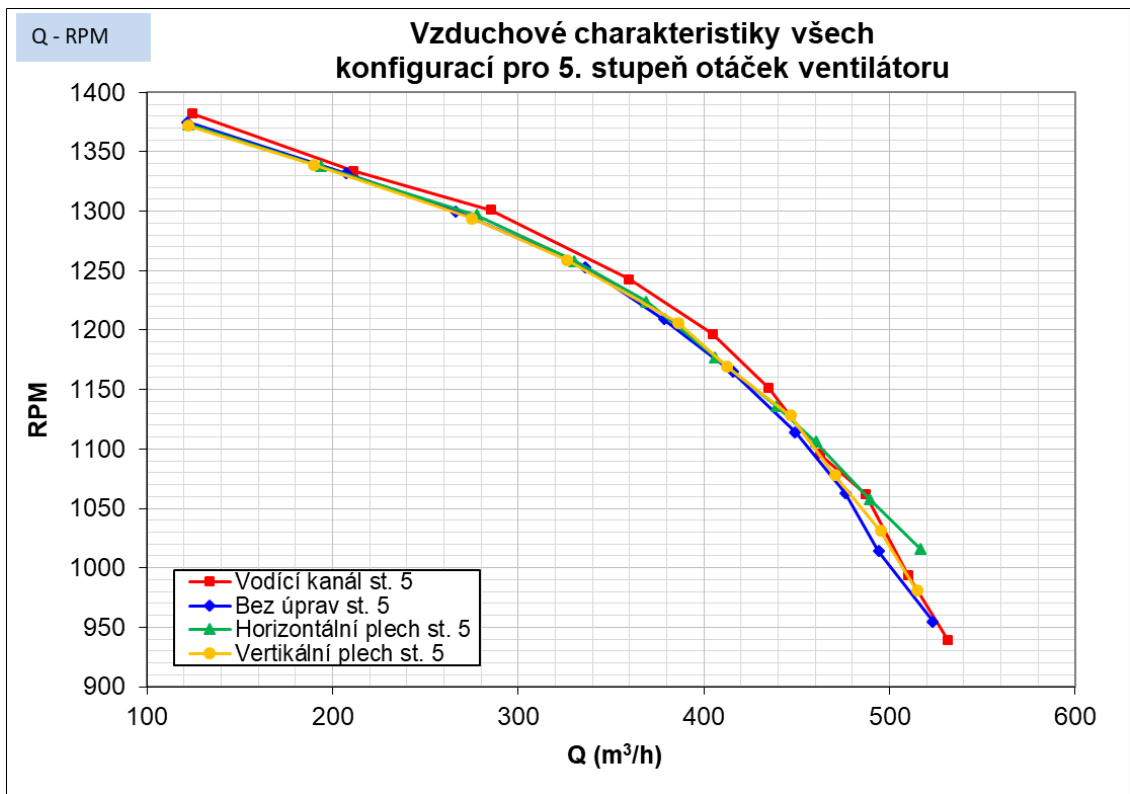
Obrázek 41: Usazování a odtok kondenzátu v kondenzační vane

5.5 Měření vzduchových charakteristik

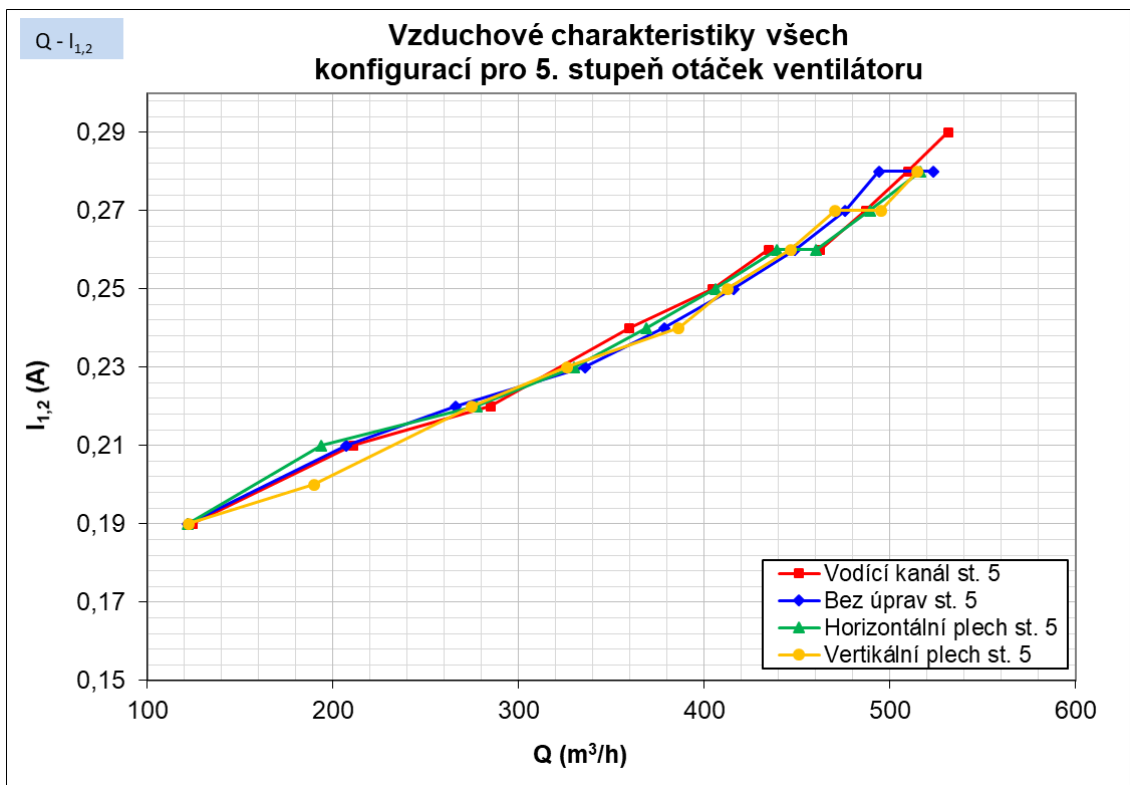
5.5.1 Základní porovnání pro 5. stupeň otáček ventilátoru



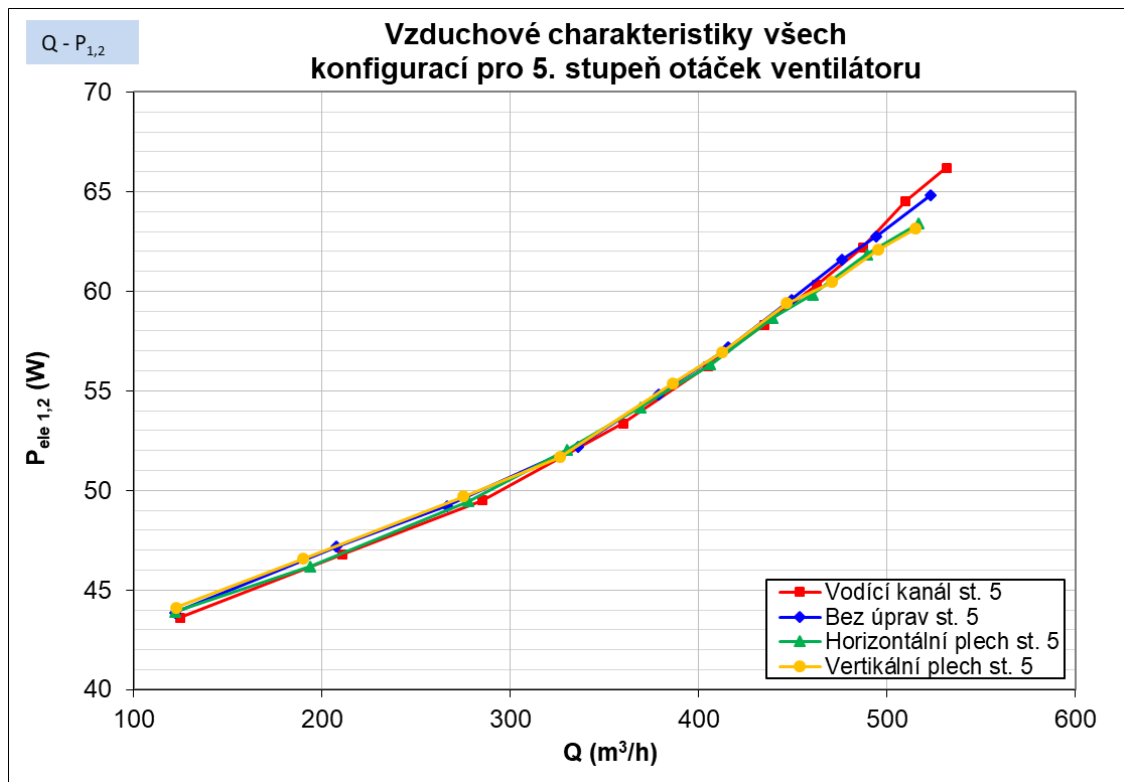
Graf 3: Závislost statického tlaku na průtoku vzduchu pro 5. stupeň otáček



Graf 4: Závislost otáček ventilátoru na průtoku vzduchu pro 5. stupeň otáček



Graf 5: Závislost spotřeby el. proudu ventilátoru na průtoku vzduchu pro 5. stupeň otáček



Graf 6: Závislost el. příkonu ventilátoru na průtoku vzduchu pro 5. stupeň otáček

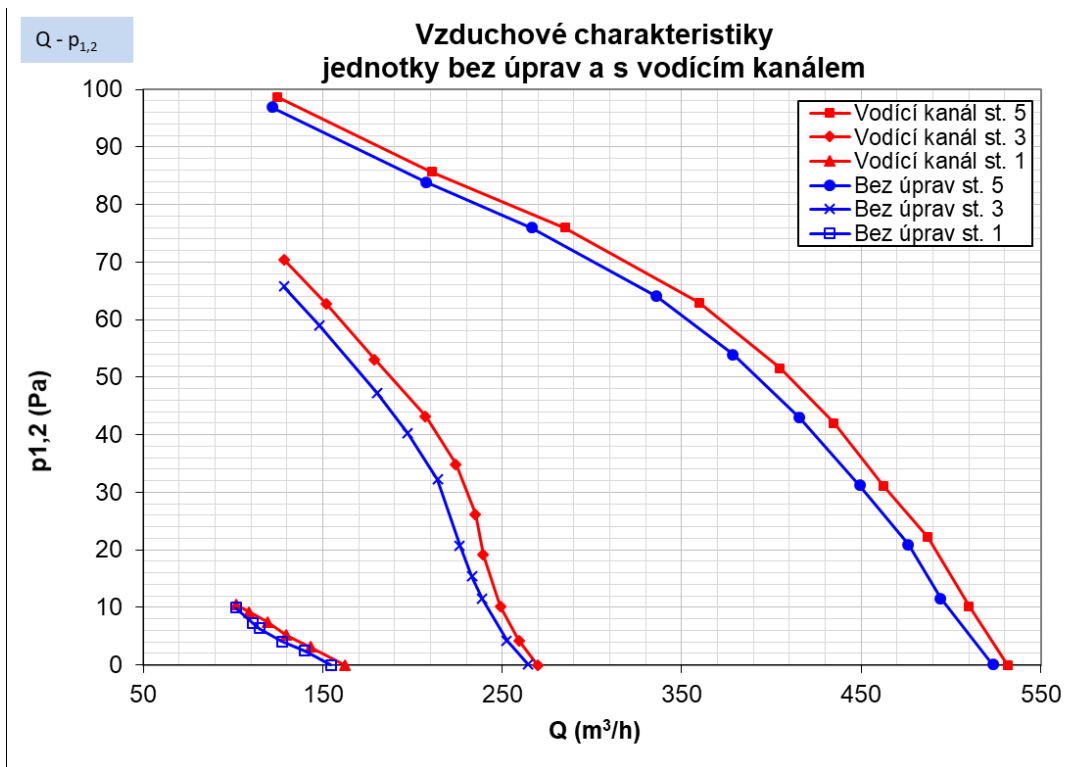
Z výsledků plyne, že jednotka s vodícím kanálem má dle grafu (Graf 3) nejlepší charakteristiku $p(Q)$. Tato skutečnost má za následek větší průtok vzduchu jednotkou a měla by vést i k lepšímu chladicímu výkonu, což se potvrdilo ve výsledcích chladicího výkonu.

Charakteristika jednotky bez úprav má podobnou křivku jako jednotka s vertikálním plechem z čehož plyne, že chladicí výkon bude na podobných hodnotách.

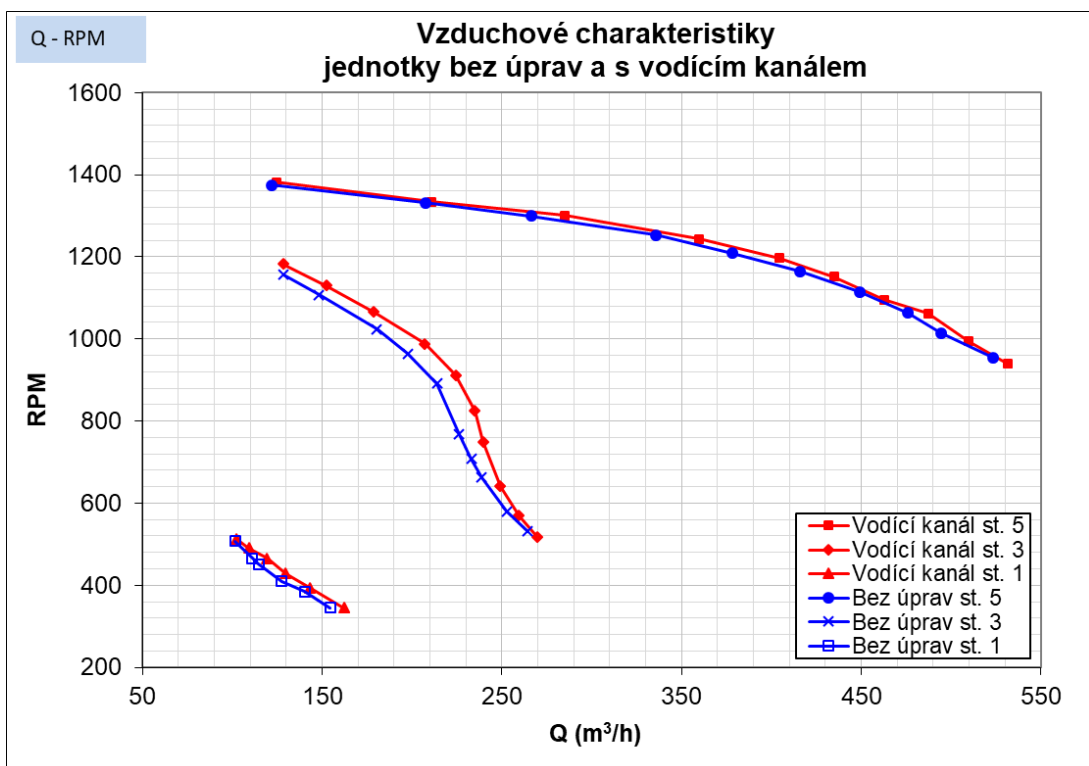
Nejnižší charakteristiku $p(Q)$ má jednotka s horizontálním plechem, což vede k závěru, že bude mít nejhorší chladicí výkon, což rovněž potvrdilo měření chladicího výkonu.

Charakteristiky otáček (Graf 3), spotřeby proudu (Graf 3) a příkonu ventilátoru (Graf 3) jsou téměř identické a žádná úprava tak není energeticky úspornější.

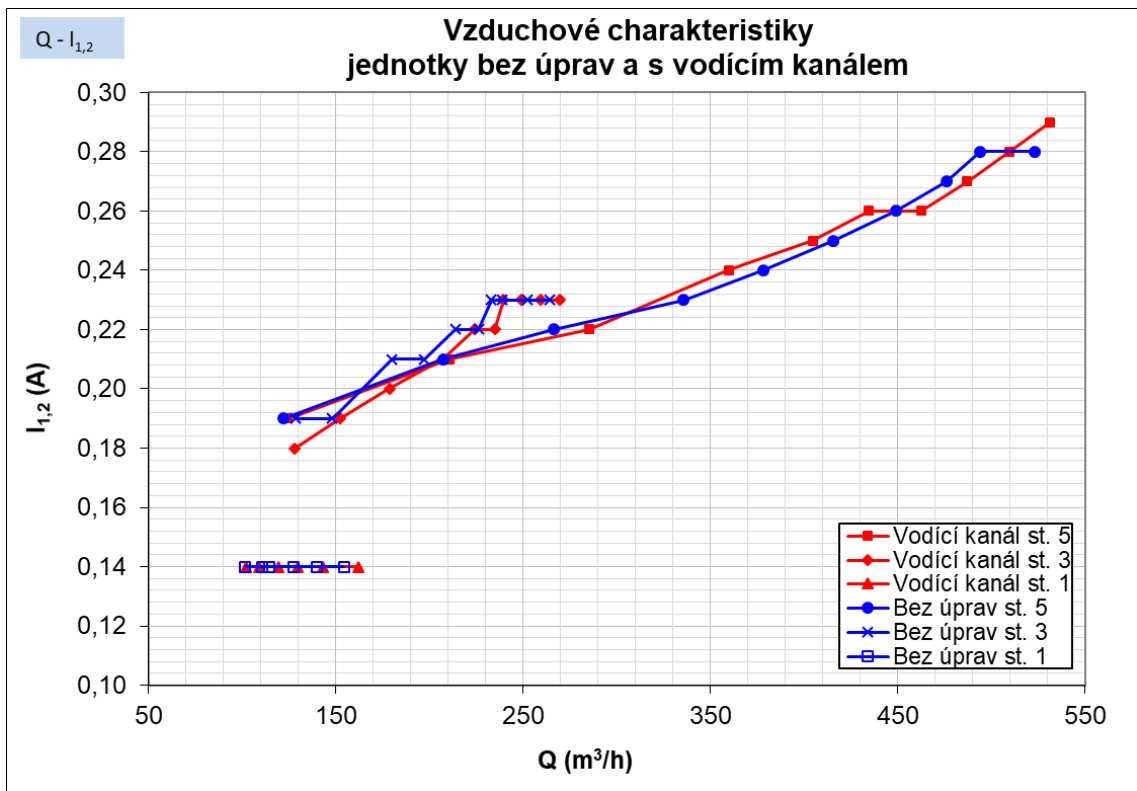
5.5.2 Detailní porovnání nižších stupňů otáček ventilátoru



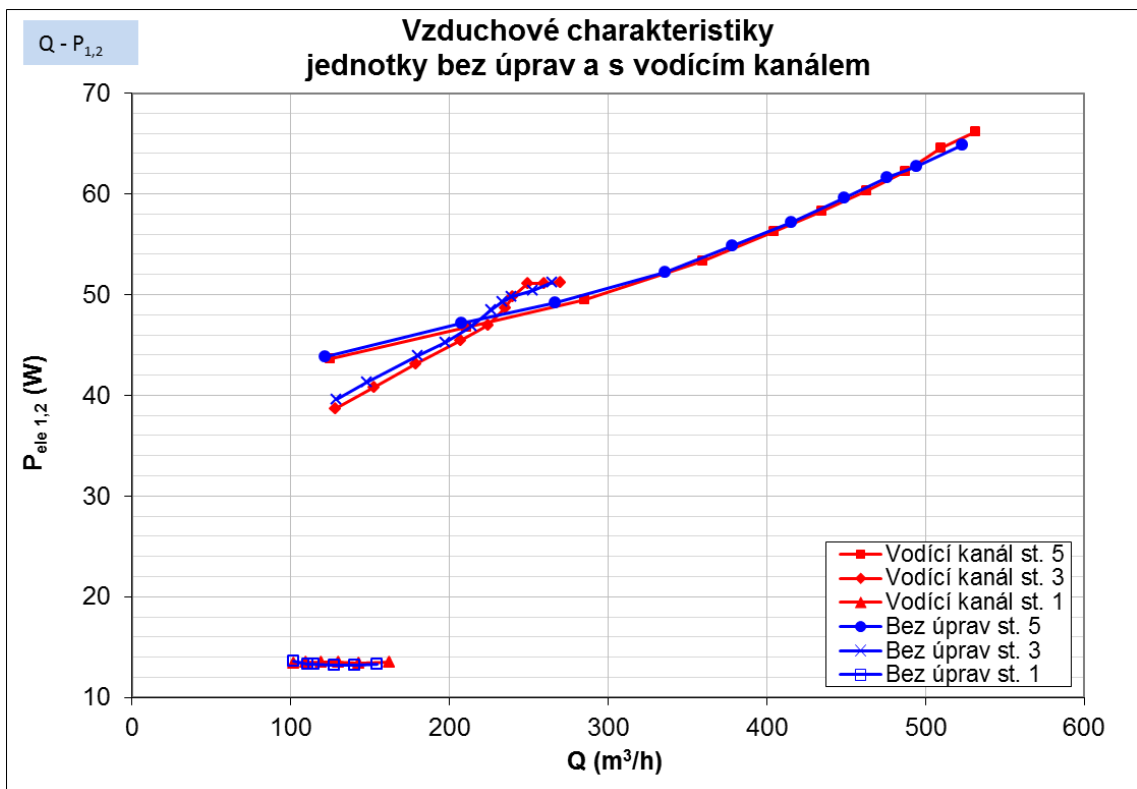
Graf 7: Závislost statického tlaku na průtoku vzduchu pro nižší stupně otáček



Graf 8: Závislost otáček ventilátoru na průtoku vzduchu pro nižší stupně otáček



Graf 9: Závislost spotřeby el. proudu ventilátoru na průtoku vzduchu pro nižší stupně otáček



Graf 10: Závislost el. příkonu ventilátoru na průtoku vzduchu pro nižší stupně otáček

5.6 Měření hluku do okolí

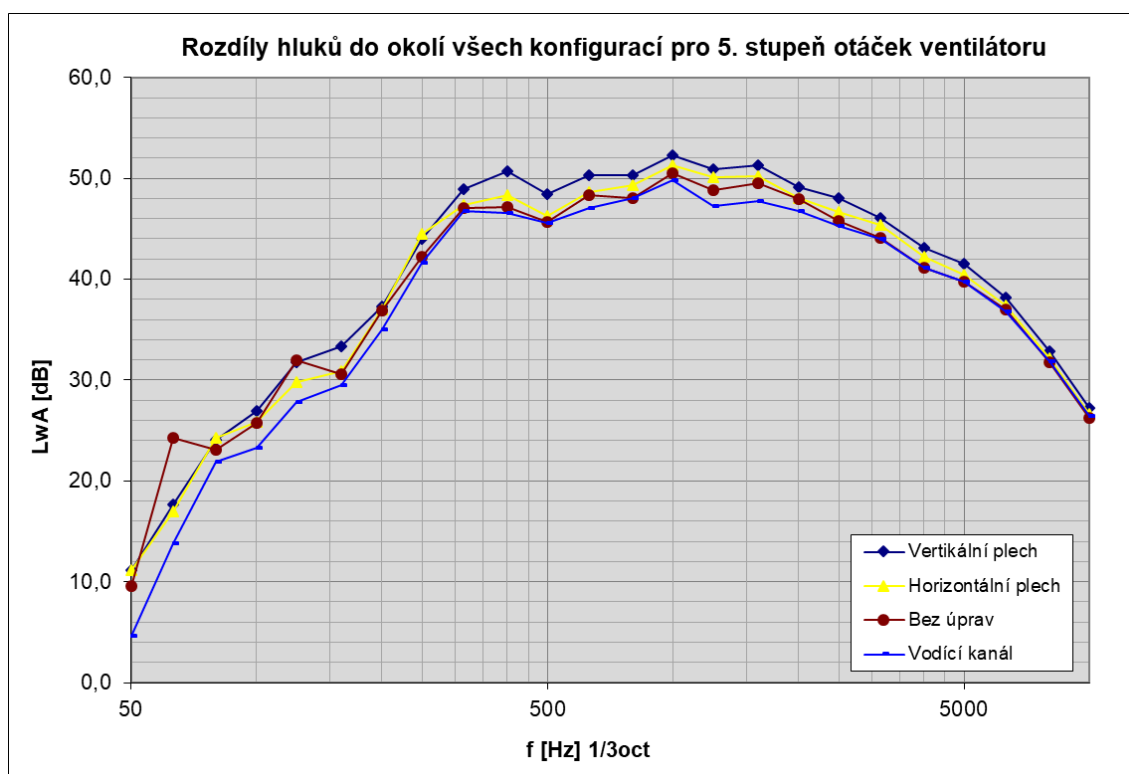
5.6.1 Základní porovnání pro 5. stupeň otáček ventilátoru

Výsledné naměřené hodnoty akustických výkonů jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 7).

Tabulka 7: Rozdíly hluků do okolí všech konfigurací pro 5. stupeň otáček ventilátoru

Úprava jednotky	Hluk do okolí [Db]
Bez úprav	58,67
Vertikální plech	60,70
Horizontální plech	59,35
Vodící kanál	57,88

Dle tabulky 7 vychází celkový hluk do okolí pro vodící kanál, pro 5. stupeň otáček ventilátoru nejnižší.



Graf 11: Závislost akustického výkonu na frekvenci všech konfigurací pro 5. stupeň otáček ventilátoru

V grafu (Graf 11) nejsou patrné žádné krajní výchylky, které by způsobovaly nežádoucí tónové složky.

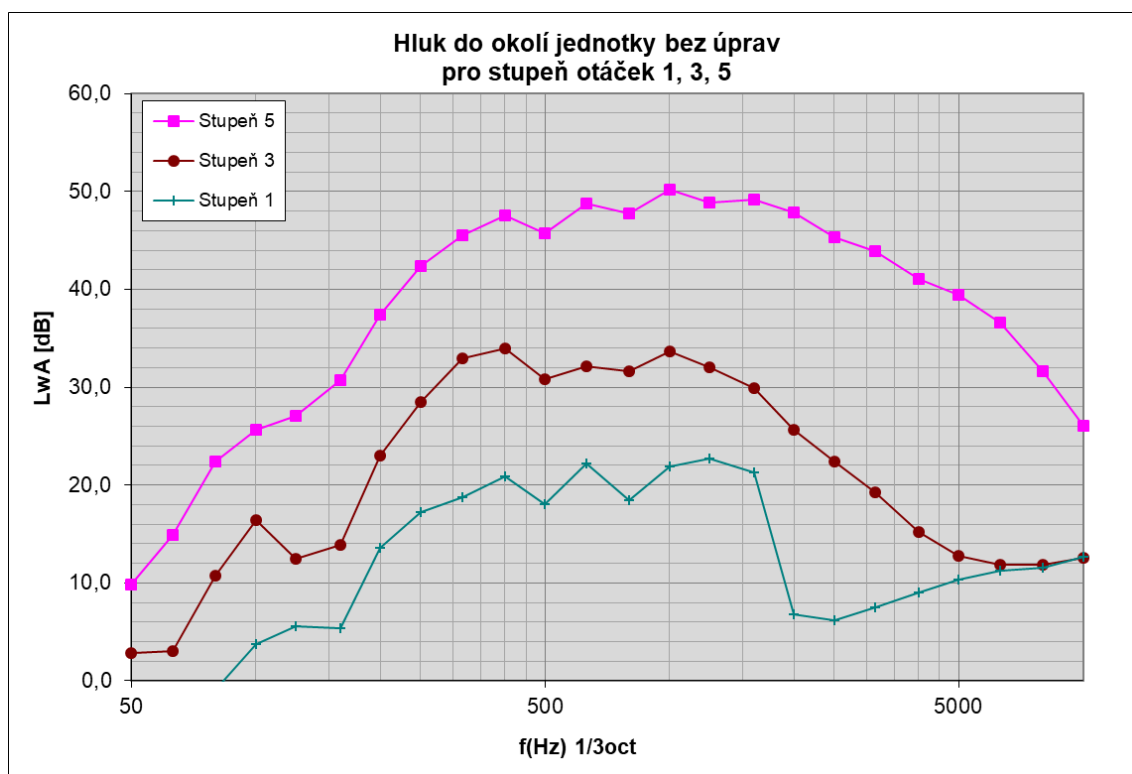
5.6.2 Detailní porovnání nižších stupňů otáček ventilátoru

Výsledné naměřené hodnoty akustických výkonů jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 8).

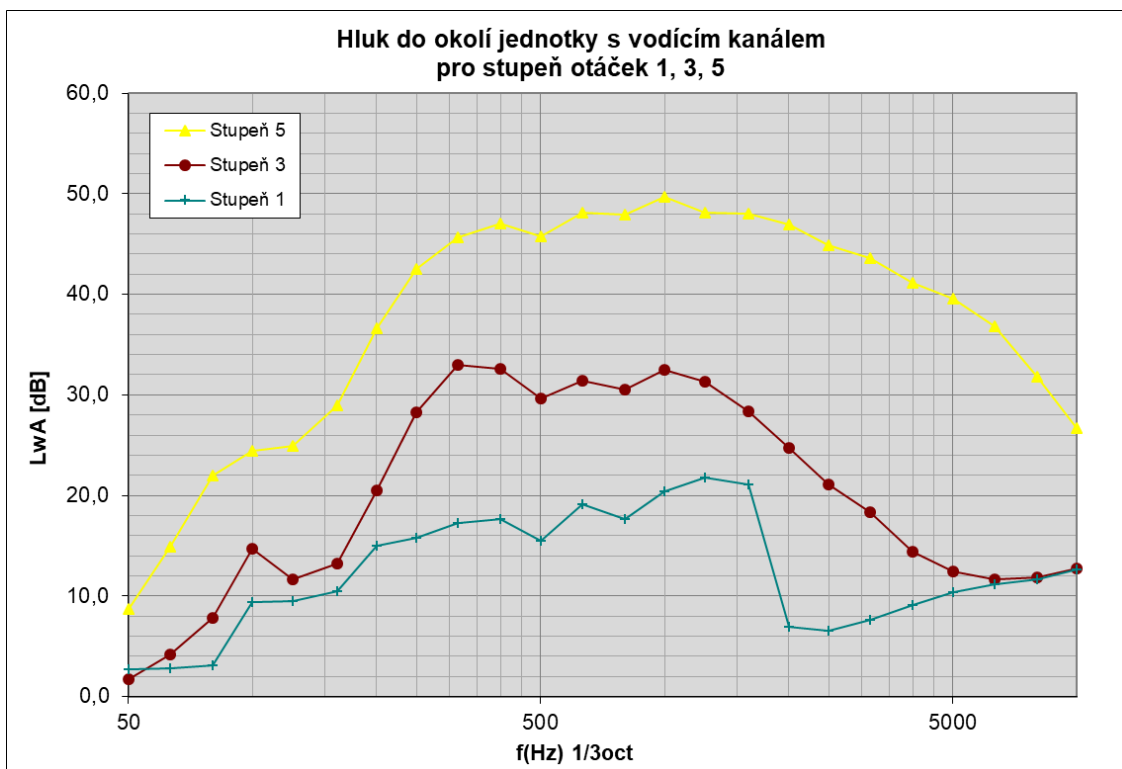
Tabulka 8: Rozdíly hluků do okolí jednotky bez úprav a s vodícím kanálem pro všechny měřené stupně otáček

Stupeň otáček	Vodící kanál [Db]	Bez úprav [Db]
5	57,88	58,67
3	40,90	42,03
1	29,46	30,54

Hluky do okolí po naměření výsledků nižších stupňů otáček ventilátoru v tabulce 8 vychází nižší na konfiguraci jednotky s vodícím kanálem, než na jednotce bez úprav. Potvrdilo se tak měření v kapitole 5.6.1.



Graf 12: Závislost akustického výkonu na frekvenci jednotky bez úprav pro všechny měřené stupně otáček



Graf 13: Závislost akustického výkonu na frekvenci jednotky s vodícím kanálem pro všechny měřené stupně otáček

V grafech (Graf 12, Graf 13) nejsou patrné žádné krajní výchylky, které by způsobovaly nežádoucí tónové složky.

6 Zhodnocení experimentu

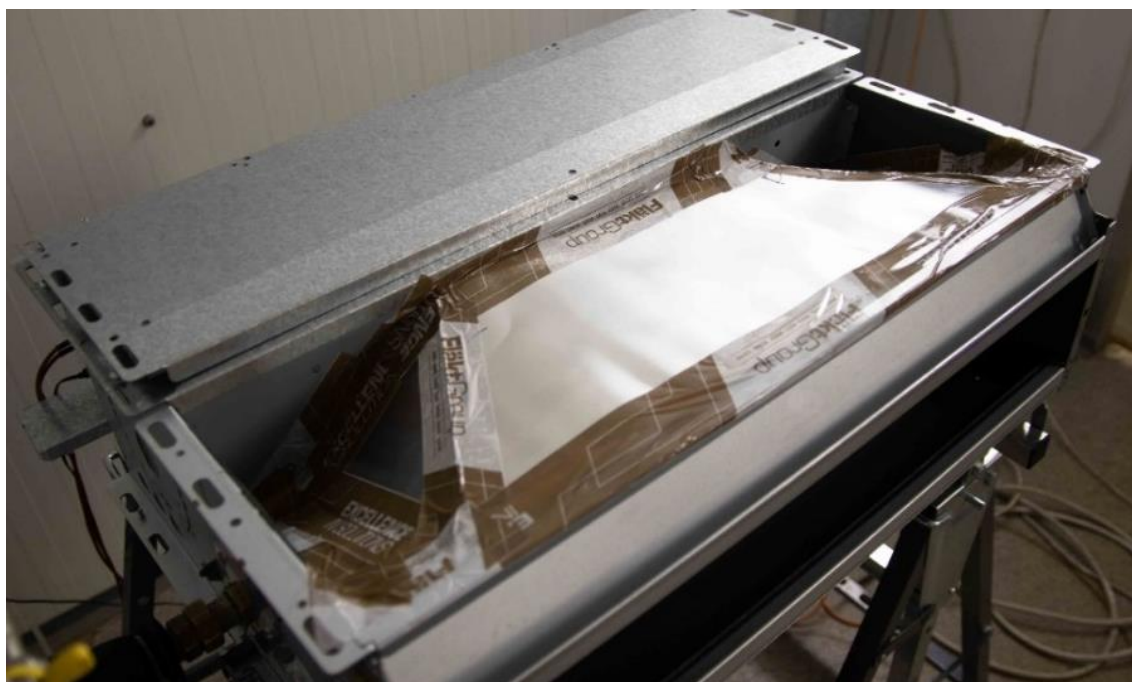
Z výsledků plyne, že vodící kanál má pozitivní vliv na všechny hlavní parametry jednotky. Zvýšení chladicího výkonu oproti jednotce bez vodícího kanálu se pohybuje v rozmezí 5-6 % pro všechny měřené stupně otáček ventilátoru. Taktéž akustické parametry doznaly pozitivní změny a snížily se v řádech decibelů.

Tato skutečnost je zřejmě způsobena vedením proudu vzduchu z ventilátoru přímo na výměník a odstranění ztrátových oblastí ve výměňkové komoře, kde dochází k víření vzduchu a jeho proudění přes nefunkční části výměníku.

Vertikální rozváděcí plech nepatrně vylepšil chladicí výkon a byla by teoreticky možnost kombinace s vodícím kanálem, ale jak ukázalo měření hluků do okolí, tak plechy vedly k nežádoucímu zvýšení akustických výkonů.

U horizontálního plechu došlo k ještě výraznějšímu zvýšení hluku do okolí a chladicí výkon celkově poklesl. Tento návrh není vhodný pro použití z žádného hlediska.

Měření všech stupňů otáček jednotky bez úprav a s vodícím kanálem potvrdila celkové vylepšení chladicího výkonu a snížení hluku do okolí konfigurace s vodícím kanálem. Bylo by tedy výhodné toto řešení zabudovat do jednotek Focus pro vylepšení všech parametrů. Navržený vodící kanál (Obrázek 42) měl značně prototypový charakter, návrh finálního řešení je popsán v kapitole 6.1.

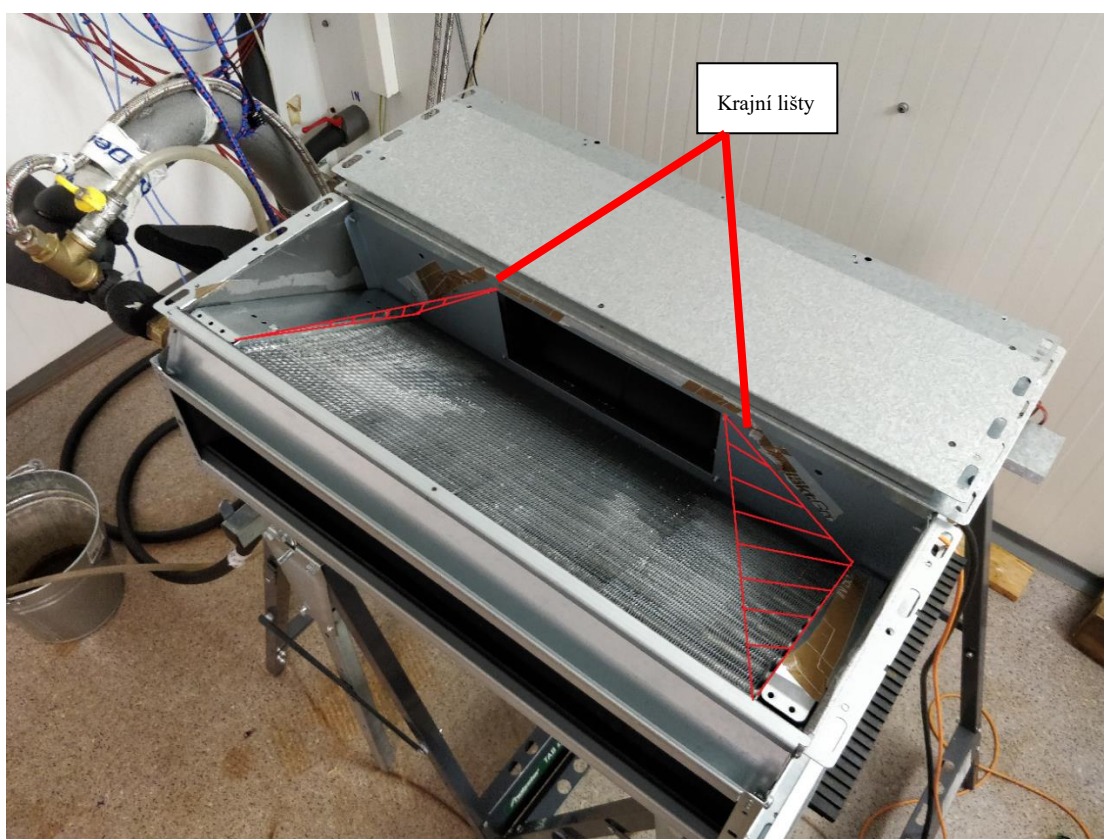


Obrázek 42: Vodícího kanálu zabudovaný v jednotce

6.1 Návrh finálního řešení

Prototyp měl charakter plně utěsněného kanálu i při odstranění krycí desky šasi. Při používání jednotky to však není nutné. V případě této práce bylo řešení zvoleno pouze z důvodu jistoty, že bude zajištěna naprostá těsnost.

Při dalším návrhu by se mohla odstranit horní část kanálu a krajní lišty by dosedaly přímo na izolaci krycí desky šasi (Obrázek 43). Toto řešení by mohlo být jednoduché pro výrobu a montáž a stejně efektivní jako testovaný vodící kanál. Musela by se však zajistit těsnost při dosednutí lišt na horní desku.



Obrázek 43: Návrh finálního řešení vodícího kanálu

7 Závěr

Výsledkem pozorování profilu proudění ventilátoru a proudění uvnitř výměňkové komory jednotky bylo navržení tří konstrukčních úprav. Tyto návrhy byly převedeny do prototypů a jejich funkce byla porovnána s měřením vzduchových charakteristik, akustických parametrů a chladících výkonů jednotky bez úprav.

Základní měření pro 5. stupeň otáček ukázala, že vodící kanál má pozitivní vliv na všechny parametry. U chladících výkonů došlo k vylepšení o 5 % oproti jednotce bez úprav. Tyto výsledky vedly k důkladnějšímu měření jednotky pro nižší stupně otáček ventilátoru (1, 3), které potvrdilo vylepšení celkového chladícího výkonu o 5-6 %. Vylepšení doznala i celková akustická složka produkovaná jednotkou, došlo k celkovému snížení pro všechny stupně otáček.

Pro zvýšení technické úrovně jednotek fan-coil firmy FläktGroup by mohlo být zabudování navrženého vodícího kanálu značným přínosem.

Seznam použité literatury

- [1] *Firemní literatura*, FläktGroup Czech Republic a.s.
- [2] *Větrání a klimatizace*. 3., zcela přeprac. vyd. Brno: BOLIT-B Press, 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [3] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [4] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076037-3
- [5] ČSN EN 1397. *Výměníky tepla – Klimatizační jednotky voda-vzduch s ventilátorem – Zkušební metody pro stanovení výkonosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 32s. Třídící znak. 69 6397
- [6] ČSN EN ISO 3741. *Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro dozvukové zkušební místnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 60s. Třídící znak. 01 1607
- [7] ČSN EN ISO 3745. *Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Přesné metody pro bezodrazové a polobezodrazové místnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 68s. Třídící znak. 01 1608
- [8] ČSN EN ISO 3747. *Akustika – Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku – Technické/provozní metody pro použití in situ v dozvukovém prostředí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 44s. Třídící znak. 01 1612.
- [9] ČSN ISO 5167-1. *MĚŘENÍ PRŮTOKU TEKUTIN POMOCÍ SNÍMAČŮ DIFERENČNÍHO TLAKU*. Část 1: Clony, dýzy a Venturiho trubice vložené do zcela vyplněného potrubí kruhového průřezu. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1993, 68s. Třídící znak. 25 7710.
- [10] ČSN EN ISO 5801. *Průmyslové ventilátory – Zkoušení výkonu s použitím normalizovaného vzduchovodu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 248s. Třídící znak. 12 2014

[11] ČSN EN 14511-3. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 3: Zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 52s. Třídící znak. 14 3010

[12] PLÍVA, Z., J. DRÁBKOVÁ, J. KOPRNICKÝ a L. PETRŽÍLKA. *Metodika zpracování bakalářských a diplomových prací*. 2. upravené vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, FM, 2014. ISBN 978-80-7494-049-1. Dostupné z: doi:10.15240/tul/002/2014-11-002