

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



NÁVRH VĚTRÁNÍ SPORTOVNÍ HALY
A STUDIE STÁRNUTÍ FILTRŮ
DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Tereza Licková

Vedoucí práce:

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Licková</u>	Jméno: <u>Tereza</u>	Osobní číslo: <u>484548</u>
Zadávací katedra: <u>technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Návrh větrání sportovní haly a studie stárnutí filtrů</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Design of a ventilation system and a study of air filters ageing</u>	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte projekt vzduchotechnického systému ve sportovní hale. Navrhněte koncepci systému, vypočítejte průtoky vzduchu, navrhněte součásti systému, potrubí a vzduchotechnickou jednotku. Nakreslete půdorysy a vybrané řezy, zpracujte technickou zprávu. V rozšiřující části zpracujte rešerši filtrů ve vzduchotechnice. Popište jaké jsou klíčové vlastnosti a jak se mění při používání filtru. Proveďte experimentální ověření změny tlakové ztráty filtrů různých tříd a typů v závislosti na jejich zanesení.	
Seznam doporučené literatury: Liu, G, et. al. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation, Sustainable Cities and Society, Volume 32, 2017, Pages 375-396, ISSN 2210-6707, https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.04.011 Théron, F., Joubert, A., Coq, L. Numerical and experimental investigations of the influence of the pleat geometry on the pressure drop and velocity field of a pleated fibrous filter, Separation and Purification Technology, Volume 182, 2017, Pages 69-77, ISSN 1383-5866, https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.02.034 .	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>26.9.2023</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>8.1.2024</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>26-09-2023</u> Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)



Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze dne 8.1.2024

Tereza Licková



Poděkování

V první řadě bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Danielovi Adamovskému, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při konzultacích, které mě vždy posunuly o krok dál. Dále mé díky patří Ateliéru Architektura za poskytnutí podkladů k projektové části. Experimentální část by se neobešla bez pomoci společnosti Prokat, která mi zprostředkovala filtry k měření. Závěrem děkuji rodině a přátelům za podporu během celého studia.



Abstrakt:

Cílem diplomové práce je vypracovat projekt vzduchotechniky sportovní haly. V teoretické části se práce zabývá studii vzduchotechnických filtrů a vyhodnocením experimentu měření tlakové ztráty v závislosti na druhu filtru a jeho zanesení.

Klíčová slova:

vzduchová filtrace, filtr, vlastnosti filtrů, tlaková ztráta, zanášení filtru, účinnost filtru

Abstract:

The goal of the master's thesis is to develop a project for the ventilation system of a sports hall. In the theoretical part, the work deals with the study of air handling filters and the evaluation of pressure loss measurements depending on the type of filter and its contamination.

Keywords:

Air filtration, Filter, Filter properties, Pressure loss, Filter clogging, Filter efficiency



Obsah

Úvod.....	2
1 Teoretická část.....	3
1.1 Filtrace.....	3
1.1.1 Vzduchová filtrace.....	3
1.1.2 Teorie filtrace.....	3
1.2 Třídění filtrů.....	3
1.2.1 Filtry pro běžné větrání.....	4
1.2.2 Vysoce účinné filtry.....	4
1.2.3 Charakteristiky filtrů.....	5
1.3 Provedení filtrů.....	7
1.3.1 Filtrační materiály.....	8
1.3.2 Vzduchové filtry.....	9
2 Praktická část.....	11
2.1 Předpoklad.....	11
2.2 Popis testovací trati.....	11
2.2.1 Čidla ke snímání veličin.....	13
2.2.2 Rámeček s filtrem.....	14
2.2.3 Filtrační materiál.....	15
2.2.4 Zanesení filtrů.....	15
2.3 Popis průběhu cyklu měření.....	15
2.4 Problémové části experimentu.....	16
2.5 Výsledky měření.....	17
2.5.1 Rozdíl hmotností expancelu.....	17
2.5.2 Tlaková ztráta.....	18
2.5.3 Rychlost proudění.....	19
2.5.4 Průtok vzduchu.....	20
2.5.5 Závislost změny průtoku vzduchu na změně tlakového rozdílu.....	23
Závěr.....	26
Seznam použitých tabulek.....	27
Seznam použitých obrázků.....	27
Knižní a elektronické zdroje.....	28
Obrázkové zdroje.....	29



Úvod

V dnešní době se klade velká pozornost na venkovní prostředí, skloňuje se problém klimatické krize. Na klimatických konferencích se dlouhé dny debatuje o tom, kam naše planeta směřuje, jak je to špatně a jakým způsobem tomu zabránit. Snažíme se plnit cíle, jak dlouhodobé, jako například vyřešit problém globálního oteplování v případě planety země, tak krátkodobé cíle zastoupené obyčejným tříděním odpadu. Tyto problémy jsou velmi důležité a nemůžou se opomíjet.

Na druhé straně mince je ovšem vnitřní prostředí budov, ve kterém žijeme, spíme, vyrůstají v něm děti. Podle studie společnosti Velux trávíme uvnitř budov až 90 % svého času. Kvalita vzduchu v interiéru budov záleží nejen na vzduchotechnických systémech, ale hlavně na lidech, kteří tyto systémy obsluhují. Vnitřní prostředí budov má velkou hodnotu důležitosti a neměli bychom tuto úroveň kvality přehlížet.

Tato práce se věnuje problematice filtrů ve vzduchotechnických systémech, které stojí za kvalitou přiváděného vzduchu do budovy. Shrnuje například třídění filtrů nebo vlastnosti filtrů s ohledem na jejich stárnutí neboli zanášení v průběhu jejich životnosti. Dále nabízí studii filtračních materiálů a filtrů pro různé aplikace. V závěrečné části se práce věnuje vyhodnocení experimentu měření, jak se mění základní charakteristiky filtrů jejich zanesením.



1 Teoretická část

1.1 Filtrace

Jedná se o proces oddělování částic nebo látek ze směsi, často tekutiny, pomocí filtru nebo filtračního média. Tato separace je založena na rozdílné velikosti, tvaru, hustotě a dalších charakteristikách částic nebo substancí. Filtrace se běžně používá například při vzduchové filtraci, čištění vody, průmyslových výrobních postupech, laboratorních postupech za účelem oddělení nečistot, dekontaminace nebo odstranění nechtěných částic z tekutiny. Výsledkem tohoto procesu je čistší v ideálním případě vyčištěný produkt. [1]

1.1.1 Vzduchová filtrace

Obecně se dělí na filtraci atmosférického vzduchu a průmyslovou filtraci. Rozdíl spočívá ve vstupních parametrech plynů a částic, místě jejich zachytu ve filtrační vrstvě a způsobu regenerace.

Filtry pro filtraci atmosférického vzduchu separují částice o nižších koncentracích v řádech mg/m^3 oproti tomu filtry průmyslové filtrace zachycují větší koncentrace znečištění v řádech g/m^3 a zároveň prostředí u průmyslových závodů může být zatíženo vysokými teplotami nebo agresivními příměsemi. Proces odlučování u atmosférické filtrace lze provést vícekrát, je označován pojmem vícestupňová filtrace nebo také hloubková filtrace a je základním prvkem pro vytvoření čistoty prostředí. Nejběžnější použití atmosférických filtrů je v systémech větrání a klimatizace. Průmyslová filtrace je principiálně podobným procesem, avšak s několika zásadními rozdíly. Zachytávání částic probíhá na povrchu filtru, kde se posléze vytvoří vrstva odloučených částic. Tato vrstva se nazývá filtrační koláč. V určitých intervalech se vrstva odstraňuje a tím se filtrační materiál regeneruje. [1] [2]

1.1.2 Teorie filtrace

Teorie filtrace byla vyvinuta z rané klasické teorie filtrace v 19. století až po moderní teorii filtrace a teorii mikroporézního filtru. Pohyb jemných částic byl poprvé pozorován botanikem Brownem na začátku 19.stol, kdy byly jemné částice suspendovány v kapalině a definovány jako Brownův pohyb. [3]

1.2 Třídění filtrů

Filtry se základním způsobem klasifikují na vzduchové filtry pro všeobecné větrání a vysoce účinné filtry vzduchu.



1.2.1 Filtry pro běžné větrání

Dne 1.12.2017 vstoupila v platnost norma ČSN EN ISO 16890, která mimo jiné mění způsob klasifikace vzduchových filtrů. Byla zavedena za účelem sjednocení různých doposud platných standardů.

Klasifikační systém je založený na účinnosti odlučování aerosolových částic (ePM – efficiency of particulate matters). Pro hodnocení filtrů podle jejich ePM účinnosti jsou použity standardizované funkce pro rozdělení velikostí částic dle objemu. Částice obecně zastupují průměrný okolní vzduch ve městech a na venkově. [4]

Podle studií, které se zabývají účinky aerosolových částic (PM) na lidské zdraví, bylo zjištěno, že znečištění vzduchu obzvláště malými částicemi je zdraví škodlivé. Tento jemný prach může způsobovat vážné dýchací i kardiovaskulární problémy. Tyto částice zastupují tři frakce podle velikosti částic: PM₁₀ (aerodynamický průměr ≤ 10μm), PM_{2,5} (aerodynamický průměr ≤ 2,5μm), PM₁ (aerodynamický průměr ≤ 1μm). Na základě poznatků ze studií bylo navrženo nové třídění filtrů, které rozlišuje tyto tři oblasti a tím se více přibližuje skutečnosti. Nové rozdělení je do 4 skupin podle účinnosti filtrace pro již zmíněné oblasti velikosti prachu (viz Tabulka 1). [4]

Označení skupiny	Požadavek			Uváděná hodnota u třídy
	ePM1,min	ePM2,5,min	ePM10	
ISO hrubý	-	-	< 50 %	Počáteční gravimetrická odlučivost
ISO ePM10	-	-	≤ 50 %	ePM10
ISO ePM2,5	-	≥ 50 %	-	ePM2,5
ISO ePM1	≥ 50 %	-	-	ePM1

Tabulka 1 – Klasifikace filtrů pro běžné větrání [4]

Pro kategorizaci musí být filtr schopen zadržet alespoň 50 % částic příslušné velikosti. Filtry, které zadrží méně než 50 % prachu velikosti PM₁₀, se zařadí do skupiny hrubé (coarse). Účinnost se zaokrouhluje dolů na nejbližší násobek 5 % bodů.

Příklad kategorizace:

$$ePM_{2,5} 60 \% = \text{filtr vykazuje účinnost } 60 \% \text{ při } PM_{2,5}$$

1.2.2 Vysoce účinné filtry

V zásadě je třídění a měření filtrů založeno na zjišťování odlučivosti pro částice, které nejvíce pronikají filtračním materiálem i vlastním filtrem. Tato metoda se nazývá MPPS (Most Penetrating Particle Size). V Tabulce 2 jsou filtrační prvky rozděleny podle jejich filtrační výkonnosti (účinnost a průnik) do skupin a tříd. Každá skupina má mírně odlišný zkušební postup. Skupiny jsou následující:



- Skupina E: EPA filtry (účinný filtr vzduchu pro odlučování částic),
- Skupina H: HEPA filtry (vysoce účinný filtr vzduchu pro odlučování částic),
- Skupina U: ULPA filtry (filtr vzduchu s velmi nízkým průnikem). [6] [7]

Skupina filtru	Třída filtru	Celková hodnota		Lokální hodnota	
		Účinnost (%)	Průnik (%)	Účinnost (%)	Průnik (%)
EPA, E	E 10	≥ 85	≤ 15	-	-
	E 11	≥ 95	≤ 5	-	-
	E 12	$\geq 99,5$	$\leq 0,5$	-	-
HEPA, H	H 13	$\geq 99,95$	$\leq 0,05$	$\geq 99,75$	$\leq 0,25$
	H 14	$\geq 99,995$	$\leq 0,005$	$\geq 99,975$	$\leq 0,025$
ULPA, U	U 15	$\geq 99,9995$	$\leq 0,0005$	$\geq 99,9975$	$\leq 0,0025$
	U 16	$\geq 99,99995$	$\leq 0,00005$	$\geq 99,99975$	$\leq 0,00025$
	U 17	$\geq 99,999995$	$\leq 0,000005$	$\geq 99,9999$	$\leq 0,0001$

Tabulka 2 - Klasifikace vysoce účinných filtrů vzduchu [7]

1.2.3 Charakteristiky filtrů

Následující kapitola se bude zabývat parametry popisující a hodnotící filtraci vzduchu. Jedná se o soubor údajů o vlastnostech filtrace a prostupu filtru. Proces filtrace je závislý na filtrační vrstvě, která je z velké části specifikována odlučivostí nebo tlakovou ztrátou. Tyto vlastnosti jsou úzce spojeny se stárnutím filtru. Během zanášení filtru v průběhu jeho životnosti se hodnoty těchto základních veličin mění.

1.2.3.1 Odlučivost

Celkovou odlučivost lze charakterizovat jako poměr hmotnosti prachu odloučeného za určitou dobu zkoušky k hmotnosti prachu přivedeného na filtr. Odlučování částic ve vláknité vrstvě je základem filtrace částic atmosférického vzduchu. Tato vrstva je složena z filtračních vláken. Při filtraci dochází k odlučování nejen na jednotlivých vláknech, ale také na již odloučených částicích. Jedná se o hloubkovou filtraci, protože se částice odlučují uvnitř vláknité vrstvy. Vláknitá vrstva se charakterizuje základními veličinami, kterými jsou: tloušťka vrstvy, poréznost a střední aritmetický průměr vláken. Z těchto veličin je definován parametr vrstvy, který určuje vlastnosti filtračního materiálu, tudíž i odlučivost. Čím vyšší je hodnota parametru vrstvy, tím vyšší odlučivost lze ve vrstvě dosáhnout. [2]

1.2.3.2 Účinnost filtrace

Pro uživatele filtrů je nejvíce potřebnou informací jejich účinnost neboli výsledný účinek odlučovacích schopností filtru na odlučování nečistot a příměsí ve vzduchu. Závisí na frakční odlučivosti vláknité vrstvy filtru a charakteru znečištění atmosférického vzduchu. Vyjadřuje se



celkovou odlučivostí O_c pomocí koncentrací příměsí před filtrem C_p a koncentrací za filtrem C_v neboli průnikem. Koncentrace se uvádí jako hmotnostní, např. v (mg/m^3) nebo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), nebo početní ($1/\text{m}^3$). [2]

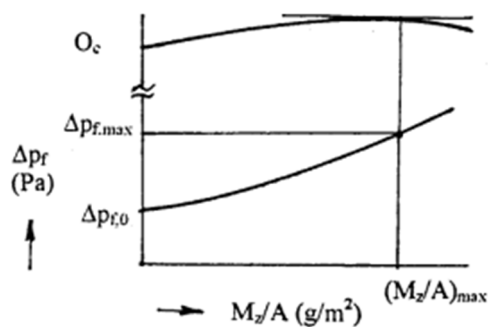
$$O_c = \frac{C_p - C_v}{C_p} * 100$$

1.2.3.3 Tlaková ztráta

Stanovuje se jak u vláknité vrstvy, tak u filtru jako takového. Důležitá informace je, zda se jedná o produkty v čistém stavu, či ve stavu po zanesení. Tlaková ztráta roste v závislosti na stáří (množství zanesení filtru). Zásadní rozdíly těchto tlakových ztrát budou rozebrány v následující kapitole.

Tlaková ztráta čisté vláknité vrstvy má odlučovací schopnosti a počáteční tlakovou ztrátu, která se mění se zanášením. Tlaková změna je způsobena frontální odporovou silou působící na vlákna během průtoku vzduchu skrz vláknitou vrstvu. Závisí na typu proudění skrz vláknitou vrstvu, které může být laminární nebo turbulentní. Obecně platí, že extrémně malá vlákna a nízká rychlost filtrace povedou k velmi malému Reynoldsovu číslu, což znamená laminární proudění. Reynoldsovo číslo obtékání vláken má vliv na součinitel odporu vlákna, vzájemné působení sousedních vláken. Dále tlaková ztráta závisí na průměru vláken. [2] [5]

Tlaková ztráta filtru na rozdíl od tlakové ztráty filtračního materiálu bere v potaz i ztráty na vstupu a výstupu, vlivem změny směru vzduchu. U skládaných filtrů se řeší i ztráty třením při průchodu vzduchu jednotlivými štěrbinami vytvořenými filtračním materiálem nebo separátory vloženými mezi jednotlivé sklady. Důležité je znát změnu tlakové ztráty se zanášením, která je znázorněna na Obrázku 1. Jedná se o závislost poměrné hmotnosti zachycených částic M_z a velikosti filtrační plochy A (vodorovná osa) na tlakové ztrátě filtru od její počáteční hodnoty na ose svislé. Tato závislost se zjišťuje experimentálně pro konkrétní filtr. [2]



Obrázek 1- Závislost změny tlakové ztráty filtru se zanášením [14]



Závislost Mz/A se podstatně mění změnou velikosti odlučovaných příměsí. Hodnoty závislosti zjištěné v laboratoři nelze porovnávat s různými zkušebními prachy, protože čím jemnější jsou částice odlučovaného prachu, tím je při stejné hodnotě Mz/A změna počáteční hodnoty tlakové ztráty větší. [2]

Zanášením může docházet i ke změně odlučovacích vlastností. Poréznost vláknité vrstvy klesá a tím zvyšuje rychlost vzduchu ve vrstvě a tím také dynamický účinek proudu na již odloučené částice. U filtrů pro běžné větrání dochází ke snižování odlučivosti vlivem strhávání odloučených částic, které postupně pronikají vláknitou vrstvou. Kvůli tomuto jevu se u atmosférických filtrů omezuje nárůst tlakové ztráty na určitou maximální hodnotu (např. dvojnásobek počáteční tlakové ztráty). Množství zachyceného prachu, která odpovídá této hodnotě, se nazývá jímavost filtru. [2]

1.2.3.4 *Jímavost filtru*

Jedna z mnoha definic ji určuje jako hmotnost prachu, kterou může filtr zachytit, aniž by se snížila jeho filtrační schopnost a tlaková ztráta vzrostla nad přípustnou mez. Tuto hodnotu množství zachyceného prachu lze použít pro stanovení odhadu životnosti filtru, pokud jsou známé vstupní koncentrace příměsí. Jinak řečeno lze určit přibližnou dobu jeho provozu do následné výměny. [12]

1.2.3.5 *Životnost filtru*

Životnost filtru je doba, po kterou má filtr požadovanou filtrační schopnost. Tato doba závisí na koncentraci prachových částic, které filtr odlučuje. Končí výměnou filtru neboli dosažením již nepřijatelné tlakové ztráty z důvodu velkého zanesení filtru. Jinak řečeno filtr již není schopen více absorbovat částice a začnou se uvolňovat do vzduchu za filtrem.

1.2.3.6 *Rychlost filtrace*

Obecně závisí na čelní rychlosti vzduchu před vláknitou vrstvou a rychlosti vzduchu ve vláknité vrstvě. Značným způsobem ovlivňuje odlučovací schopnosti a tlakovou ztrátu filtračního materiálu. Se zvyšující se třídou filtru, se výrazně snižuje hodnota filtrační rychlosti. [2] [8]

1.3 Provedení filtrů

S rostoucí třídou filtrů se postupně zvyšují požadavky na schopnosti filtrů odlučovat částice. To vede ke změnám ve struktuře samotného filtračního materiálu, v požadavcích na jeho jímavost a ke změně rychlosti filtrace. Tyto změny jsou patrné ve variacích provedení filtrů. [8] Nejprve budou představeny filtrační materiály a následně vzduchové filtry, ve kterých se používají.



1.3.1 Filtrační materiály

Využívají se ve vzduchotechnických i klimatizačních zařízeních pro předfiltraci nebo hlavní filtraci. Dále se používají pro záchyt hrubých nečistot. Vyrábí se ve formě umělých i přírodních materiálů. Jsou k dispozici v rolích či přířezech na míru. [9] [10]

1.3.1.1 Přírodní vlákno

Používá se pro filtraci hrubých prachových částic v oblasti potravinářství a lékařství. Jedná se například o vlákna bavlněná nebo kokosová. Filtr z kokosového vlákna NFiber od společnosti 1Filter lze opakovaně použít, protože neobsahuje žádný prostředek s adhezí vlastností. Regenerace se docílí umytím filtru. [9] [10] [11]



Obrázek 2 - Filtrační materiál NFiber z kokosového vlákna [15]

1.3.1.2 Polyuretan

Jedná se o materiál vysoce odolný proti vlhkosti a plně regenerovatelný. Lze použít jako předfiltr nebo první stupeň filtrace do klimatizačních a větracích jednotek. Polyuretanová pěna s kalibrovanou strukturou buněk, které jsou díky speciálnímu tepelnému procesu plně otevřené, můžeme sledovat na obrázku 3. Z tohoto důvodu může tento materiál zachytávat mechanické nečistoty ze vzduchu. Mimo použití ve vzduchotechnice se využívá také v automobilových filtrech. [9] [10]



Obrázek 3 - Filtrační materiál z polyuretanové pěny [16]

1.3.1.3 Skelné vlákno

Médium se skládá z elastických, kroucených neuspořádaně poskládaných skelných vláken zpevněných umělým pojivem. Je nasyceno prostředkem pro vázání prachu k lepšímu odlučování částic. Lámací materiál, který se uvolňuje a může způsobit zdravotní riziko. Vyniká dobrou teplotní odolností. Opět se používá především pro záchyt hrubých nečistot a ve vzduchotechnických a klimatizačních systémech. [9]



1.3.1.4 Syntetické vlákno

Filtrační materiál se skládá z neuspořádaně poskládaných netkaných zkroucených syntetických vláken rozdílné tloušťky, která jsou vzájemně propojena lepením pomocí tepelného účinku na vlákna. Nevyžadují pojivo na rozdíl od vláken skelných. Využívá se jako předfiltr nebo první stupeň filtrace do klimatizačních a větracích jednotek. Dále najde využití v zachycení hrubých prachových částic. Vyrábí se v rolích (Obrázek 4) nebo přířezech na míru. [9]



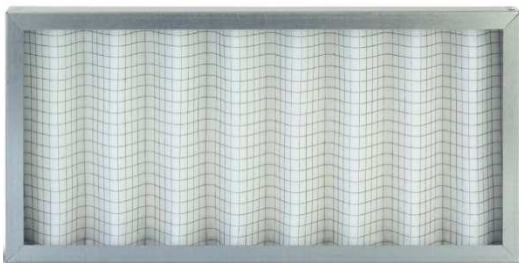
Obrázek 4 - Filtrační materiál ze syntetických vláken [17]

1.3.2 Vzduchové filtry

Vzduchový filtr je produkt složený z hlavní nosné konstrukce (rámečku) držící filtrační materiál a z filtračního materiálu, který odstraňuje částice (prach, pyly, plísně, bakterie atd.) ze vzduchu prostřednictvím mechanismu filtrace. Tyto výrobky mají mnoho provedení s velkou tvarovou variabilitou. Používají se v provozech, kde je důležitá kvalita přiváděného vzduchu. Příkladem těchto aplikací je větrání občanských budov, průmyslových budov nebo čištění vzduchu průmyslových strojů.

1.3.2.1 Kazetové filtry (panelové)

Jedná se o filtrační materiál upevněný v rámečku neboli kazetě. Podle druhu filtrační tkaniny může být složený do tzv. složence nebo v plošné formě, jako na obrázku 5. Kazeta může být z kovu (viz Obrázek 6), plastu nebo papíru. Dle materiálu rámu je filtrační materiál opatřen papírovou mřížkou, což můžeme vidět na obrázku 5 nebo podpůrnou mříží. Používají se zejména jako předfiltry nebo hlavní filtry vzduchotechnických nebo klimatizačních systémů. [9] [10]



Obrázek 5 – Kazetový filtr skládaný, kovový rám [19]



Obrázek 6 – Kazetový filtr plošný, papírový rám [18]



1.3.2.2 Kapsové filtry

Kapsový filtr je složen z jednotlivých kapes ušitých z filtračního materiálu. Kapsy jsou vsazovány do plastových nebo kovových rámečků (Obrázek 7). Kapsy zajišťují velkou plochu filtrace, tudíž delší dobu používání a snížení nákladů na provoz systému.

Používá se jako předfiltrační prvek nebo hlavní filtr ve ventilační nebo klimatizační soustavě nebo dále jako vstupní filtr jemného filtru. Kapsový filtr ze skleného vlákna na obrázku 8 je pokryt tenkou vrstvou netkané textilie, která zvyšuje odolnost a účinnost filtru. Mezi stěnami kapes jsou umístěny separátory pro lepší využití filtračního povrchu. [11]



Obrázek 7 – Kapsový filtr v kovovém rámu [20]



Obrázek 8 - Kapsový filtr ze skleného vlákna [21]

1.3.2.3 Kompaktní filtry

Jedná se o filtr z filtrační média poskládaného do složenců. Složence jsou vloženy nejčastěji do plastového rámu s variabilním počtem kapes (obrázek 9). Tato konstrukce zajišťuje filtru jeho kompaktnost. Kompaktní filtry se vyznačují vysokou filtrační účinností a dlouhou životností, za kterou stojí jejich velká filtrační plocha. [13]



Obrázek 9 – Kompaktní filtr [22]

2 Praktická část

Druhá část diplomové práce se věnuje experimentálnímu měření tlakové ztráty filtru. Řeší se zde tlaková ztráta čistého filtru v porovnání s tlakovou ztrátou filtru s určitým zanesením. Předmětem sledování je příbytek tlakové ztráty v závislosti na hmotnosti filtru v zaneseném stavu. Použity byly filtry různých tříd od hrubých po jemné.

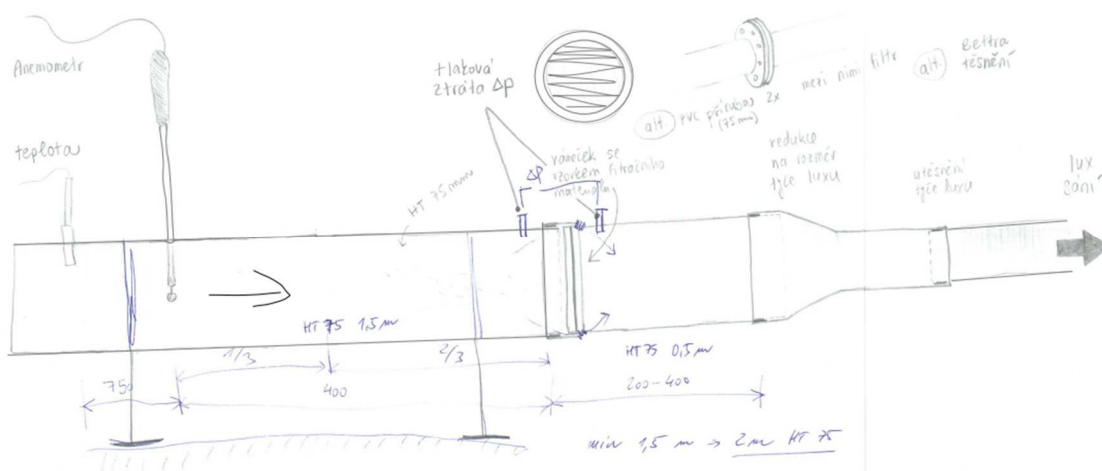
2.1 Předpoklad

Před samotným začátkem měření byly stanoveny následující předpoklady:

- Jemné filtry vyšších tříd pro vzduchovou filtraci v čistém stavu budou vyvozovat větší hodnoty tlakové ztráty než filtry hrubé v čistém stavu.
- Zanesení jemného filtru vyvodí větší rozdíl tlakové ztráty oproti čistému stavu než u filtru hrubého.
- Hodnoty tlakových ztrát by měly růst podle tříd filtru. Čím vyšší třída filtru, tím vyšší tlaková ztráta.
- V rámci nastavení experimentu se očekávají vyšší rychlosti proudění při měření hrubých filtrů.

2.2 Popis testovací trati

Pro účely experimentu byla vytvořena experimentální trať zjednodušující vzduchotechnický systém. Skicu s popisem jeho hlavních částí můžeme pozorovat na obrázku 10. V následující části bude trať podrobněji popsána.



Obrázek 10 - Skica testovací trati [23]



Jako hlavní spojovací prvek a zároveň tělo celé trati byly použity kanalizační trubky HT průměru 75 mm. Volba právě tohoto produktu byla zejména v jeho dobré dostupnosti a finanční přijatelnosti. Tělo se skládá ze dvou částí, které jsou rozebíratelné. Ve spoji na obrázku 12 (příruba s těsněním), který je typický pro kanalizační potrubí, se nachází místo, kam se vkládá filtr pro vzduchovou filtraci. Do potrubí byly vyvrtány otvory pro instalaci čidel pro měření teploty, rychlosti proudění vzduchu a rozdílu tlaku před a za filtrem. Z jedné strany bylo potrubí připojeno na průmyslový vysavač. Celá levá strana sestavy byla přikotvena pomocí objímek na potrubí ke konstrukci z dřevěných hranolů. Všechny spoje byly přelepeny a otvory po vložení čidel utěsněny vzduchotěsnou páskou viz detail na obrázku 11. Fotodokumentaci celé experimentální trati můžeme vidět na obrázku 13. Jednotlivé části systému budou rozepsány v následující části.

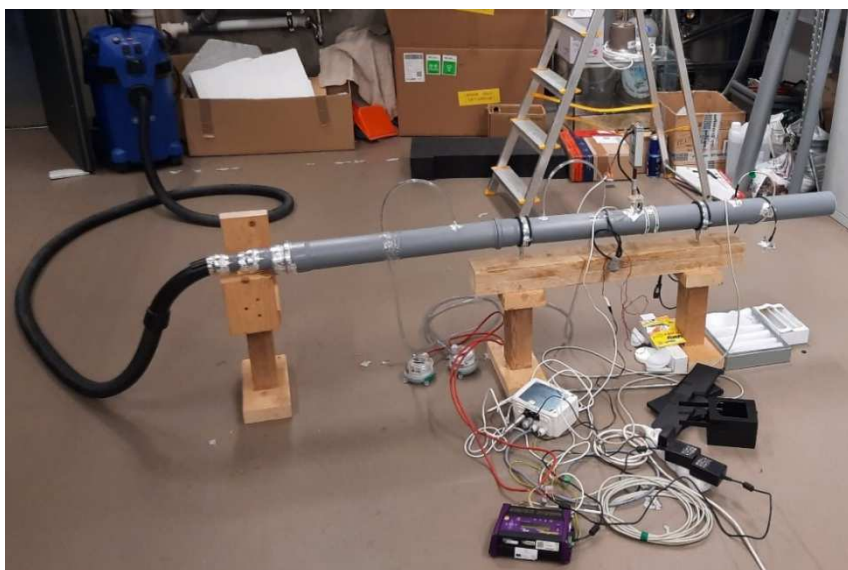


Obrázek 11 - Místo uložení filtru v testovací trati [23]

Fotodokumentaci celé experimentální trati můžeme vidět na obrázku 13. Jednotlivé části systému budou rozepsány v následující části.



Obrázek 12 - Zajištění vzduchotěsnosti [23]



Obrázek 13 - Pohled na testovací trať [23]



2.2.1 Čidla ke snímání veličin

Ke snímání teploty byla použita kabelová měřicí sonda, která byla instalována do předem vyvrtaného otvoru ve stěně potrubí a následně utěsněna vzduchotěsnou páskou.

Snímání rychlosti proudění vzduchu zajišťoval termický anemometr. Jeho instalace probíhala obdobně. Z důvodu vyšší váhy měřidla byl vytvořen držák (obrázek 14) k jeho ukotvení k potrubí.

Posledním použitým měřidlem byl snímač tlakové ztráty filtru (obrázek 15). Rozmezí, které byl snímač schopný zachytit se pohybovalo od 0 do 2,5 kPa. Hadičky připojené k měřidlu byly instalovány ihned před a ihned za místo, kde byl umístěný filtr, aby umožnily změřit tlakový rozdíl (obrázek 16).



Obrázek 14 – Anemometr [23]



Obrázek 16 – Hadičky měřidla tlakové ztráty [23]



Obrázek 15 – Měřidlo tlakové ztráty [23]

Veškerá měřidla byla připojena k sběrnici dat na obrázku 17, která komunikovala s počítačem skrz aplikaci, do které se připojila pomocí IP adresy. Přístroj snímá data každých 5 sekund. Interval měření jednotlivých vzorků byl stanoven na 2 minuty (24 hodnot). Naměřená data byla exportována ve formě xls souboru a poté byla dále upravena do formy grafů.



Obrázek 17 – Ústředna DataTaker DT80 [23]



2.2.2 Rámeček s filtrem

Vzorek filtru byl uchycen do rámečku vytisknutého 3D tiskárnou na míru potrubí. Pro měření bylo potřeba vytisknout celkem tři sady rámečků. Sada se skládá ze dvou částí. První díl je pouze kulatý rám a druhý díl má navíc výztuhu ve tvaru kříže (viz obrázek 19). Vzorek filtru byl vložen mezi zmíněné dva díly a utěsněn páskou (obrázek 18).



Obrázek 19 - Rámeček na filtrační tkaninu [23]



Obrázek 18 – Kompletní vzorek filtru [23]

Připravený rámeček s filtrem byl umístěn do potrubí a utěsněn plastickou hmotou. Stykem rámečku se stěnou potrubí by jinak proudil vzduch, což je nežádoucí. V tomto případě (obrázek 20) vzduch procházel pouze přes průtočnou plochu filtru a tím nedocházelo k nepřesnostem v měření.



Obrázek 20 - Utěsnění rámečku s filtrem [23]



2.2.3 Filtrační materiál

Použitý filtrační materiál (obrázek 21) pokrývá celou škálu tříd filtrů od hrubých po jemné filtry. Označení je podle staré normy a konkrétně jde o tyto třídy filtrů: G4, M5 (55 %), M6 (PFN 10-60 %), F7 (PFS 10-60 %), F9 (PFN 1-80 %).



Obrázek 21 - Filtrační tkaniny [23]



Obrázek 22 - Zanesení vzorku filtru expancelem [23]

2.2.4 Zanesení filtrů

Materiál k zanášení filtrů byl zvolen expancel. Jedná se o granulovaný materiál na bázi termoplastů velmi malých rozměrů kolem 10 až 20 μm . Důvodem byla dostupnost v místě měření, a hlavně možnost jeho rovnoměrného nanesení po povrchu tkaniny v určitém množství. Způsob zanášení filtrační tkaniny byl zvolen ruční pomocí čajové lžičky ukázaném na obrázku 22. Konkrétní množství expancelu bylo zváženo na laboratorní váze.

2.3 Popis průběhu cyklu měření

Nejprve byly připraveny tři stejné vzorky filtrů do rámečků. Tyto rámečky s čistými vzorky byly zváženy s přesností na 0,001 g na laboratorní váze (obrázek 23). Poté byly jeden po druhém vloženy do systému a utěsněny. Došlo k propojení potrubí s vysavačem, podložení v místě spojení hadice vysavače a konce trubky, pro zajištění stejné polohy potrubí pro všechna měření. Při nepatrné změně polohy potrubí se tlaková ztráta mění. Dále se spustil vysavač po dobu dvou minut. Po uplynutí stanovené doby byl vzorek vyjmut a tento proces pokračoval i se zbylými dvěma vzorky.

V cyklu následuje fáze zanesení filtru. Pomocí čajové lžičky bylo nanášeno a přitlačeno určité množství expancelu na filtrační tkaninu. Poté přebytečná neulpělá část byla oklepána a změnila se hmotnost vzorku. Nanášeno bylo vždy 0,030 g expancelu. Dále proběhla opět 3x fáze vložení vzorků do potrubí a měření po dobu dvou minut. Po vyjmutí vzorků se opět zvážily, aby bylo známo množství, které proniklo skrz filtr, respektive množství, které filtr dokázal zachytit.



Tento cyklus byl zopakován se všema druhy filtrů celkem 5x po třech vzorcích.



Obrázek 23 - Laboratorní váha [23]

2.4 Problémové části experimentu

První zkušební měření probíhalo s příliš vysokou rychlostí proudění vzduchu. Důsledkem byla velká tlaková ztráta na filtru, kterou již měřidlo tlakové diference nedokázalo zaznamenat, a to zejména při měření jemných filtračních tkanin. Tento problém byl vyřešen perforací potrubí za filtrem (obrázek 24) pro přisávání vzduchu z místnosti a tím zmenšení tlaku na filtru.



Obrázek 24 - Perforace potrubí [23]



2.5 Výsledky měření

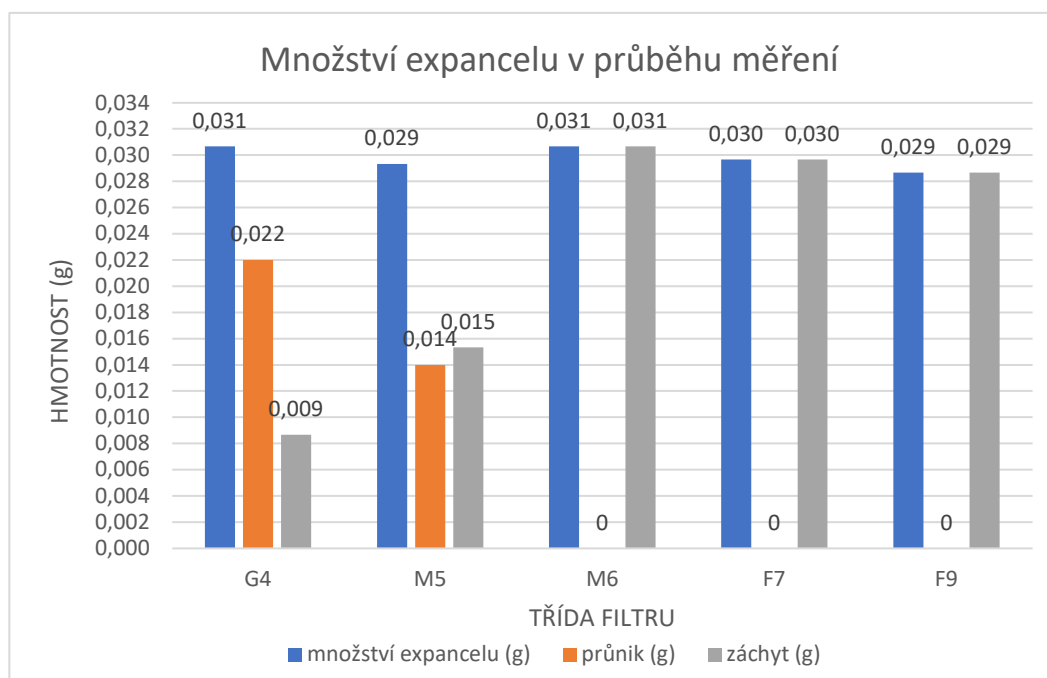
Základní tři veličiny, které jsou sledovány po celý experiment jsou tlakový rozdíl neboli tlaková ztráta filtru (Δp), rozdíl hmotností (Δm) čistý versus zanesený filtr a rozdíl průtoku vzduchu (ΔQ) vzorky filtrů různých tříd. V této části práce budou mezi sebou porovnány hodnoty zmíněných veličin naměřených v průběhu experimentu.

2.5.1 Rozdíl hmotností expancelu

V grafu na obrázku 25 níže můžeme pozorovat změnu hmotností expancelu v průběhu měření. Hodnoty šedého sloupce ukazují množství expancelu, které filtr dokázal zachytit. Tyto hodnoty jsou z velké části příčinou vzniklé tlakové ztráty filtru. Celková tlaková ztráta je způsobena spolupůsobením mnoha faktorů. Mimo zaneseného filtru se na ní podílí také samotný rámeček, ve kterém je uchycen filtr nebo přímost zkušební trati.

Hrubým filtrem G4 proniklo více jak polovina znečištění. Tento fakt dokazuje větší pórovitost hrubých filtrů, a tudíž jejich vhodnější použití pro záchyt hrubších nečistot. Skupina jemných filtrů nepropustila žádné částice expancelu.

Součet oranžového sloupce (průnik) a šedého sloupce (záchyt) odpovídá hodnotě sloupce modrému (množství expancelu). Nedošlo tudíž k žádným nepřesnostem v měření, vážení filtrů během procesu ručního zanášení ani během opětovného měření ve zkušební trati. Vážení rámečků s filtry totiž probíhalo ve vedlejší laboratoři. Vzorky musely být mnohokrát přenášeny a zejména ve stavu s naneseným expancelem mohlo dojít k odvátí části znečištění.



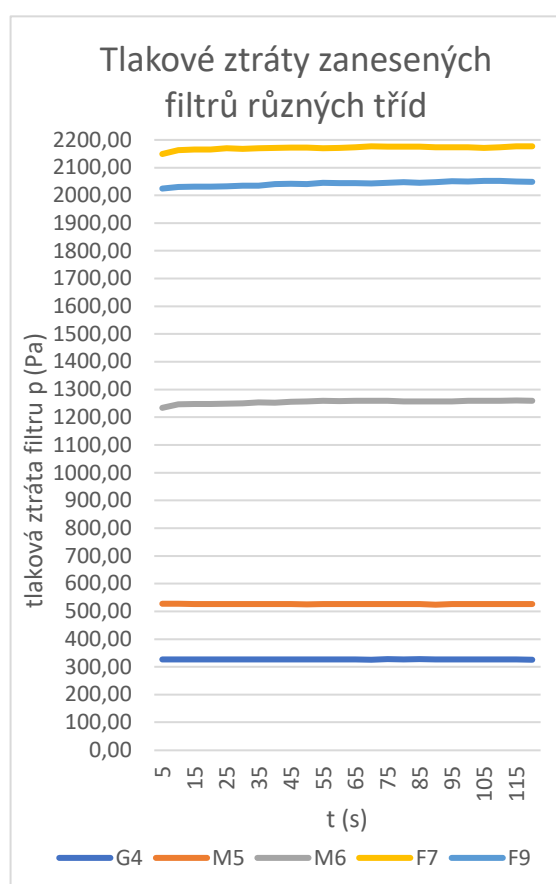
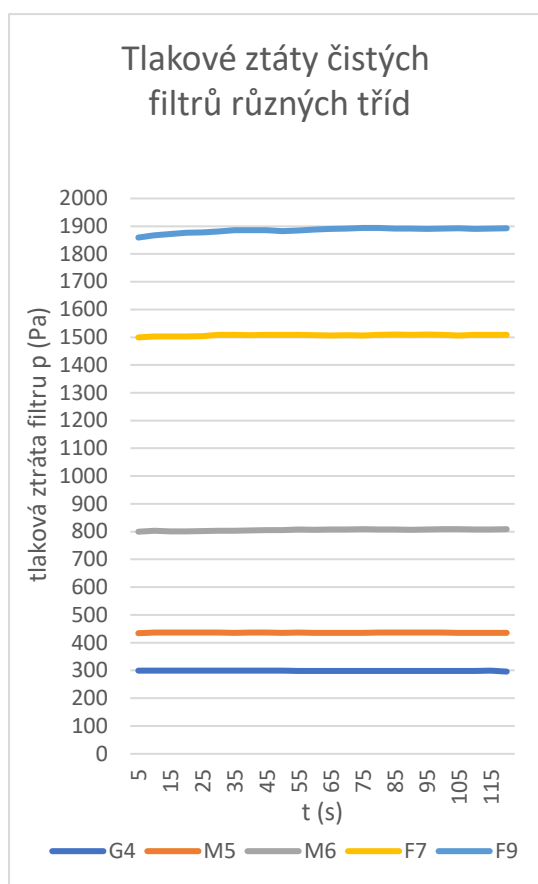
Obrázek 25 - Množství expancelu v průběhu měření [23]



2.5.2 Tlaková ztráta

Pro účely experimentu byl nejprve vzorek změřen s filtrem v čistém stavu a následně ve stavu s filtrem zaneseným expancem. Srovnání vzorků v obou stavech je znázorněno níže v grafech na obrázku 26 a 27.

Graf na obrázku 27 ukazuje vzestupnou tendenci tlakové ztráty od hrubých po jemné filtry. Tímto výsledkem byl potvrzen předpoklad, že se vzrůstající třídou filtru roste i jeho tlaková ztráta. Zajímavé je všimnout si změn tlakové ztráty čistý – zanesený filtr u skupiny hrubých a skupiny jemných filtrů. Hrubým filtrům např. G4 vzroste tlaková ztráta znečištěním filtru pouze nepatrně. Příčinou může být skutečnost, že filtry většinu znečištění nezachytí. Konkrétně dojde k vysátí větší části vysavačem, což dokládá graf na obrázku 25 výše. Pokud se ale podíváme například na filtr F7, tam lze pozorovat nejmarkantnější vzrůst tlakové ztráty filtru po jeho zanesení. Opět je důležité zaměřit se i na graf na obrázku 25. Tento graf napovídá, že filtr zachytil 100 % expancelu. Na tlakové ztrátě se tudíž podílí celé množství znečištění, nejen část hmotnosti jako v případě filtru G4. Z tohoto důvodu pravděpodobně došlo k mnohonásobně větší tlakové ztrátě.



Obrázek 27 - Tlakové ztráty čistých filtrů různých tříd [23] Obrázek 26 - Tlakové ztráty zanesených filtrů různých tříd [23]



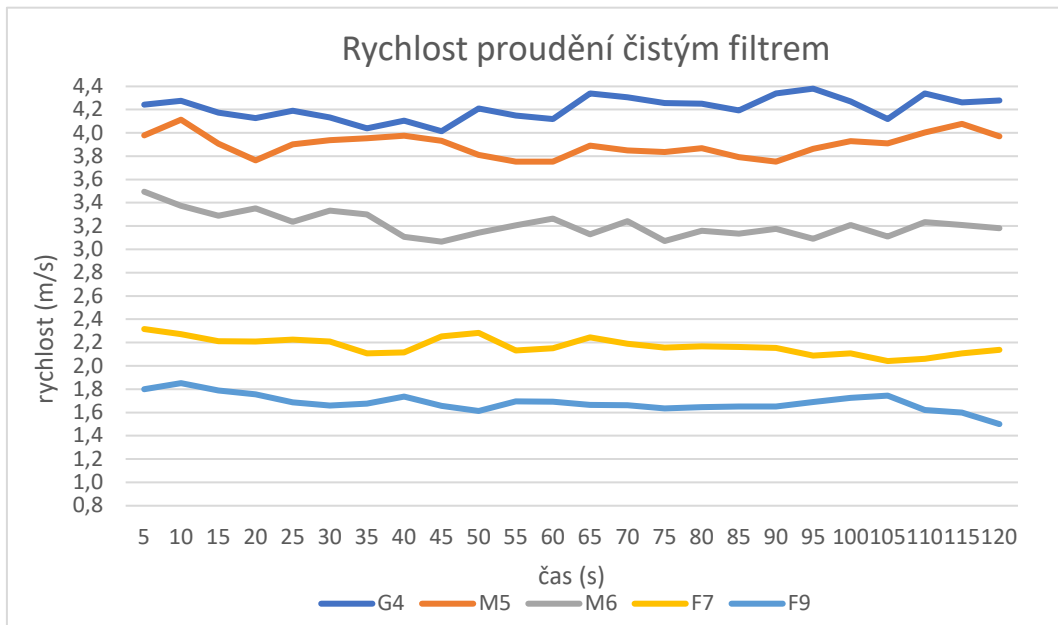
Ve výsledcích měření můžeme obecně pozorovat velké celkové tlakové ztráty. U filtrů ve vzduchotechnických jednotkách se celková tlaková ztráta pohybuje kolem 50 Pa. Zde je to u filtru M6 až 450 Pa. Tento velký celkový tlakový rozdíl lze přisoudit faktu, že testovací trať má průměr potrubí 75 mm. To je oproti skutečnému vzduchotechnickému systému mnohonásobně méně. Seběmenší zakřivení, nerovnost nebo překážka v proudění vyvolá tlakovou ztrátu. Dále v úzkém potrubí dosahuje proudění vzduchu větších rychlostí, což také přispívá k větší tlakové ztrátě.

V grafech na obrázcích 26 a 27 můžeme sledovat i jeden nepředpokládaný jev. Křivka tlakové ztráty vzorku s filtrem třídy F7 je podle předpokladu pod křivkou filtru F9 v čistém stavu. Po zanesení filtru se situace změní a křivka tlakové ztráty filtru F7 přesáhne hodnoty naměřené u zaneseného filtru F9. Tato situace mohla být způsobena nanesením většího množství expancelu na vzorek. Grafem na obrázku 25 lze doložit, že tomu tak bylo, a to o hodnotu 0,001g. Nyní můžeme pouze spekulovat, zda za tuto změnu mohla jemnější struktura tkaniny filtru F7, nepřesnost při ručním zanášení filtru nebo jiná skutečnost. Nabízí se upřednostnit rozdíl ve struktuře filtru, neboť větší kompaktnost filtru F7 byla pouhým okem viditelná. Filtr byl tenčí, evidentně více slisovaný a s minimem pórů. Z tenčí a jemnější tkaniny se dají ušít kapsové filtry. Tlustší s většími póry a větší tvarovou stálostí jsou vhodnější pro kazetové filtry. V potaz se může brát také chyba v měření způsobená lidským faktorem nebo chyba měřícího zařízení.

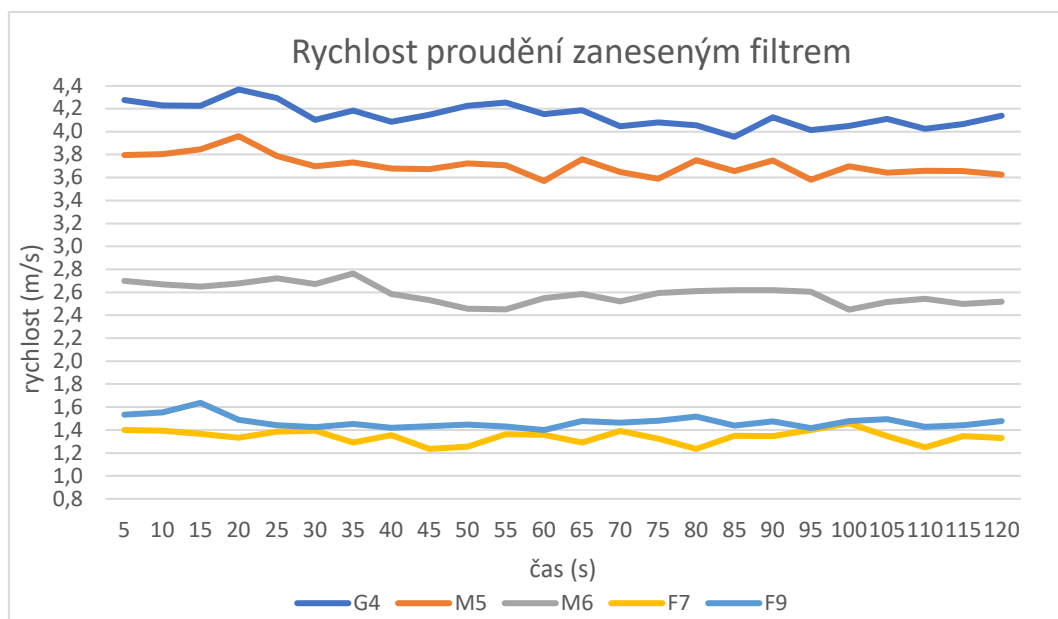
2.5.3 Rychlost proudění

Rychlost proudění závisí na průtoku vzduchu průtočnou plochou. Dále ji ovlivňuje například typ a struktura filtrační tkaniny. V tomto experimentu jsou hodnoty průtočné plochy konstantní. Hodnoty, které se mění, jsou průtoky vzduchu.

Z grafů na obrázku 28 a 29 je tedy zřejmé, že rychlosti a tím pádem i průtoky vzduchu ovlivňuje typ tkaniny (třída filtru) a u zanesené varianty množství zanesení. Pozorujeme nižší rychlosti u jemných filtrů z důvodu jejich nízké propustnosti. Hodnoty rychlostí proudění u hrubých filtrů jsou tudíž z opačného důvodu vyšší. Čistým filtrem M5 proudí vzduch průměrnou rychlostí 3,9 m/s. Zanesením 0,015g expancelu se rychlost sníží na 3,7 m/s.



Obrázek 29 - Rychlost proudění vzduchu čistým filtrem [23]



Obrázek 28 - Rychlost proudění vzduchu zaneseným filtrem [23]

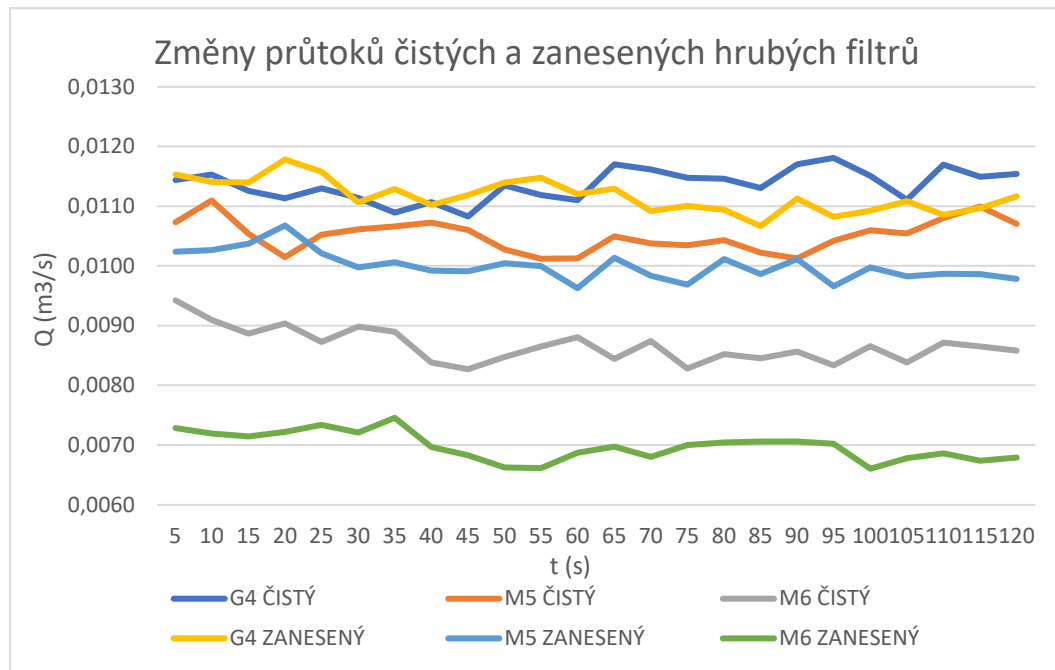
Jako u tlakových ztrát dochází k odlišnému chování dvojice filtrů F7 a F9 v čistém stavu a v zaneseném stavu. Rychlosti proudění skrz filtr F7 jsou nejnižší ze všech měřených vzorků s hodnotami pohybujícími se okolo 1,3 m/s. Předpoklad hovořil, že by měla být rychlost vyšší než u filtru F9. Důvody mohou být obdobné jako u případu s tlakovou ztrátou výše.

2.5.4 Průtok vzduchu

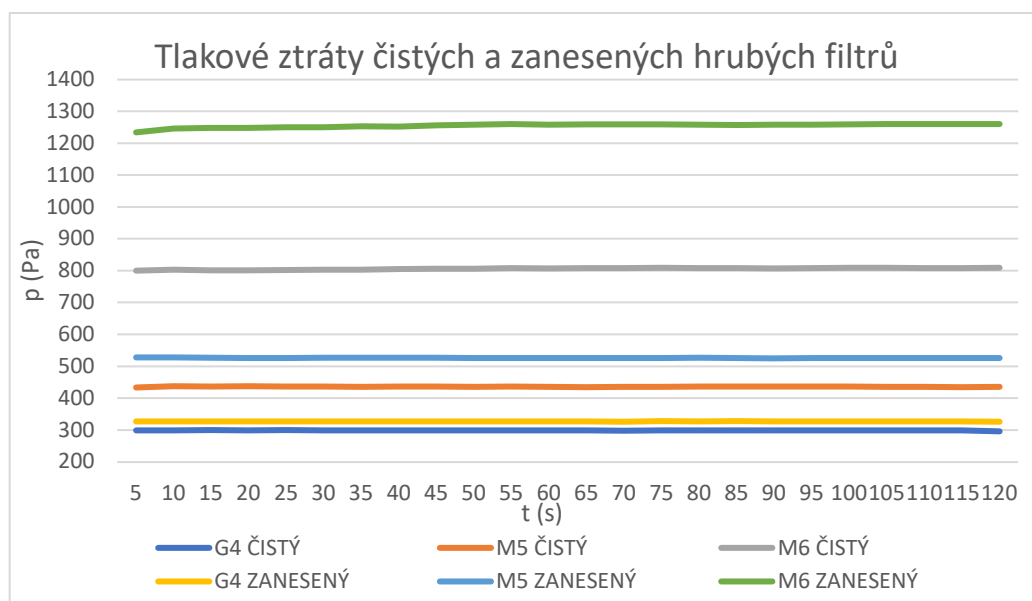
Nyní dojde k porovnání průtoku vzduchu a tlakové ztráty zvláště u skupiny hrubých filtrů (středně hrubých) v grafu na obrázku 30, 31 a jemných filtrů na obrázcích 32, 33.



U dvojice filtrů G4 a M5 pozorujeme pouze mírnou změnu průtoku vzduchu ve stavu čistém a následně stavu se zaneseným filtrem. Obdobně pozorujeme u tlakové ztráty. Jediný filtr, který více odskakuje od trendu ostatních je filtr M6. Děje se tak, jak u průtoků vzduchu, tak u tlakové ztráty. Příčinou tohoto odskočení je jemnost filtru, který nepropustil žádné znečištění. Průtok filtrem M6 zanesením 0,0031g expancelu klesl z 0,0085 m³/s na 0,007 m³/s. Zanesením filtru vznikla tlaková ztráta 1250 Pa.



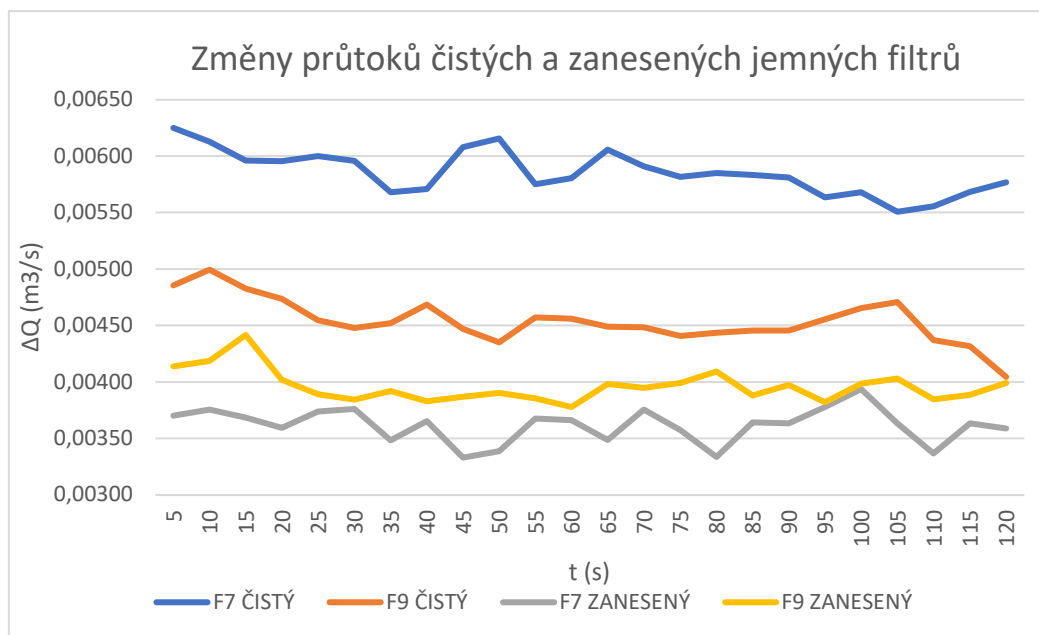
Obrázek 31 - Změny průtoků čistých a zanesených hrubých filtrů [23]



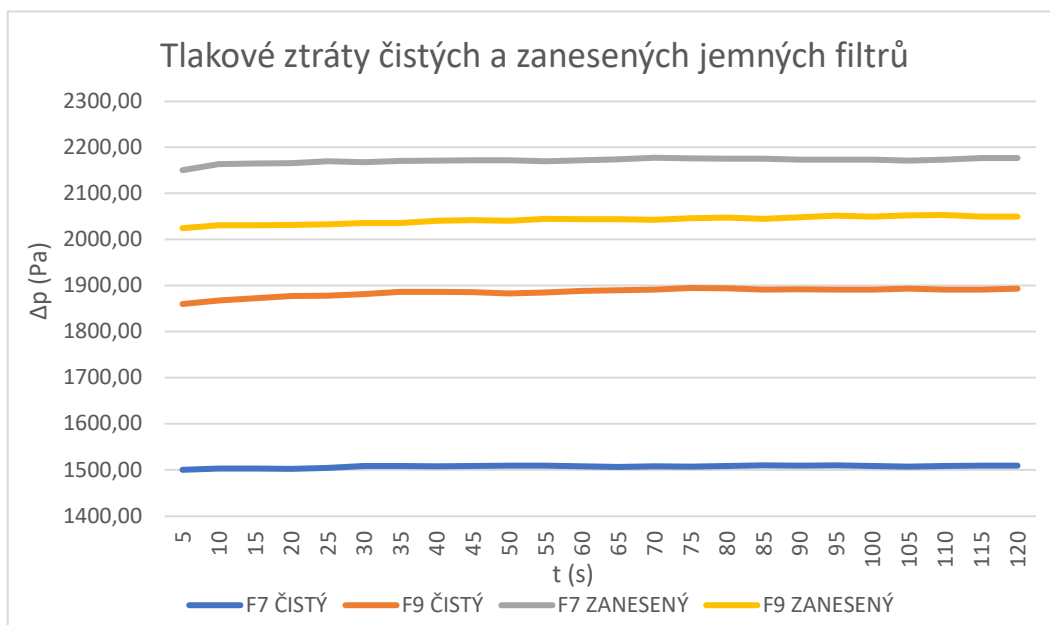
Obrázek 30 - Tlakové ztráty čistých a zanesených hrubých filtrů [23]



V grafu na obrázku 33 lze krásně pozorovat postupný nárůst tlakových ztrát filtrů se vzrůstající jemností filtru. V grafu na obrázku 32 nad ním pozorujeme opačnou situaci, kdy se průtok vzduchu se zvyšující jemností filtru snižuje. Proud vzduchu hůře protéká strukturou filtru za daný čas měření. Při kombinaci těchto dvou grafů pozorujeme jejich vzájemnou závislost v podobě nepřímé úměrnosti změny tlakové ztráty na změně průtoku vzduchu filtrem.



Obrázek 33 - Změny průtoků čistých a zanesených jemných filtrů [23]



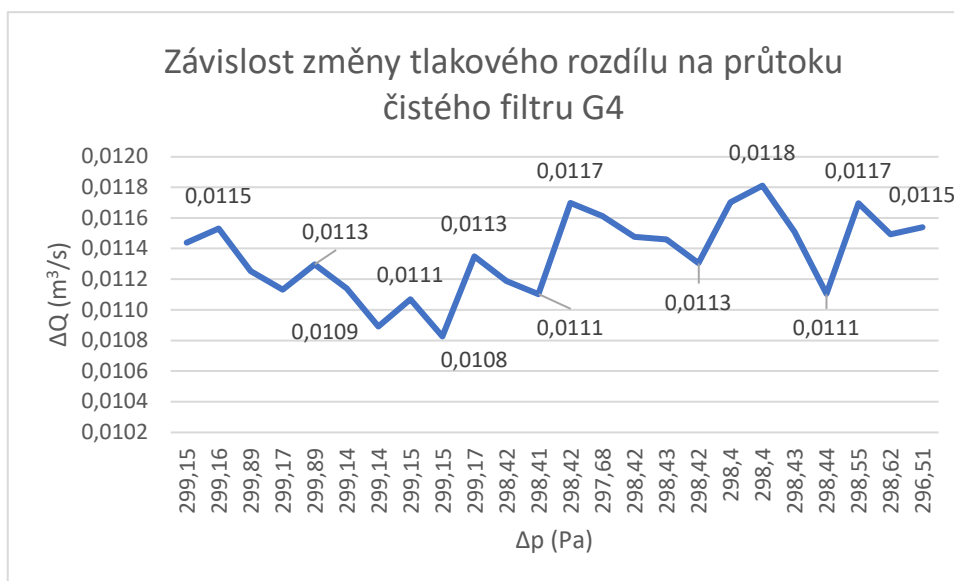
Obrázek 32 - Tlakové ztráty čistých a zanesených jemných filtrů [23]



Ve skupině jemných filtrů se dostáváme do ještě vyšších hodnot tlakových ztrát. Do těchto dvou grafů na obrázcích 32 a 33 se znovu propisují netypické hodnoty u filtru F7, který porušuje dosavadní pravidlo vzrůstající tlakové ztráty s rostoucí třídou jemnosti filtru. Obdobně je v nesouladu průtok vzduchu, kdy je nižší než u filtru třídy F9. Rozdíl je zde opravdu velký a nabízí se tedy myšlenka, zda opravdu nejde o chybu v měření než o jinou strukturu s větší kompaktností filtru F7 oproti filtru F9. Na druhou stranu skutečnost, že byl filtr F7 zanesen o 0,001 g více než filtr F9 by mohla vést k určitému závěru, protože nesoulad v hodnotách se neobjevuje v měření filtru v čistém stavu. Bohužel není k dispozici větší počet měření než tři k porovnání, tudíž lze pouze konstatovat, že naměřený tlakový rozdíl byl pravděpodobně způsoben kombinací kompaktnější struktury filtru F7 a jeho zanesením větším množstvím expancelu.

2.5.5 Závislost změny průtoku vzduchu na změně tlakového rozdílu

V této kapitole je porovnávána změna tlakového rozdílu filtru v závislosti na změně průtoku vzduchu filtrem. Byl vybrán jeden zástupce ze skupiny hrubých filtrů (G4) a jeden zástupce ze skupiny jemných filtrů (F9). Nejprve byla vytvořena závislost filtrů v čistém stavu a následně ve stavu po zanesení.

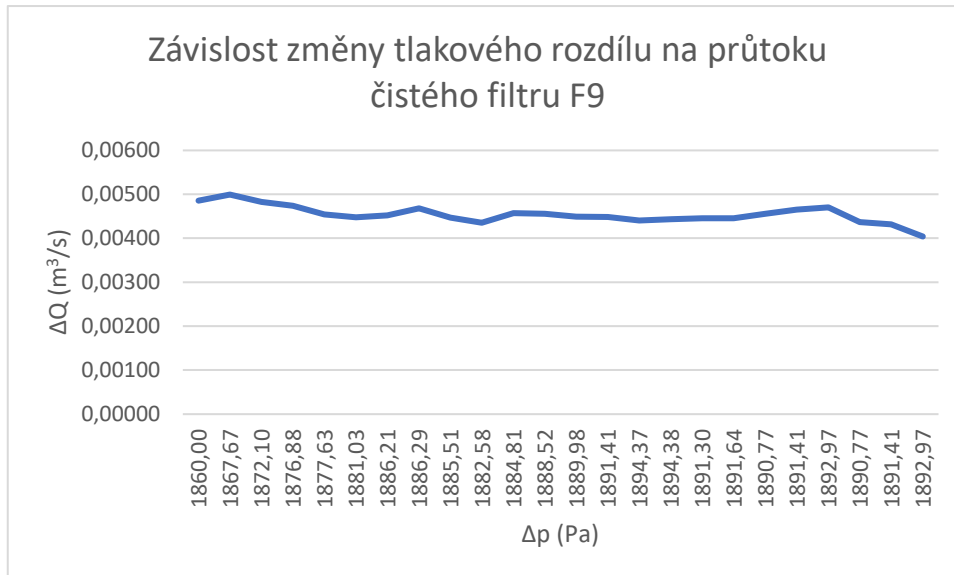


Obrázek 34 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku čistého filtru G4 [23]

V prvním případě lze pozorovat rozdíl v trendu čistého filtru G4 v grafu na obrázku 34 a čistého filtru F9 v grafu na obrázku 35. Křivka filtru F9 vykazuje pouze nepatrné výkyvy hodnot v průběhu celého měření. Průtok vzduchu kolísá kolem hodnoty 0,0045 m^3/s na rozpětí hodnot 1860–1894 Pa. Toto chování může vysvětlovat větší homogenita filtrační tkaniny u filtru F9. Vzduch protéká celou plochou filtru podobným způsobem. Naopak křivka filtru G4 má rozptýlené hodnoty průtoků vzduchu větší od 0,0108 m^3/s do 0,0118 m^3/s v rozmezí hodnot tlakových ztrát

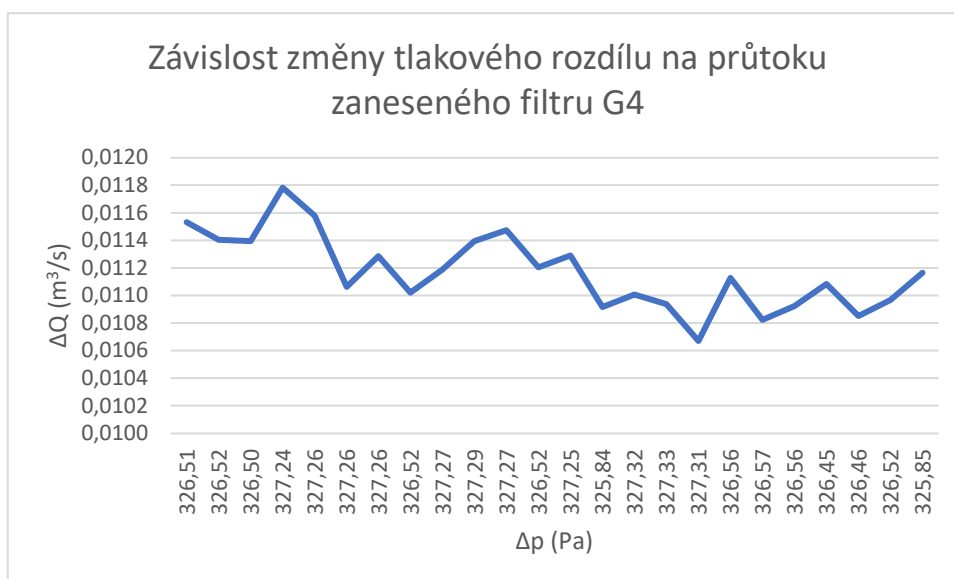


296–299 Pa. Hrubý filtr má též hrubší vlákna, která jsou v určitých místech vzorku více nahuštěna. Vzduch si vybírá různé trasy průchodu filtrem, a tudíž dochází k výkyvům v hodnotách průtoku.

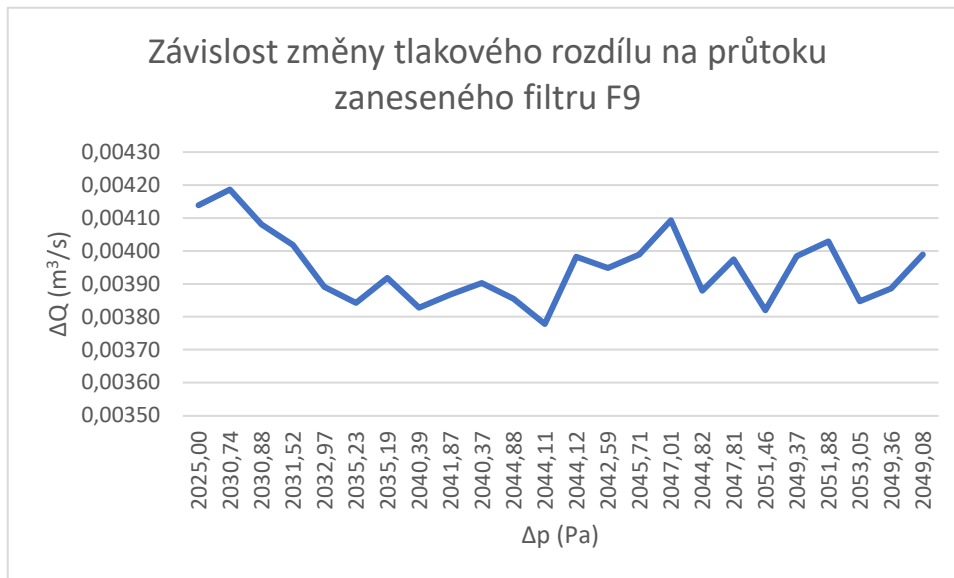


Obrázek 35 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku čistého filtru F9 [23]

V druhé dvojici grafů na obrázcích 36 a 37 jsou porovnávány stejné veličiny jen ve stavu se zaneseným filtrem. V tomto případě se tvary křivek obou grafů nijak významně neliší. U obou dochází k znatelným výkyvům v hodnotách průtoků. Argument u filtru G4 zůstává stejný, pouze mezi vlákny přibylo znečištění. V grafu na obrázku 37 ale došlo ke změně tvaru křivky, oproti stavu s čistým filtrem. Příčinou je asi nerovnoměrné zanesení filtru znečišťující látkou, v našem případě expancem. Vzduch tedy jako u filtru G4 neprochází rovnoměrně celou plochou. Zanesením filtru přestal být homogenní.



Obrázek 36 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku zaneseného filtru G4 [23]



Obrázek 37 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku zaneseného filtru F9 [23]



Závěr

Základními veličinami potřebnými k popisu filtrace jsou odlučivost a tlaková ztráta. V průběhu doby životnosti filtru se nejen tyto základní veličiny mění v závislosti na zanesení filtru. Důležitá veličina je změna tlakové ztráty se zanášením filtru. Jedná se o závislost poměrné hmotnosti zachycených částic M_z a velikosti filtrační plochy A na tlakové ztrátě filtru. Hodnoty závisí na jemnosti odlučovaného prachu. Při stejné hodnotě M_z/A je změna počáteční hodnoty tlakové ztráty u jemnějšího prachu větší.

Z provedeného měření vyplývá a zároveň se potvrzuje základní předpoklad, že zanesením filtru roste jeho tlaková ztráta. Děje se tak v závislosti na rychlosti proudění vzduchu, respektive průtoku vzduchu a průtočné plochy. Dále v závislosti na množství znečištění, druhu filtrační tkaniny a její třídě. Vytvořená testovací trať s malým průměrem vykazovala změnu tlakové ztráty i při sebemenším zakřivení potrubí. Z důvodu malého průměru, a tudíž vyšších rychlostí proudění vzduchu, vycházely vysoké hodnoty celkových tlakových rozdílů. Byly potvrzeny všechny stanovené předpoklady. Obecně platí, že čím je filtr jemnější, tím zachytí více znečištění, a proto bude jeho tlaková ztráta vyšší. Z měření vyplynulo i pár výjimek. Tuto posloupnost může narušit pravděpodobně rozdílná struktura filtru nebo jeho kompaktnost. Ve vyšších jemnostech filtru tudíž nemusí zpravidla platit, že filtr vyšší třídy po znečištění bude mít automaticky vyšší tlakovou ztrátu.



Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 – Klasifikace filtrů pro běžné větrání [4].....	4
Tabulka 2 - Klasifikace vysoce účinných filtrů vzduchu [6]	5

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1- Závislost změny tlakové ztráty filtru se zanášením [14].....	6
Obrázek 2 - Filtrační materiál NFiber z kokosového vlákna [15].....	8
Obrázek 3 - Filtrační materiál z polyuretanové pěny [16].....	8
Obrázek 4 - Filtrační materiál ze syntetických vláken [17]	9
Obrázek 5 – Kazetový filtr skládaný, kovový rám [19]	9
Obrázek 6 – Kazetový filtr plošný, papírový rám [18].....	9
Obrázek 7 – Kapsový filtr v kovovém rámu [20]	10
Obrázek 8 - Kapsový filtr ze skelného vlákna [21].....	10
Obrázek 9 – Kompaktní filtr [22].....	10
Obrázek 10 - Skica testovací trati [23]	11
Obrázek 11 - Místo uložení filtru v testovací trati [23]	12
Obrázek 12 - Zajištění vzduchotěsnosti [23]	12
Obrázek 13 - Pohled na testovací trať [23]	12
Obrázek 14 – Anemometr [23]	13
Obrázek 15 – Měřidlo tlakové ztráty [23]	13
Obrázek 16 – Hadičky měřidla tlakové ztráty [23]	13
Obrázek 17 – Ústředna DataTaker DT80 [23]	13
Obrázek 18 – Kompletní vzorek filtru [23]	14
Obrázek 19 - Rámeček na filtrační tkaninu [23].....	14
Obrázek 20 - Utěsnění rámečku s filtrem [23]	14
Obrázek 21 - Filtrační tkaniny [23].....	15
Obrázek 22 - Zanesení vzorku filtru expancem [23].....	15
Obrázek 23 - Laboratorní váha [23]	16
Obrázek 24 - Perforace potrubí [23]	16
Obrázek 25 - Množství expancelu v průběhu měření [23].....	17
Obrázek 26 - Tlakové ztráty zanesených filtrů různých tříd [23]	18
Obrázek 27 - Tlakové ztráty čistých filtrů různých tříd [23]	18
Obrázek 28 - Rychlost prodění vzduchu zaneseným filtrem [23]	20
Obrázek 29 - Rychlost proudění vzduchu čistým filtrem [23].....	20
Obrázek 30 - Tlakové ztráty čistých a zanesených hrubých filtrů [23].....	21
Obrázek 31 - Změny průtoků čistých a zanesených hrubých filtrů [23].....	21
Obrázek 32 - Tlakové ztráty čistých a zanesených jemných filtrů [23]	22
Obrázek 33 - Změny průtoků čistých a zanesených jemných filtrů [23]	22
Obrázek 34 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku čistého filtru G4 [23].....	23
Obrázek 35 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku čistého filtru F9 [23].....	24
Obrázek 36 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku zaneseného filtru G4 [23]	24
Obrázek 37 - Závislost změny tlakového rozdílu na průtoku zaneseného filtru F9 [23].....	25



Knižní a elektronické zdroje

- [1] HEMERKA, Jiří a Pavel VYBÍRAL. Filtrace atmosférického vzduchu. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 110s. ISBN 978-80-01-04902-0.
- [2] HEMERKA, Jiří. Filtrace atmosférického vzduchu I, *tzbinfo* [online]. c2009 [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
- [3] GUOLIANG, Liu a kolektiv. A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation, *Sustainable Cities and Society, ScienceDirect* [online]. c2017 [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221067071630734X>
- [4] ČSN EN ISO 16890-1. Vzduchové filtry pro všeobecné větrání [online]. 2017 [cit. 2023-10-29]. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Vysledky.aspx>
- [5] ZHONGLIN, Xu. Characteristics of Air Filters, *National Library of Medicine* [online]. c2013 [cit. 2023-11-05]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7498932/>
- [6] ČSN EN ISO 1822-1. Vysoce účinné filtry vzduchu (EPA, HEPA, ULPA) – Část 1: Klasifikace, ověřování vlastností, označování [online]. 2017 [cit. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Vysledky.aspx>
- [7] HEMERKA, Jiří. Filtrace atmosférického vzduchu II, *tzbinfo* [online]. c2009 [cit. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5843-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-ii>
- [8] HEMERKA, Jiří. Filtrace atmosférického vzduchu III, *tzbinfo* [online]. c2009 [cit. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/potrubi-a-jeho-soucasti/5877-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-iii>
- [9] Filtrační materiály [online]. Společnost C-FILTER FILTRY. © 2011-2019 [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.filtr-filtr.cz/filtracni-materialy>
- [10] Filtrační materiály [online]. EKOFILTR SPOL. s.r.o. © 2024 EKOFILTR [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.ekofiltr.cz>
- [11] NFiber [online]. 1FILTER. © 1Filter s.r.o 2014 - 2024 [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://1filter.cz/nfiber/>
- [12] ADAMOVSÝ, Daniel. Důvody pro větrání a jeho principy, vzduchotechnická klimatizace [syllabus přednášky v pdf]. Praha: ČVUT v Praze, předmět VKB. [cit. 2023-12-22]. Soubor dostupný z: <https://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=vyuka&kod=125VKB>
- [13] Kompaktní filtry [online]. MD Filter. © 2024 MD-FILTER s.r.o. [vid. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://www.mdfilter.cz/kompaktni-filtry.html>



Obrázkové zdroje

- [14] Závislost změny tlakové ztráty filtru se zanášením. In: tzbinfo [online]. tzbinfo, © 2001-2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/5815-filtrace-atmosferickeho-vzduchu-i>
- [15] Filtrační materiál NFiber z kokosového vlákna. In: 1FILTER [online]. 1FILTER, © 1Filter s.r.o 2014 - 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://1filter.cz/nfiber/>
- [16] Filtrační materiál z polyuretanové pěny. In: EKOFILTR [online]. EKOFILTR, © 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.ekofiltr.cz/kategorie/filtracni-materialy-z-polyuretanove-peny>
- [17] Filtrační materiál ze syntetických vláken. In: Vzduchotechnikaventilace.cz [online]. UNITRADE HK s.r.o. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.vzduchotechnika-ventilace.cz/113-filtracni-material-af-80-g2-balen-1-2x20-m.html>
- [18] Kazetový filtr plošný, papírový rám. In: EKOFILTR [online]. EKOFILTR, © 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.ekofiltr.cz/produkt/z-line>
- [19] Kazetový filtr skládaný, kovový rám. In: EKOFILTR [online]. EKOFILTR, © 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.ekofiltr.cz/produkt/z-line>
- [20] Kapsový filtr v kovovém rámu. In: 1FILTER [online]. 1FILTER, © 1Filter s.r.o 2014 - 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://1filter.cz/filtrace-hvac/kapsov%C3%A9-filtry/>
- [21] Kapsový filtr ze skelného vlákna. In: 1FILTER [online]. 1FILTER, © 1Filter s.r.o 2014 - 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://1filter.cz/filtrace-hvac/kapsov%C3%A9-filtry/>
- [22] Kompaktní filtr. In: EKOFILTR [online]. EKOFILTR, © 2024. [vid.2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.ekofiltr.cz/kategorie/uhlikove-filtry>
- [23] Archiv autora

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



TECHNICKÁ ZPRÁVA

NÁVRH VĚTRÁNÍ SPORTOVNÍ HALY
A STUDIE STÁRNUTÍ FILTRŮ

Vypracovala: Tereza Licková



Obsah

1	Úvod.....	2
1.1	Identifikační údaje.....	2
1.2	Výchozí údaje	2
1.2.1	Parametry venkovního prostředí	2
1.2.2	Návrhové parametry vnitřního prostředí.....	2
1.2.3	Ostatní návrhové hodnoty a průtoky větracího vzduchu	2
1.2.4	Normy a předpisy	3
1.2.5	Použité programy	3
1.3	Popis objektu.....	3
1.4	Koncepce řešení	4
1.5	Popis zařízení.....	4
1.5.1	Jednotka 1, hala	4
1.5.2	Jednotka 2, technická místnost.....	4
1.6	Potrubní rozvody.....	5
1.7	Koncové prvky	5
1.8	Regulace	5
1.9	Hluk a vibrace.....	5
1.10	Protipožární opatření	6
1.11	Ostatní profese.....	6
1.11.1	Stavba	6
1.11.2	Elektroinstalace	6
1.11.3	Zdravotechnika.....	6
1.11.4	Měření a regulace	6
1.11.5	Vytápění	6
2	Závěr.....	7



1 Úvod

Projekt řeší větrání sportovní haly v obci Vranovice. Podkladem byl projekt stavební části, požadavky investora, příslušné normy a předpisy.

1.1 Identifikační údaje

Účel stavby:	Sportovní hala
Místo stavby:	Vranovice
Charakter stavby:	Novostavba
Projektant:	Tereza Licková

1.2 Výchozí údaje

1.2.1 Parametry venkovního prostředí

Výpočtová zimní teplota venkovního vzduchu: -12 °C

Výpočtová letní teplota venkovního vzduchu: $+32\text{ °C}$

1.2.2 Návrhové parametry vnitřního prostředí

Hala, tělocvična	15 °C
Šatny	22 °C
Kanceláře	20 °C
Sprchy	24 °C

- Hodnoty vychází z normy ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu.

1.2.3 Ostatní návrhové hodnoty a průtoky větracího vzduchu

Hala	$90\text{ m}^3/\text{h}$ na sportovce, $25\text{ m}^3/\text{h}$ divák $50\text{ m}^3/\text{h}$ rozhodčí/ trenér
Šatny	$20\text{ m}^3/\text{h}$ na šatní místo
Kancelář	$50\text{ m}^3/\text{h}$ na osobu
Odsávání – WC (výlevka)	$50\text{ m}^3/\text{h}$
Odsávání – sprcha	$150\text{ m}^3/\text{h}$
Odsávání – umyvadlo	$30\text{ m}^3/\text{h}$
Odsávání – sklad sportovního náčiní	$0,3\text{ h}^{-1}$



- Hodnoty vychází z nařízení vlády č. 361/2007 Sb.

1.2.4 Normy a předpisy

- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.
- ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu
- ČSN EN 12 792 Větrání budov – značky, terminologie a grafické značky
- ČSN 73 0532 Akustika: Ochrana proti hluku v budovách
- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov
- ČSN EN 15 665 / Z1 – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov
- ČSN 73 0872 – Požární bezpečnost staveb – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
- ČSN 01 3454 Technické výkresy – Instalace – Vzduchotechnika, klimatizace

1.2.5 Použité programy

- MS Excel
- CADvent
- Autodesk AutoCAD

1.3 Popis objektu

Řešeným objektem je sportovní hala ve Vranovicích v jihomoravském kraji. Budova je dvoupodlažní a je rozdělena na dva samostatně fungující celky z hlediska vzduchotechnického systému. První část se skládá ze samotného prostoru haly, kterého je součástí galerie pro diváky. Celková kapacita pro diváky činí 50 míst. Druhý celek je zázemí sportovní haly, který se nachází ve dvou podlažích a zahrnuje: sociální zařízení, sklady sportovního náčiní, tělocvičnu, posilovnu, technické místnosti, kancelář správce, společné prostory, komunikační prostory a technické místnosti.

Objekt má obdélníkový půdorysný tvar se zastavěnou plochou 2000 m². Světlá výška v hale dosahuje 9500 mm a v zázemí v průměru 2600 mm v 1.NP a 4300 v 1.PP. Jedná se o prefabrikovanou betonovou halu. Fasáda je zavěšená na ocelové konstrukci a latích. Střecha je řešena jako plochá a nad částí zázemí pochozí.



1.4 Koncepce řešení

Celý systém je navržený jako nucený rovnotlaký. Návrh byl zpracován v programu CADvent. U prostorů hygieny, úklidu a skladů bude vzduch přisáván z okolních místností. Prostory se vzájemně uvádějí do rovnováhy přiváděného a odváděného vzduchu.

1.5 Popis zařízení

Pro větrání celého objektu byly navrženy dvě centrální vzduchotechnické jednotky od výrobce Atrea. Navržené vzduchotechnické jednotky splňují ve všech parametrech požadavky NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) Č. 1253/2014, ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na EKODESIGN větracích jednotek.

1.5.1 Jednotka 1, hala

Pro část haly byla navržena jednotka DUPLEX 11000 Multi-N. Zařízení je rovnotlaké v nástřešním provedení a bude umístěno na pochozí části střechy nad zázemím haly u východní fasády. Umístění jednotky splňuje kritéria na manipulační prostory. Přívod i odvod vzduchu je 2163 l/s (7734 m³/h) s předpokládanou tlakovou ztrátou 149 Pa na přívodním potrubí a 99 Pa na odvodním potrubí. Jednotka je vybavena protiproudým rekuperačním výměníkem s účinností 98 %. Výkon výměníku je 70,9 kW. Jednotka bude řízena centrálně na teplotu přiváděného vzduchu za jednotkou 15 °C v zimním období. Součástí jednotky je vestavěný vodní ohřivač. Technický popis jednotky je k dispozici v části výpočtová dokumentace.

1.5.2 Jednotka 2, technická místnost

Jedná se o jednotku DUPLEX 7500 Multi Eco. Zařízení je rovnotlaké v parapetním provedení a bude umístěno v technické místnosti v 1.PP objektu. Umístění jednotky splňuje kritéria na manipulační prostory. Jednotkou prochází 1590 l/s (5724 m³/h) vzduchu s předpokládanou tlakovou ztrátou 381 Pa na přívodním a 266 Pa na odvodním potrubí. Součástí jednotky je protiproudý rekuperační výměník s účinností 98 %. Výkon výměníku je 52,4 kW. Jednotka bude řízena centrálně na teplotu přiváděného vzduchu za jednotkou 15 °C v zimním období. Součástí jednotky je vestavěný vodní ohřivač. Technický popis jednotky je k dispozici v části výpočtová dokumentace.



1.6 Potrubní rozvody

Pro rozvody vzduchu jsou použity kruhové i čtyřhranné potrubní prvky. Pro hlavní rozvody od vzduchotechnické jednotky je použito čtyřhranné pozinkované potrubí (např. Rect) zejména z důvodu variability rozměrů pod stropem. V místech menších dimenzí přechází do kruhového potrubí (např. Safe). Samotné distribuční elementy jsou napojeny na potrubí ohebnou zvukově izolovanou hadicí (např. Sonodec). Do 1.NP jsou čtyřhranné potrubní rozvody vedeny instalační šachtou umístěnou v technické místnosti. Vodorovné rozvody jsou v hygienických zázemích vedeny v podhledu. V ostatních částech objektu jsou vedeny příznaně pod stropem. Potrubí vedoucí od jednotky do budovy venkovním prostředím je opatřeno tepelnou izolací z důvodu rizika kondenzace na vnitřní straně potrubí. Potrubí je kotveno do stropní konstrukce pomocí závěsů. Čtyřhranné potrubí je spojováno pomocí přírub šroubováním. Kruhové potrubí využívá spojovací systém (např. Safe & Click). Na přívodní větví do šaten a kanceláře správce je osazen vodní ohřívač vzduchu.

1.7 Koncové prvky

Koncové elementy v místnostech v zázemí s častým pobytém osob jsou zastoupeny pro odvod i přívod stropními difuzory s vířivým výtokem vzduchu. U skladu, místnosti úklidu, WC a sprch byly navrženy pro odvod vzduchu talířové ventily. V hale byly navrženy průmyslové difuzory s dosahem na velkou vzdálenost a pro dostatečný přísun čerstvého vzduchu na hrací plochu. Do prostoru galerie přivádí vzduch soustava mřížek, která byla zvolena opět z důvodu kuželového proudu vzduchu s dlouhým dosahem. Jako odvodní prvek prostoru haly a galerie byl navržen kruhový difuzor.

1.8 Regulace

Vyvážení průtoku vzduchu na všech větveních je zajištěno manuální regulací regulačními klapkami do kruhového potrubí (např. DRU). Regulace bude provedena při prvním spuštění systému a dále v pravidelných intervalech. Je uvažován současný chod větrání všech místností. Provozní regulace průtoku vzduchu (noc a víkend) bude probíhat za snížených otáček ventilátoru při udržení konstantní úrovně tlaku. Podrobnosti návrhu jsou k dispozici v reportu z programu CADvent ve výpočtové části.

1.9 Hluk a vibrace

Na potrubí budou osazeny tlumiče hluku. Návrh byl vytvořen pomocí nástroje LindQST. Výstup je k dispozici ve výpočtové části. Tlumiče budou umístěny hned za jednotku, jak do



přívodního, tak do odvodního potrubí. Dále u vývodu odpadního vzduchu, sání čerstvého vzduch. Na jednotku bude potrubí napojeno pomocí tlumících manžet. Rozvody budou zavěšeny na závěsy s pryží.

1.10 Protipožární opatření

V místě průchodu potrubí požárně dělicími stěnami budou instalovány požární klapky. Utěsnění potrubí ve stěně bude pomocí nesnadno hořlavých hmot.

1.11 Ostatní profese

1.11.1 Stavba

Budou provedeny prostupy minimálně o 100 mm větší než potrubí pro vzduchotechnické potrubí v nosných i nenosných stěnách. Dále se provede dozděnění nebo dotěsnění potrubí po montáži hlavně v instalačních šachtách. Utěsnění musí zabezpečovat pružné uložení vzduchovodů vůči stavební konstrukci. Nesmí být umožněný přenos hluku konstrukcí od vzduchotechnického potrubí. V součinnosti s dodavatelem profese VZT se zajistí způsob zavěšení VZT rozvodů. Po instalaci potrubí bude v místnostech hygienického zázemí provedeno jeho zakrytí akustickým podhledem.

1.11.2 Elektroinstalace

Vzduchotechnická jednotka je napojena na vnitřní rozvody elektroinstalací v objektu. Musí se zajistit uzemnění vzduchotechnických zařízení včetně potrubních rozvodů, které jsou vodivě propojeny. Dále se provede uzemnění, ochrana před nebezpečným dotykovým napětím a svod statické elektřiny. Předpokládaný el. příkon ventilátorů a potřebné napětí jsou uvedeny ve specifikaci jednotek ve výpočtové části.

1.11.3 Zdravotechnika

Odvod kondenzátu ze vzduchotechnické jednotky bude zajištěn potrubím jmenovitého rozměru DN 32/40 do kanalizace. Odvod musí být vyhříváný z důvodu rizika zamrznutí.

1.11.4 Měření a regulace

Profese MaR řeší spouštění vodních ohříváčů.

1.11.5 Vytápění

Profese vytápění napojí vodní ohříváče v jednotkách VZT a v potrubí VZT. Okruh vodního ohříváče u nástřešní jednotky musí být dostatečně tepelně ochráněn před zamrznutím.



2 Závěr

Projekt byl zpracován podle současně platných norem. Po dokončení instalace je nutné provést komplexní zkoušku funkčnosti systému. Vzduchotechnická jednotka vyžaduje pravidelné čištění a servis, zejména výměnu zanesených filtrů.