



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VENTILÁTORY V TECHNICE PROSTŘEDÍ

FANS IN HVAC SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zdeněk Lechnýř

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav technických zařízení budov
Student: **Bc. Zdeněk Lechnýř**
Vedoucí práce: **Ing. Olga Rubinová, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: N0732A260023 Stavební inženýrství – pozemní stavby

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

Ventilátory v technice prostředí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Řešení zadaného tématu z oblasti TZB za využití literární rešerše, zpracování variantního technického návrhu řešení zadané části specializace systému TZB a dílčího úkolu ze zadaného tématu řešeného experimentálními nebo teoretickými prostředky, příp. prováděcí projektu.

Cíle a výstupy diplomové práce:

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení (podíl 20 %) Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů) Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky) Řešení využívající výpočetní techniku.

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení (podíl 40 %)

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Dílčí úkol ze zadaného tématu (podíl 40%) zpracovaný teoretickými či experimentálními metodami, příp. prováděcí projekt zadané profese. Konkrétní náplň stanoví vedoucí práce

Seznam doporučené literatury a podklady:

1. Stavební dokumentace zadané budovy

2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2022

L. S.

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
vedoucí ústavu

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá ventilátory a jejich účinností v případech regulace průtoku vzduchu čidly koncentrace CO₂, konkrétně v objektech škol. Ve výpočtové části jsou zpracovány a porovnány dvě varianty teplovzdušného větrání zadaného školního objektu. Varianta A s variabilními průtoky vzduchu a jedním centrálním zařízením. Ve variantě B se jedná o řešení bez variabilní regulace průtoku vzduchu s návrhem centrálního zařízení pro obsluhu učeben a kabinetů a druhého zařízení pro obsluhu komunikačních prostor a toalet. Experimentální část řeší ekonomické řešení funkce ventilátorů v technice prostředí.

PREFACE

The diploma thesis deals with fans and their efficiency in cases of air flow regulation with CO₂ concentration sensors, specifically in school buildings. In the calculation part, two variants of hot air ventilation of the specified school building are processed and compared. Variant A with variable air flows and one central device. Variant B is a solution without variable air flow regulation with a design of a central device for servicing classrooms and cabinets and a second device for servicing communication areas and toilets. The experimental part deals with the economic solution of the fan function in environmental technology.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ventilátor, účinnost, regulace průtoku, EC motor, ErP, teplovzdušné větrání, škola

KEY WORDS

Fan, efficiency, flow regulation, EC engine, ErP, hot air ventilation, school

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Zdeněk Lechnýř *Ventilátory v technice prostředí*. Brno, 2023. 111 s., 36 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Ventilátory v technice prostředí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Zdeněk Lechnýř
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování v první řadě patří mojí vedoucí diplomové práce Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za vstřícný přístup, odbornou pomoc a cenné rady v průběhu tvorby diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	8
A. TEORETICKÁ ČÁST – VENTILÁTORY V TECHNICE PROSTŘEDÍ.....	10
A.1 DĚLENÍ VENTILÁTORŮ.....	10
A.2 PODLE SMĚRU PRŮTOKU.....	11
A.2.1 AXIÁLNÍ VENTILÁTORY.....	11
A.2.2 RADIÁLNÍ VENTILÁTORY.....	12
A.2.3 DIAGONÁLNÍ VENTILÁTORY.....	13
A.2.4 TANGENCIÁLNÍ VENTILÁTORY.....	13
A.3 DRUHY ELEKTROMOTORŮ – POHON VENTILÁTORŮ.....	14
A.3.1 AC MOTOR.....	14
A.3.2 DC MOTOR.....	15
A.3.3 BLDC MOTOR, EC MOTOR.....	15
A.3.4 ELEKTROMOTORY POUŽÍVANÉ K POHONU VENTILÁTORŮ.....	16
A.4 CHARAKTERISTIKA VENTILÁTORŮ.....	17
A.5 ÚČINNOST VENTILÁTORŮ.....	18
A.6 MĚRNÝ PŘÍKON VENTILÁTORU SFP.....	20
A.6.1 SFP ÚČINNOST A TLAKOVÁ ZTRÁTA.....	20
A.6.2 SFP S PROMĚNNÝM PRŮTOKEM VZDUCHU.....	20
A.6.3 SFP _{AHU} MĚRNÝ PŘÍKON VENTILÁTORU PRO VZT JEDNOTKY.....	22
A.6.4 SFP _{BLDG} MĚRNÝ PŘÍKON PRO CELÉ BUDOVY.....	22
A.7 POŽADAVKY SMĚRNIC ERP.....	23
A.7.1 ERP OBECNĚ.....	23
A.7.2 VENTILÁTORY A ERP.....	23
A.7.3 VĚTRACÍ VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY A ERP.....	25
A.7.3.1 VĚTRACÍ JEDNOTKY PRO OBYTNÉ BUDOVY.....	25
A.7.3.2 VĚTRACÍ JEDNOTKY PRO JINÉ NEŽ OBYTNÉ BUDOVY.....	26
A.8 NÁVRH VENTILÁTORŮ VE VZDUCHOTECHNICKÉ PRAXI.....	28
A.9 VĚTRÁNÍ ŠKOL.....	29
A.9.1 VYHLÁŠKY PRO NÁVRH ŠKOLSKÝCH ZAŘÍZENÍ.....	29
A.9.2 METODICKÝ POKYN K VĚTRÁNÍ ŠKOL MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.....	30
B. VÝPOČTOVÁ ČÁST.....	34
B.1 CÍL VÝPOČTOVÉ ČÁSTI.....	34
B.2 ANALÝZA OBJEKTU.....	34
B.3 PŮTOK VZDUCHU A TLAKOVÉ POMĚRY.....	36
B.3.1 VARIANTA A PRŮTOKY VZDUCHU.....	38
B.3.2 VARIANTA B PRŮTOKY VZDUCHU.....	39
B.4 DISTRIBUCE VZDUCHU.....	40
B.4.1 UČEBNY.....	40
B.4.1.1 PŘÍVODNÍ ELEMENTY.....	40
B.4.1.2 ODVODNÍ ELEMENTY.....	41

B.4.2	CHODBA PŘÍVOD.....	41
B.4.3	TOALETY ODVOD.....	42
B.5	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU – VARIANTA A	43
B.5.1	DIMENZOVÁNÍ POTRUBNÍ SÍTĚ VAR. A.....	43
B.5.2	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO ZAŘÍZENÍ VAR. A	44
B.5.3	ÚTLUM HLUKU VAR. A	50
B.5.4	TEPELNÁ IZOLACE POTRUBÍ VAR. A	54
B.5.5	TECHNICKÁ ZPRÁVA VAR. A.....	55
B.5.5.1	Úvod.....	55
B.5.5.2	PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ.....	55
B.5.5.3	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VENKOVNÍ PROSTŘEDÍ	55
B.5.5.4	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	55
B.5.5.5	POŽADAVKY NA NUCENÉ VĚTRÁNÍ.....	56
B.5.5.6	ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	56
B.5.5.7	ENERGETICKÉ ZDROJE.....	56
B.5.5.8	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	57
B.5.5.9	MĚŘENÍ A REGULACE	57
B.5.5.10	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE.....	58
B.5.5.11	PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ	58
B.5.5.12	IZOLACE	58
B.5.5.13	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ	59
B.5.5.14	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ.....	59
B.5.5.15	ZÁVĚR	59
B.5.6	SCHÉMA ZAŘÍZENÍ VAR. A	60
B.6	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU – VARIANTA B.....	61
B.6.1	DIMENZOVÁNÍ POTRUBNÍ SÍTĚ VAR. B.....	61
B.6.2	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ VAR. B	64
B.6.2.1	ZAŘÍZENÍ ČÍSLO 1	64
B.6.2.2	ZAŘÍZENÍ ČÍSLO 2	69
B.6.3	ÚTLUM HLUKU VAR. B	72
B.6.4	TEPELNÁ IZOLACE POTRUBÍ VAR. B	76
B.6.5	TECHNICKÁ ZPRÁVA VAR. B.....	78
B.6.5.1	Úvod.....	78
B.6.5.2	PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ.....	78
B.6.5.3	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VENKOVNÍ PROSTŘEDÍ	78
B.6.5.4	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	78
B.6.5.5	POŽADAVKY NA NUCENÉ VĚTRÁNÍ.....	79
B.6.5.6	ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	79
B.6.5.7	ENERGETICKÉ ZDROJE.....	79
B.6.5.8	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	79
B.6.5.9	MĚŘENÍ A REGULACE	80
B.6.5.10	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE.....	81
B.6.5.11	PROTIHLUKOVÁ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ	81
B.6.5.12	IZOLACE	81
B.6.5.13	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ	82
B.6.5.14	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ.....	82
B.6.5.15	ZÁVĚR	82

B.6.6	SCHÉMATA ZAŘÍZENÍ VAR. B.....	82
B.7	POROVNÁNÍ NAVRŽENÉ VARIANTY A S VARIANTOU B.....	83
B.7.1	PROVOZ VENTILÁTORŮ ZAŘÍZENÍ.....	83
B.7.2	HLUK.....	84
B.7.3	PROSTOROVÉ NÁROKY A NÁKLADY S TÍM SPOJENÉ.....	84
B.7.4	POŽADAVKY NA MAR.....	85
B.7.5	VLHKOSTNÍ BILANCE A ZZT.....	85
B.7.6	VLIV NA OSOBY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	85
C.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	87
C.1	CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI KONKRÉTNÍHO AXIÁLNÍHO VENTILÁTORU.....	87
C.1.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ A MĚŘÍCÍ POMŮCKY.....	88
C.1.2	MĚŘENÍ TLAKOVÉ CHARAKTERISTIKY VENTILÁTORU.....	89
C.1.3	VÝPOČET ÚČINNOSTI ERP.....	90
C.1.4	MĚŘENÍ VELIČIN V ZÁVISLOSTI NA OTÁČKÁCH VENTILÁTORU.....	91
C.1.5	OVĚŘENÍ SPRÁVNOSTI MĚŘENÍ.....	92
C.1.6	CHARAKTERISTIKA POTRUBNÍ SÍTĚ.....	94
C.1.7	CHARAKTERISTIKA VENTILÁTORU A POTRUBNÍ SÍTĚ.....	95
C.1.8	SHRNUTÍ CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI KONKRÉTNÍHO VENTILÁTORU.....	96
C.1.9	ZÁVĚR CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI KONKRÉTNÍHO VENTILÁTORU.....	96
C.2	ÚČINNOST VENTILÁTORŮ ZŠ U PRAHY.....	97
C.2.1	VZDUCHOTECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ 1 A 2.....	97
C.2.1.1	ZAŘÍZENÍ ČÍSLO 1.....	99
C.2.1.2	ZAŘÍZENÍ ČÍSLO 2.....	100
C.2.1.3	SHRNUTÍ.....	101
C.2.1.4	ZÁVĚR.....	101
C.3	ZÁVĚR EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....	101
	ZÁVĚR.....	102
	POUŽITÉ ZDROJE.....	103
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....	106
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	107
	PŘÍLOHY.....	110

ÚVOD

Ventilátory jsou základním stavebním kamenem v zařízeních pro úpravu a transport vzduchu. Jejich hlavním úkolem je doprava vzduchu z jednoho místa na druhé. Ať už se jedná o čerstvý vzduch z venkovního prostředí, který je přiváděn do interiéru, kontaminovaný vzduch odváděný do exteriéru nebo dopravu proudícího vzduchu k technologickému chlazení. Pro různé využití jsou používány odlišné druhy ventilátorů s jedním shodným cílem. Využití jejich potenciál přeměny elektrické energie na mechanickou energii co nejvíce efektivně. Jedním z měřítek efektivního provozu je účinnost ventilátoru a specifický měrný příkon ventilátoru.

Teoretická část věnuje pozornost rozdělení ventilátorů a jejich pohonů, které úzce souvisí s použitím a jejich účinností. Z důvodu globálních cílů se dohlíží na spotřebu elektrické energie na provoz ventilátorů. Účinnost samostatných ventilátorů je hlídána směrnice evropské unie od roku 2013 a přísnějšími požadavky od roku 2015. V případě vestavných ventilátorů je účinnost hlídána od roku 2016 a přísnějšími požadavky od roku 2018. K porovnávání jednotlivých zařízení s instalovanými ventilátory slouží SFP, specifický měrný příkon ventilátoru v různých variantách. Závěr teoretické části se věnuje metodice úsporného větrání škol s variabilní regulací průtoku vzduchu.

Výpočtová část se zabývá návrhem a porovnáním dvou variant teplovzdušného větrání do části objektu střední školy v Brně. Varianta A je navržena pro teplovzdušné větrání jedním centrálním zařízením pro celý objekt s řízením průtoku regulátory variabilního průtoku vzduchu v závislosti na koncentraci CO₂ v učebnách. Ve variantě B jsou navržena dvě vzduchotechnická zařízení obě pro teplovzdušné větrání. Zařízení číslo 1 obsluhuje prostory učeben a kabinetů, zařízení číslo 2 obsluhuje prostor toalet a komunikačních prostorů. Varianty jsou spolu porovnávány na konci výpočtové části.

Experimentální část věnuje pozornost pracovní charakteristice ventilátorů a jejich účinnosti při změnách průtoků vzduchu při konstantních i proměnlivých otáčkách. První část je měřena v laboratorních podmínkách pro konkrétní axiální ventilátor a cílí na vliv otáček a průtok na jeho účinnosti. Druhá část se odehrává na základní škole poblíž Prahy, kde jsou instalována vzduchotechnická zařízení s řízeným průtokem vzduchu na základě koncentrace CO₂. Úkolem této části bylo porovnat rozdíl použití systému bez regulace variabilního průtoku a s regulací variabilního průtoku.

Hlavními cíli diplomové práce bylo hlouběji porozumět tématu účinného provozu ventilátorů a jaká je jejich funkce při použití s proměnlivými průtoky vzduchu. Porovnání variant s variabilními průtoky vzduchu a variant s konstantními průtoky vzduchu.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VENTILÁTORY V TECHNICE PROSTŘEDÍ
FANS IN HVAC SYSTEMS

A) TEORETICKÁ ČÁST
SECTION OF THEORETICAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Zdeněk Lechnýř

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

BRNO 2023

A. TEORETICKÁ ČÁST – VENTILÁTORY V TECHNICE PROSTŘEDÍ

Pojmenováním ventilátor se označuje každý rotační lopatkový stroj, který se používá ke kontinuální dopravě plynné látky při překonání tlakových odporů. Elektrická energie dodávaná ventilátoru se mění na mechanickou (pohybovou) energii a tlakovou. Ventilátory jsou základním kamenem každého zařízení, které bylo konstruováno pro úpravu a přesun vzduchu. [1]

A.1 Dělení ventilátorů

V různých částech technických odvětví, se můžeme setkat s odlišnými požadavky na funkci každého samostatného ventilátoru. Požadavky mohou být různé z pohledu průtokových a tlakových parametrů, konstrukce a velikosti ventilátoru nebo možnosti použití s ohledem na dopravovanou plynnou látku, nejčastěji vzduch a agresivitu okolního prostředí.

Pro jednodušší orientaci v množství různých ventilátorů se je v praxi snažíme rozdělovat do menších skupin s podobnostními znaky. Velmi často používané rozdělení ventilátorů je podle směru průtoku plynné látky. Rozdělují se následovně.

- axiální ventilátory
- radiální ventilátory
- diagonální ventilátory
- tangenciální ventilátory

Můžeme se však setkat s rozdělením podle druhu pohonu,

- pneumatické
- se spalovacím motorem
- s elektromotorem

připojení k pohonu,

- na řemen
- na spojku
- na přímo

z pohledu možnosti regulace ventilátoru,

- jedno otáčkové
- více otáčkové
- s plynule proměnlivými otáčkami

nebo podle druhu použití.

- bytové
- potrubní
- nástřešní

- pro odvod tepla a kouře
- nevýbušné
- kyselinovzdorné

Další část se věnuje konkrétněji rozdělení podle směru průtoku plynné látky a elektromotorovým pohonům ventilátorů. [2]

A.2 Podle směru průtoku

Klíčovým parametrem rozdělení ventilátorů podle směru průtoku je úhel, který je svírán mezi směrem sání a směrem výtlaku plynné látky (dále vzduchu) a současně k tomu, v jakém směru je orientována osa otáčení ventilátoru.

A.2.1 Axiální ventilátory

Je jedním z nejstarších a zároveň nejpoužívanějších druhů ventilátorů. Směr sání i výtlaku vzduchu je rovnoběžný s osou otáčení oběžného kola, tedy axiální, odtud tedy vychází pojmenování axiální ventilátor. Možné označení je i osový ventilátor.



Obrázek A.1 Axiální ventilátor [3]

Skládá se z několika částí. Z oběžného kola s oběžnými lopatkami, pláště a v dnešní době nejčastěji elektromotoru. Na výše uvedeném obrázku jsou vidět i příruby pro připojení přímo do potrubí. Konstrukce axiálního ventilátoru umožňuje přenos velkého průtoku vzduchu s nižším dopravním tlakem. Proto jsou vhodné pro dopravu vzduchu na kratší vzdálenosti, do několika metrů. V domácnostech je nejčastější využití u koupelňových ventilátorů, kdy je potřeba odvětrat velké množství vzduchu pouze přes zeď. V průmyslu se pak používají k aktivnímu chlazení zařízení, systémů a motorů proudícím vzduchem. Axiální ventilátory se dále dělí do skupin

- přetlakové
- rovnotlakové.

U rovnotlakých ventilátorů vzduch za ventilátorem dosahuje větších rychlostí, přetlakové ventilátory vytvářejí vyšší statický tlak za ventilátorem, než byl před ním. [2]

A.2.2 Radiální ventilátory

Radiální ventilátory patří k jednomu z nejvyužívanějších druhů ventilátorů v oblasti větracích a klimatizačních zařízení. Směr nasávání vzduchu je rovnoběžný s osou otáčení oběžného kola, směr výtlaku je však kolmý ke směru sání i ke směru otáčení oběžného kola. Výtlak směřuje v radiálním směru od osy otáčení, proto radiální ventilátory. Některé radiální ventilátory jsou nazývány šnekové.



Obrázek A.2 Radiální ventilátor [3]

Hlavní částí radiálního ventilátoru je oběžné kolo, sací hrdlo, výtlačné hrdlo, spirální skříň a elektromotor. Konstrukce radiálních ventilátorů umožňuje rozpohybovat vzduch s větším provozním tlakem než axiální ventilátory, proto jsou vhodné pro transport vzduchu i ve členitých vzduchovodech, kde je potřeba překonat výrazné tlakové ztráty. Podle tvaru lopatek oběžného kola rozlišujeme radiální ventilátory s

- dopředu zahnutými lopatkami,
- dozadu zahnutými lopatkami,
- radiální zakončenými lopatkami.

A podle dopravního tlaku rozlišujeme

- nízkotlaké – do 1 000 Pa
- dozadu zahnutými lopatkami – 1 000 až 3 000 Pa,
- radiální zakončenými lopatkami – více než 3000 Pa. [2]

A.2.3 Diagonální ventilátory

Diagonální ventilátory se zdánlivě mohou podobat axiálním a v jiných případech zase radiálním ventilátorům. Je to z toho důvodu, že se jedná o variantu vyskytující z pohledu směru proudění vzduchu mezi variantou axiálních a radiálních ventilátorů. U diagonálního ventilátoru je směr sání vzduchu axiální, rovnoběžný s osou otáčení, ale směr výtlaku je pod menším úhlem než 90°. Směr výtlaku je někde mezi axiálním a radiálním směrem.

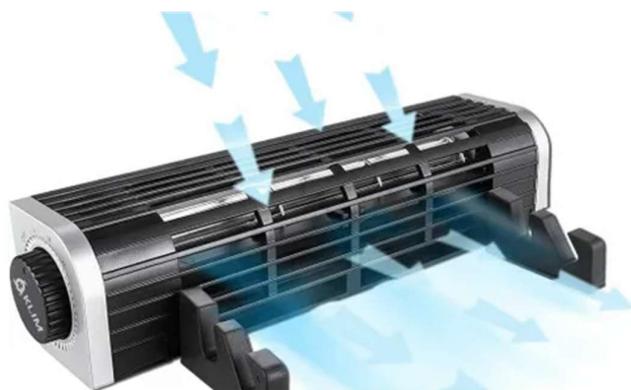


Obrázek A.3 Diagonální ventilátor [4]

Hlavními částmi jsou oběžné kolo, skříň ventilátoru, výtlačné hrdlo, sací hrdlo a elektromotor. V porovnání s axiálními ventilátory stejné velikosti způsobují nižší hlučnost při vyšším dopravním tlaku vzduchu a nižším průtoku vzduchu. Používají se k osazení přímo do potrubí a také u chladících a rozvodných skříní výměníků tepla.

A.2.4 Tangenciální ventilátory

Tangenciální neboli průtokové ventilátory mají směr nasávání kolmo na osu otáčení oběžného kola a směr výtlaku také.



Obrázek A.4 Tangenciální ventilátor [5]

Hlavními částmi je podlouhlé oběžné kolo se zahnutými lopatkami, připomínající tvarově oběžné kolo radiálního ventilátoru, sací a kolmo na něj výtlačné hrdlo, spirální skříň a elektromotor. Výhodou je rovnoměrné proudění vzduchu v celé délce rámu. Používají se u klimatizačních systémů, konvektorů a dveřních clon.

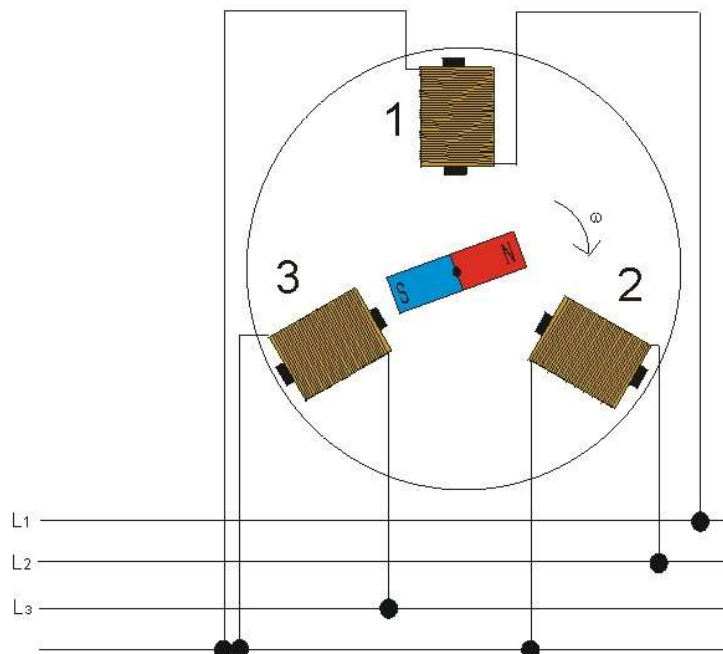
A.3 Druhy elektromotorů – pohon ventilátorů

Obecně je hlavním úkolem elektromotorů přeměna elektrické energie na energii mechanickou. K tomuto účelu využíváme rozdílné typy elektromotorů. Hlavním rozdílem je druh jejich napájení. Používají se motory poháněné střídavým proudem AC motory. V případě použití motorů poháněných stejnosměrným proudem se používají DC motory. S rozdílným napájením souvisí také rozdílná konstrukce motoru, možnosti jejich řízení a využití.

A.3.1 AC motor

AC motory používají k přeměně na mechanickou energii střídavý proud. V angličtině je střídavý proud Alternating Current, odtud pochází zkratka AC.

Střídavý proud je využíván přímo k napájení a měnění pólů elektromagnetů. V České republice při normalizovaném napětí ze sítě 230 V a 50 Hz se póly elektromagnetu změní 50krát za sekundu. Při plné rychlosti otáčení je velmi efektivní a má dlouhou životnost. AC motory jsou navrženy, aby ovládaly pracovní bod na výkonové křivce, která odpovídá maximální účinnosti motoru. Řízení rychlosti otáčení AC motorů je možné přidáním externích regulátorů, ale dochází tím ke ztrátám na účinnosti. Při řízení rychlosti triakovým regulátorem se elektromagnety sepnou pouze pro část každého cyklu za přívodu stejného množství energie, nevyužitá energie se ztrácí, a to zapříčiňuje vznik hluku a vibrací při nižších rychlostech. Další možnost řízení rychlosti je pomocí transformačního regulátoru, který snižuje přívodní napětí. Snižováním přívodního napětí se sníží magnetická síla elektromagnetů a tím se sníží rychlost motoru. Regulace transformátorem je omezena počtem několika stupňů. Výhodou této možnosti řízení je neměnná frekvence, takže nedochází k hučení a vibracím. Pro pohon ventilátorů se používají AC motory s kotvou na krátko, AC motory s trvale odděleným kondenzátorem a AC motory s tří fázovou indukcí. [6]



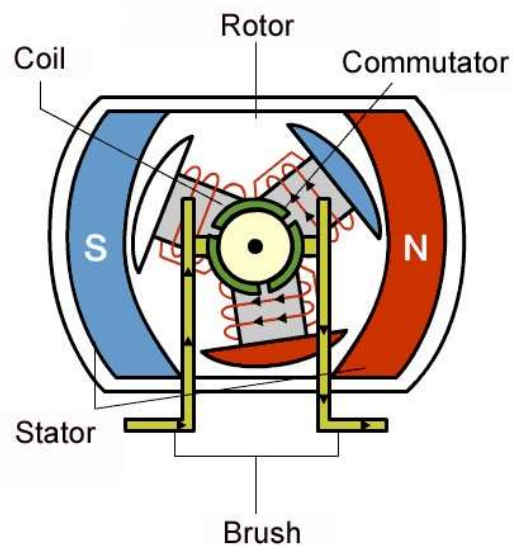
Obrázek A.5 AC motor [7]

A.3.2 DC motor

DC motory používají k přeměně na mechanickou energii stejnosměrný proud. V angličtině je stejnosměrný proud Direct Current, odtud pochází zkratka DC.

Stejnoscsměrný proud v DC motoru je vždy využíván k napájení pohyblivé části rotoru, nazývané kotva. Kotva je pohyblivá část tvořená cívkami připojených k prstencovým komutátorům, které přepínají směr proudu polarity magnetického pole v rotující kotvě. Jednotlivé kotvy jsou uvnitř drážek z vysoce propustných vrstev oceli z důvodu navýšení magnetické interakce kotev a statoru. Ze zdroje se přes kartáče do komutátorů předává stejnosměrný proud. U menších motorů je stator tvořený permanentním magnetickým polem, které budí pohyb cívek. Častěji je však používaný stator tvořený elektromagnetickým polem napájeným ze stejného stejnosměrného zdroje a je ve dvou možnostech zapojení. V paralelním zapojení se jedná o trakční motor a v sériovém zapojení se jedná o sériový motor. Při sériovém zapojení je dobrý točivý moment při startu motoru, ale rychlost klesá při zatížení. V případě paralelního zapojení je menší točivý moment při startu motoru, ale rychlost je konstantní bez ohledu na změnu zatížení.

Účinnost DC motorů je vysoká, ale mají i specifické ztráty oproti jiným druhům motorů. Ztráta účinnosti nastává vířivými proudy, počátečním odporem vinutí a ztrátou třením kartáčů. Funkci DC motorů nejvíce omezuje životnost systému kartáčů. Životnost kartáčů se může pohybovat mezi 1 000 a 1 500 provozních hodin. [8]

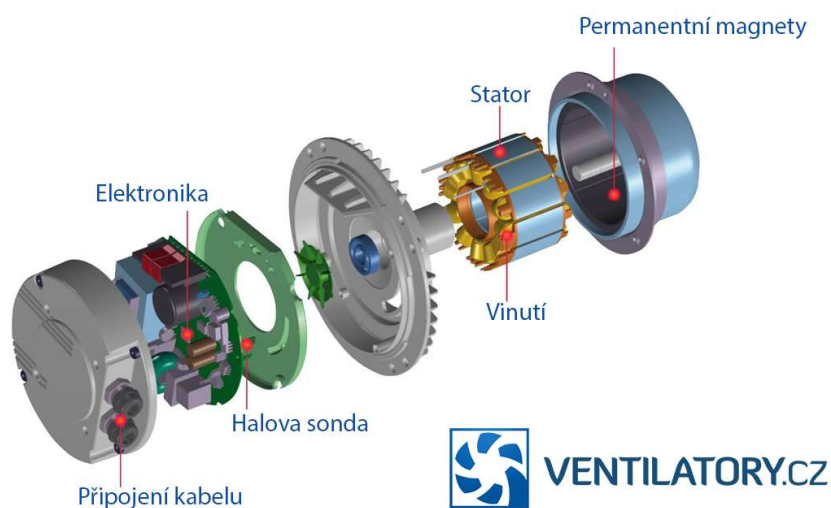


Obrázek A.6 Schéma DC motoru [9]

A.3.3 BLDC motor, EC motor

BLDC motory jsou zkráceně označené motory poháněné stejnosměrným proudem s elektronickou komutací. Zkratka BLDC pochází z anglického BrushLess Direct Current motor. Dále se můžeme setkat s termíny BL motor, ECM motor, nebo jen EC motor pocházející z anglického Electronically Commutated motor.

BLDC a EC motory jsou poháněné stejnosměrným proudem, jsou však bezkartáčové a řízené externí elektronikou. K řízení se používají frekvenční měniče nebo elektronická deska s plošnými spoji. Konstrukčně je rotor tvořen z rotujících permanentních magnetů a stator se skládá z pevných vnitřních vinutí tvořících elektromagnety. Mechanická komutace probíhá, na rozdíl od DC motorů s kartáči a komutačními kroužky, prostřednictvím elektronických obvodů. Spínač obvodové desky spíná fáze do pevného vinutí a tím otáčí motor. EC motory řízené externí elektronikou nemají omezené synchronní otáčky. Další z výhod je absence kartáčů, tím nedochází k jiskření a jejich životnost se důsledkem tření kartáčů nesnižuje. Elektronicky řízený stator dosahuje lepších výkonů, je lépe regulovatelný. K pohonu ventilátorů se používají EC motory jedno jádrové nebo tří jádrové. Tří jádrové EC motory dosahují nejvyšších účinností.



Obrázek A.7 EC motor [10]

A.3.4 Elektromotory používané k pohonu ventilátorů

V konstrukci elektromotorů všech ventilátorů jsou elektromagnety připevněné k tělu motoru, tedy ke statoru. Na rotoru ventilátoru, který se otáčí okolo statoru, jsou po obvodě namontovány permanentní magnety tak, že se střídají kladné póly se zápornými. Elektromagnety pod napětím jsou buď kladné nebo záporné a tím odpuzují nebo přitahují póly permanentních magnetů rotoru. Rozpohybování ventilátoru a tím i dopravovaného vzduchu vzniká změnami pólů elektromagnetů ve statoru. [6]

Pro pohon ventilátorů není z důvodu životnosti a opotřebení použití DC motorů vhodné, používají se AC motory a do popředí se dostávají EC motory. Se zvyšujícími se požadavky na ekonomičnost provozu a variabilitu průtoku vzduchu, tudíž potřebu proměnlivosti otáček ventilátoru s nejlepší možnou účinností, je nesporně nejefektivnější a nejekonomičtější používat ventilátory s EC motory. Pro splnění požadavků ErP jsou ve vzduchotechnických větracích zařízeních od roku 2016 přípustné pouze ventilátory s víceúrovňovým pohonem nebo spojitou regulací.

A.4 Charakteristika ventilátorů

Základními vlastnostmi, které charakterizují funkci ventilátoru jsou objemový průtok vzduchu, celkový dopravní tlak, otáčky ventilátoru, výkon a příkon ventilátoru. [2]

Objemový průtok vzduchu

Objemový průtok vzduchu udává množství vzduchu dopravovaného ventilátorem. Značí se V [m^3/s] a je udáváno výrobcem pro hustotu vzduchu $\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Celkový dopravní tlak

U ventilátorů se sleduje dopravní tlak z důvodu potřeby návrhu správného ventilátoru pro dopravu vzduchu potrubní sítí a překonání tlakových odporů sítě a vřazených elementů. Celkový dopravní tlak se značí Δp [Pa].

Výkon ventilátoru

Výkon ventilátoru je součinem objemového průtoku V a celkového dopravního tlaku Δp .

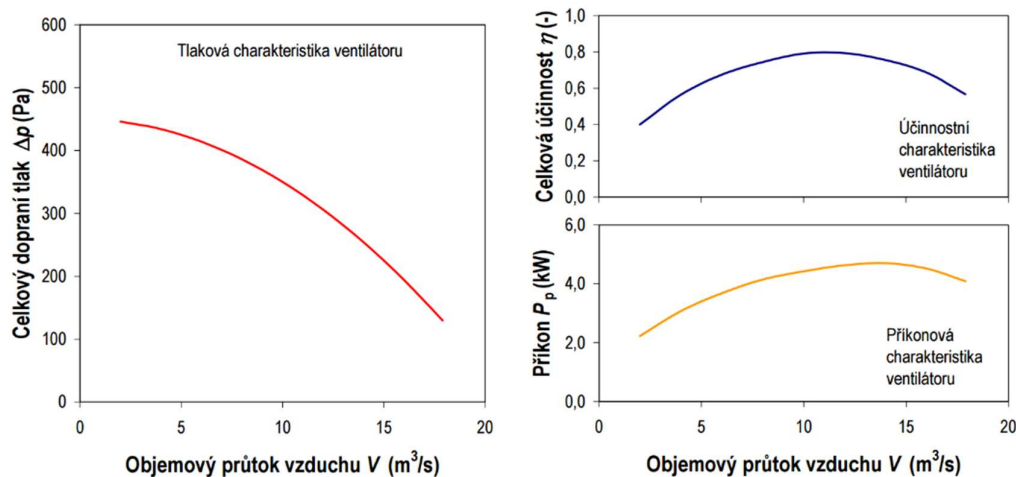
$$P = V \cdot \Delta p \text{ [W]}$$

Příkon ventilátoru

Příkon je dán podílem výkonu ventilátoru P ku jeho celkové účinnosti η_c .

$$P_p = \frac{P}{\eta} = \frac{V \cdot \Delta p}{\eta} \text{ [W]}$$

Každý ventilátor má vždy svojí vlastní provozní charakteristiku. Mění se pouze strmost a rozsah pracovní oblasti dle druhu ventilátoru. Často používaná charakteristika pro výběr ventilátoru je ta s celkovým dopravním tlakem v závislosti na objemovém průtoku vzduchu. Avšak v závislosti na objemovém průtoku může být vytvořena i charakteristika účinnosti, nebo příkonová. Charakteristické křivky udává z naměřených hodnot výrobce v technických podkladech ventilátoru. [2]



Obrázek A.8 Ukázka obecných charakteristik ventilátoru [2]

V případě potřeby změny funkčních parametrů lze teoreticky dopočítat hodnoty v různých bodech pracovní charakteristiky pomocí podobnostních vzorců. V prvním případě, když je hustota vzduchu konstantní a ve druhém případě, když jsou konstantní otáčky ventilátoru.

Podobnostní vzorce

Za konstantní hustoty vzduchu je objemový průtok přímo úměrný otáčkám ventilátoru, celkový dopravní tlak se úměrně mění s druhou mocninou otáček, a příkon se úměrně mění se třetí mocninou otáček.

Objemový průtok $V_2 = V_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$

Celkový dopravní tlak $\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$

Příkon ventilátoru $P_{p2} = P_{p1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$

V případě změny hustoty a konstantních otáček se podobnostní vzorce změní následovně.

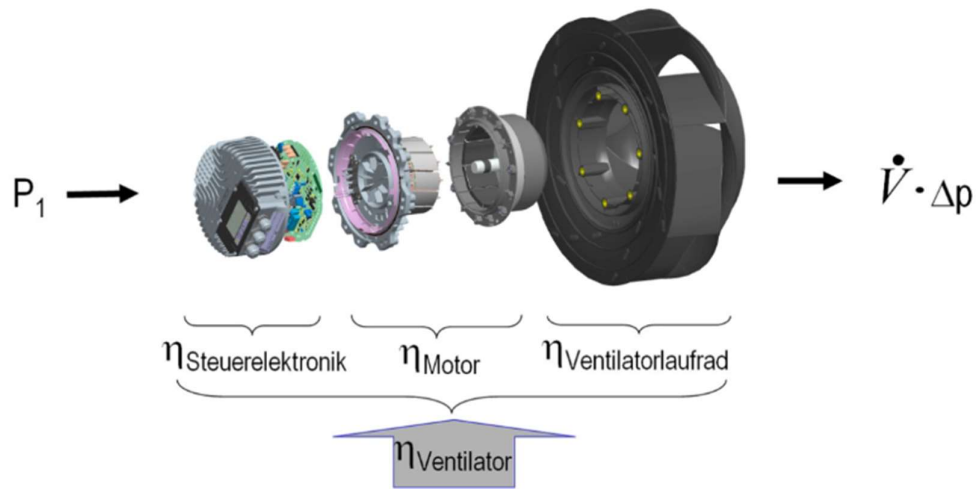
Objemový průtok $V_2 = V_1$

Celkový dopravní tlak $\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$

Příkon ventilátoru $P_{p2} = P_{p1} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$

A.5 Účinnost ventilátorů

Celková účinnost ventilátoru je hodnocena jako účinnost celku z jednotlivých částí. Mezi jednotlivé části patří řídicí elektronika, motor a oběžné kolo. Účinnost ventilátoru je měřítkem k porovnávání efektivnosti stejných typů ventilátorů mezi sebou i k porovnání s požadavky ecode-signu.



Obrázek A.9 Celková účinnost ventilátoru [11]

Při dnešním zvyšování nákladů na energii je cílem dosahovat pouze nejvyšších účinností.

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{vsd}} + \eta_{\text{motor}} + \eta_{\text{transfer}} + \eta_{\text{fan}}$$

η_{vsd} účinnost pohonu s proměnnými otáčkami

η_{motor} účinnost motoru

η_{transfer} účinnost přenosu energie

η_{fan} aerodynamická účinnost ventilátoru

Pokud známe provozní hodnoty lze aerodynamickou účinnost ventilátoru spočítat jako poměr součinu celkové dopravního tlaku a objemového průtoku s příkonem ventilátoru.

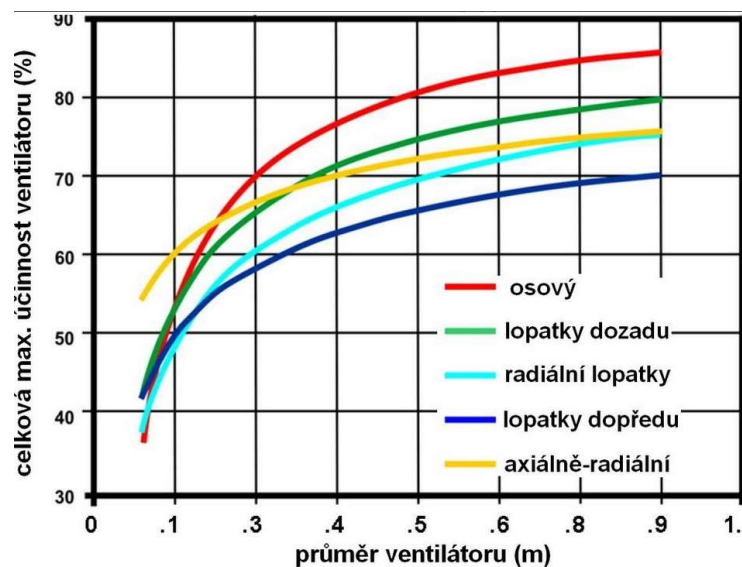
$$\eta_{\text{fan}} = \frac{V \cdot \Delta p}{P_p} [-]$$

V objemový průtok vzduchu [m³/s]

Δp celkový dopravní tlak [Pa]

P_p příkon ventilátoru [W]

Mezi faktory ovlivňující účinnost ventilátoru patří materiál, tvar příčného řezu lopatek i počet lopatek. V případě radiálních ventilátorů dosahují nejvyšší účinnosti ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami, nejméně účinné jsou s dopředu zahnutými lopatkami. V případě axiálních ventilátorů, které jsou kryty ochranou mřížkou proti vniknutí cizích těles může docházet ke snížení maximální účinnosti až o 10 %. Dalším faktorem je velikost ventilátoru. Ukazuje se, že větší ventilátory mají lepší účinnost než malé ventilátory. [12]



Obrázek A.10 Účinnost ventilátoru v závislosti na jeho velikosti [12]

A.6 Měrný příkon ventilátoru SFP

Měrný příkon ventilátoru SFP z anglického specific fan power ukazuje, kolik elektrické energie je potřeba pro provoz ventilátoru, která je vztažena na množství proudícího vzduchu. SFP není konstantní hodnotou, ale mění svoji hodnotu v závislosti na dopravním tlaku a průtoku vzduchu každého ventilátoru. [13]

Výpočet SFP obecně:

$$SFP = \frac{\sum P_p}{q_v} [W/(m^3/s)]$$

$\sum P_p$ součet příkonů všech ventilátorů [W]

q_v celkové množství proudícího vzduchu [m^3/s], pro přetlakové, nebo podtlakové systémy se volí větší z hodnot přiváděného nebo odváděného vzduchu.

Jednotky, ve kterých lze vyjádřit SFP:

$$[SFP] = \frac{kW}{m^3/s} = \frac{W}{l/s} = \frac{kJ}{m^3} = kPa$$

A.6.1 SFP účinnost a tlaková ztráta

Další možností lze SFP vyjádřit pomocí celkového dopravního tlaku ventilátoru a účinnosti vzduchotechnického systému. V ideálním případě, kdyby účinnost systému dosahovala 100 % byl by měrný příkon ventilátoru roven celkovému dopravnímu tlaku ventilátoru.

$$\eta_{tot} \cdot SFP = \Delta p_{tot}$$

η_{tot} celková účinnost VZT systému

Δp_{tot} celkový dopravní tlak ventilátoru, který se rovná celkové tlakové ztrátě celého větracího systému

A.6.2 SFP s proměnným průtokem vzduchu

Pokud větrací systém pracuje v nějaké části roku v jiném pracovním bodě než v další části roku, lze spočítat průměrný roční SFP takto [13]:

$$\overline{SFP}_e = \frac{\sum_{i=1}^N (\sum P_i \Delta t_i)}{\sum_{i=1}^N (q_{v,i} \Delta t_i)} = \frac{\sum_{i=1}^N (SFP_{e,i} q_{v,i} \Delta t_i)}{\sum_{i=1}^N (q_{v,i} \Delta t_i)}$$

N celková účinnost VZT systému

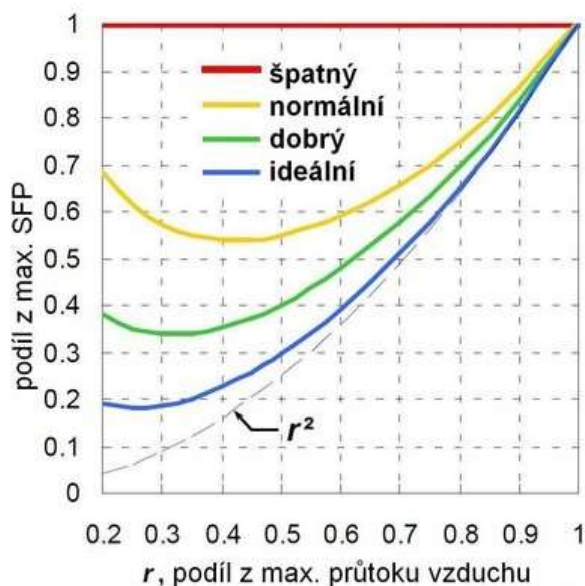
Tento vzorec lze použít za předpokladu, pokud pro všechny pracovní body známe průtoky a tlakové ztráty a zároveň nám prodejce VZT jednotky poskytne hodnoty SFP pro tyto pracovní body.

U větracích systémů, kde nejsou určeny hodnoty SFP pro jiný než návrhový pracovní bod, lze stanovit SFP každého pracovního bodu při částečném zatížení pomocí redukční funkce průtoku vzduchu r . [13]

$$\frac{SFP_{\text{čast.zatiz.}}}{SFP_{\text{max.zatiz.}}} \approx a + b \cdot r + c \cdot r^2 + d \cdot r^3$$

Tabulka A.1 Koeficienty pro rovnici redukčního faktoru SFP [13]

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
špatný	1,0	0,0	0,0	0,0
normální	1,0547	-2,5576	3,6314	-1,1285
dobry	0,5765	-1,5030	2,6557	-0,7292
ideální	0,2869	-0,8836	1,9975	-0,4008



Obrázek A.11 Grafické znázornění rovnice vypočítané pomocí redukční funkce [13]

Špatný – systémy s nízkou účinností při částečném zatížení, na příklad ventilátory s nastavitelným sklonem lopatek, nevykonné pohony s proměnnými otáčkami

Normální – když se tlak ventilátoru při poklesu průtoku sníží málo, příkladně systém proměnného průtoku s udržovaným statickým tlakem na konci hlavního potrubí

Dobry – když tlak ventilátoru klesá s průtokem vzduchu – patří sem nejlepší systémy s proměnným průtokem vzduchu

Ideální – systémy s účinnými pohony s proměnnými otáčkami, kde ideálně klesá i tlak ventilátoru při nízkých průtocích vzduchu, systémy s proměnným průtokem a dokonalou regulací statického tlaku [13]

A.6.3 SFP_{AHU} měrný příkon ventilátoru pro VZT jednotky

U běžných rovnotlakých vzduchotechnických jednotek se dvěma ventilátory by se hodnota SFP_{AHU} měla počítat podle základního vzorce SFP. [14]

$$SFP = \frac{\Sigma P_p}{q_v} [\text{kWh}/(\text{m}^3/\text{s})]$$

ΣP_p součet příkonů všech ventilátorů [W]

q_v celkové množství proudícího vzduchu [m^3/s],

Dá se však dopočítat i alternativně jako součet SFP_i pro jednotlivé ventilátory.

$$SFP_{AHU} \approx SFP_{i,SUP} + SFP_{i,EXH}$$

i jednotlivý ventilátor

sup přívodní systém

exh..... odtahový systém

Alternativní vyjádření je matematicky správné pouze za předpokladu, že oba ventilátory dopravují stejné množství vzduchu. V opačném případě se musí použít základní vzorec pro výpočet SFP.

U výrobců vzduchotechnických jednotek se můžeme setkat s hodnotou SFP_{v,AHU} (index v = verifikace). Tento ukazatel měrného příkonu ukazuje hodnotu pro jednotku se suchými tepelnými výměníky a chladiči a novými vzduchovými filtry.

V případě ukazatele SFP_{e,AHU} (index e = energie) je hodnota doložena výrobcem a je určena pro výpočet energetické náročnosti. Zohledňuje průměrné podmínky provozu s ohledem na průběh času. Projeví se časově zprůměrované ztráty filtru i tepelných výměníků. [14]

$$SFP_{e,AHU} \approx 0,5 \cdot (SFP_{\text{nový_filtr}} + SFP_{\text{starý_filtr}})$$

A.6.4 SFP_{BLDG} měrný příkon pro celé budovy

Rovnici lze použít za předpokladu, že známe celkový objemový tok vzduchu v budově a k tomu celkovou energii potřebnou k pohonu všech ventilátorů, které se podílejí na výměně vzduchu. Při rovnotlakém větrání se používá součet energií všech přívodních i odtahových ventilátorů a u podtlakových větrání jako jsou digestoře se také započítává energie odtahového ventilátoru. Do SFP_{BLDG} se nezapočítávají lokální recirkulační jednotky. [14]

$$SFP_{BLDG} = \frac{\Sigma P_p}{Q_v}$$

ΣP_p celkový příkon ventilátorů

Q_v Celkový průtok vzduchu, větší z hodnot

A.7 Požadavky směrnic ErP

A.7.1 ErP obecně

Cílem dnešní doby je zefektivňovat využití spotřebovávané energie a snažit se upřednostňovat tak zvanou zelenou energii, aby nedocházelo ke zvyšování emisí v ovzduší. V rámci plnění Kyotského protokolu, v roce 2005, byla k podpoře dosažení těchto cílů vydána směrnice EuP (Energy-using product directive). V roce 2007 si vedoucí představitelé EU dali cíl ke snížení spotřeby energie o 20 %, snížení emisí CO₂ o 20 % a k navýšení obnovitelných zdrojů energie o 20 % do roku 2020 ve srovnání s referenčním rokem 1990. Směrnice prošla úpravami a v roce 2009 změnila název na ErP (Energy-related Product directive) pod kterým ji známe dnes.



Obrázek A.12 Cíle EU do roku 2020 v rámci ErP [15]

Dalším krokem schváleným parlamentem EU je cíl snížení spotřeby energie o 32,5 % a snížení emisí skleníkových plynů nejméně o 55 % a zvýšení podílu obnovitelné energie na 45 % do roku 2030. Dlouhodobějším cílem těchto opatření je dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. [16]

Aby docházelo k dosažení závazných cílů, byly přezkoumávány technologie s potenciálem energetických úspor a určeny jejich limity. Toto přezkoumání se promítlo do různých technologických odvětví. Příkladně na trhu žárovek došlo k přezkoumání a proběhl zákaz prodeje 100 W žárovek. [11]

Opatření související s ErP se nevyhnula ani oblasti vzduchotechnických zařízení a ventilátorům. V obou případech byla opatření implementována ve dvou vlnách. Nejdříve se objevily požadavky na ventilátory a následovaly požadavky na vzduchotechnická zařízení.

A.7.2 Ventilátory a ErP

V rámci cíle na snižování energie specifikovala EU pro trh s ventilátory dvoustupňový plán pro zlepšení účinnosti a odstranění nevhodných ventilátorů. Nařízením EU č. 327/2011 vešel v platnost 1. 1. 2013 první stupeň omezení. Tímto stupněm bylo z trhu stáhnuto cca 30 % ze všech nabízených ventilátorů, protože nesplňovaly směrnici pro regulaci. Druhý stupeň přišel v platnost 1. 1. 2015 a vyřadil dalších 20 % ventilátorů, které musely být nahrazeny efektivnějšími zařízeními.

Zjištění, zda ventilátor splňuje požadavky ErP regulace, se hodnotí porovnáním celkové účinnosti ventilátoru η_{tot} (podrobněji viz. kapitola A.5 účinnost ventilátoru) se stanovenými limity. Do hodnocení ventilátorů spadají všechny ventilátory s příkonem od 125 W do 500 kW, které jsou samostatné, nebo i vestavěné.

Tabulka A.2 Vzorce pro výpočet účinnosti podle druhu ventilátoru (EU) č. 327/2011 [11]

Fan type	Mounting condition (A-D)	Efficiency (static or overall)	Power range P ₁ in kW	Minimum efficiency	Efficiency N 01.01.2013	Efficiency N 01.01.2015
Axial fan	A, C	Static	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 2,74 \cdot \ln(P_1) - 6,33 + N$	36	40
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 0,78 \cdot \ln(P_1) - 1,88 + N$		
	B, D	Overall	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 2,74 \cdot \ln(P_1) - 6,33 + N$	50	58
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 0,78 \cdot \ln(P_1) - 1,88 + N$		
Centrifugal fan, forward curved and centrifugal fan with radial blade ends	A, C	Static	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 2,74 \cdot \ln(P_1) - 6,33 + N$	37	44
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 0,78 \cdot \ln(P_1) - 1,88 + N$		
	B, D	Overall	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 2,74 \cdot \ln(P_1) - 6,33 + N$	42	49
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 0,78 \cdot \ln(P_1) - 1,88 + N$		
Centrifugal fan, forward curved without housing	A, C	Static	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 4,56 \cdot \ln(P_1) - 10,5 + N$	58	61
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 1,1 \cdot \ln(P_1) - 2,6 + N$		
Centrifugal fan, forward curved with housing	A, C	Static	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 4,56 \cdot \ln(P_1) - 10,5 + N$	58	61
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 1,1 \cdot \ln(P_1) - 2,6 + N$		
	B, D	Overall	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 4,56 \cdot \ln(P_1) - 10,5 + N$	61	64
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 1,1 \cdot \ln(P_1) - 2,6 + N$		
Diagonal fan	A, C	Static	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 4,56 \cdot \ln(P_1) - 10,5 + N$	47	50
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 1,1 \cdot \ln(P_1) - 2,6 + N$		
	B, D	Overall	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 4,56 \cdot \ln(P_1) - 10,5 + N$	58	62
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 1,1 \cdot \ln(P_1) - 2,6 + N$		
Tangential blower	B, D	Overall	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 1,14 \cdot \ln(P_1) - 2,6 + N$	13	21
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = N$		

Nařízení EU rozlišuje čtyři polohy montáže ventilátoru:

- „A“ ventilátor namontovaný s volným sáním i výtlačkem
- „B“ ventilátor s volným sáním a potrubím namontovaným na výtlačku
- „C“ ventilátor s potrubím namontovaným na sání ventilátoru a volným výtlačkem
- „D“ ventilátor s potrubím namontovaným na sání i výtlačku

Konstanta účinnosti N definována směrnicí, není minimální hodnotou účinnosti ventilátoru, ale pouze koeficientem dosazovaným do vzorců pro výpočet minimální účinnosti ventilátorů s příkonem od 125 W do 10 kW a do vzorců pro minimální účinnost ventilátorů s příkony od 10kW do 500 kW. [11]

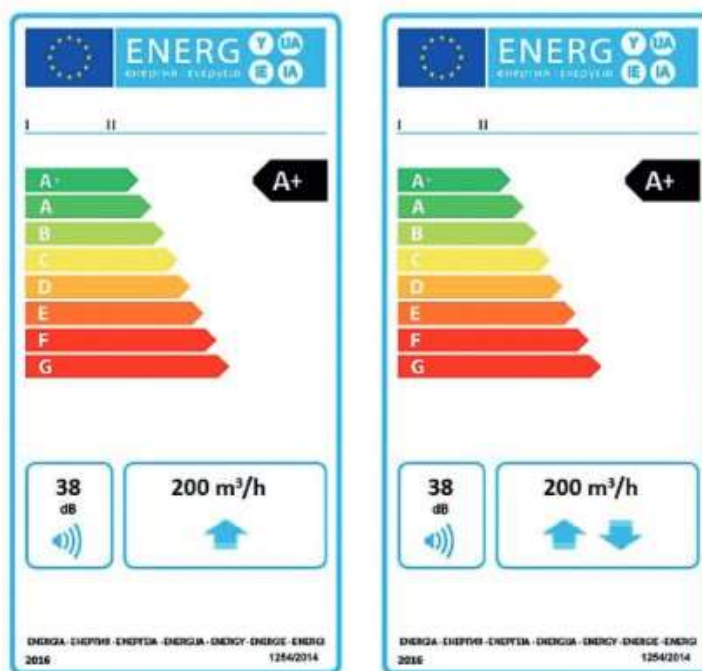
A.7.3 Větrací vzduchotechnické jednotky a ErP

Po požadavcích na ventilátory, přišly do oblasti vzduchotechniky požadavky na větrací vzduchotechnická zařízení dle EU č. 1253/2014 a č.1254/2014, které provádí požadavky Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES. Opět přišly požadavky ve dvou stupních. První stupeň vešel v platnost 1. 1. 2016 a druhý stupeň vešel v platnost 1. 1. 2018. S tímto nařízením přišel nový náhled na hodnocení vzduchotechnických zařízení. Hodnotí se jako jeden celek včetně všech částí, které při provozu významně ovlivňují spotřebu energie. Mezi těmito dvěma opatřeními je potřeba rozlišovat větrací jednotky pro obytné budovy a větrací jednotky pro budovy jiné než obytné. [17]

A.7.3.1 Větrací jednotky pro obytné budovy

Větracími jednotkami pro obytné budovy se samostatně řídí nařízení Komise (EU) č.1254/2014 ze dne 11. 7. 2014.

Nařízení se vztahuje na jednotky s objemovým průtokem vzduchu menším než 250 m³/h, nebo jednotky s průtokem 250 až 1 000 m³/h, ty však musí být doložené od výrobce jako jednotky se záměrem použití výhradně pro větrání obytných budov. Nařízení také určuje od 1. 1. 2016, že každá vzduchotechnická jednotka obytných budov musí být opatřena štítkem s označením energetické třídy. [17]



Obrázek A.13 Energetický štítek dle Komise EU č. 1254/2014 [17]

Třída specifikace spotřebované energie se určí výpočtem hodnoty SEC (Specific Energy Consumption) specifická spotřeba energie. SEC je udáváno v jednotkách [kWh/m².rok]. Vyjadřuje kolik je potřeba energie na větrání na 1 m² vytápěné podlahové plochy.

Tabulka A.3 Klasifikace větracích jednotek obytných budov SEC [17]

Třída SEC	SEC [kWh/m ² .rok]
A+ (nejúčinnější)	SEC < -42
A	-42 ≤ SEC < -34
B	-34 ≤ SEC < -26
C	-26 ≤ SEC < -23
D	-23 ≤ SEC < -20
E	-20 ≤ SEC < -10
F	-10 ≤ SEC < - 0
G (nejméně účinná)	- 0 ≤ SEC

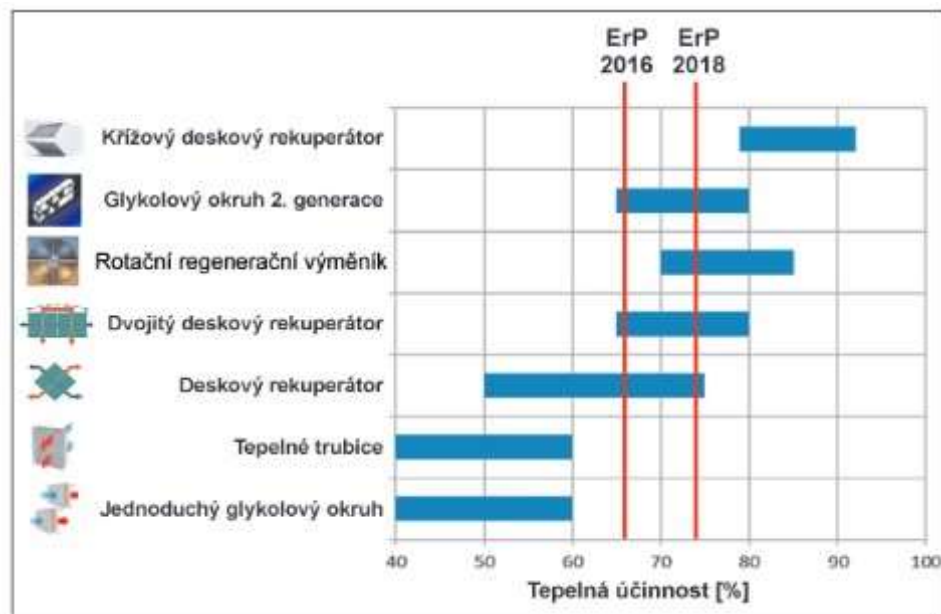
A.7.3.2 Větrací jednotky pro jiné než obytné budovy

Větracími jednotkami pro jiné, než obytné budovy se samostatně řídí nařízení Komise (EU) č.1253/2014 které bylo aplikováno ve dvou stupních. První stupeň k 1. 1. 2016 a druhý stupeň od 1. 1. 2018. Toto nařízení se zabývá minimální účinností ventilátoru pro jednosměrné jednotky, minimální účinností ZT pro obousměrné jednotky, SFP pro vybrané části vzduchotechnické jednotky udávané ve [W.s/m³] a všechny ventilátory musí být vybaveny vícestupňovým pohonem nebo se spojitou regulací otáček. Od 1. 1. 2018 musí být navíc všechny filtry v jednotkách osazeny čidly na měření diferenčního tlaku. Zanesení filtru a jeho výměna musí být signalizována akustickým nebo optickým varovným signálem. [17]

Jednotky pro nebytové prostory musí mít minimální tepelnou účinnost ZT:

$$\text{ErP 2016} \quad \eta_{\text{ZT}} \geq 67\%$$

$$\text{ErP 2018} \quad \eta_{\text{ZT}} \geq 73 \%$$



Obrázek A.14 Ukázka ZT pro splnění účinnosti ErP 2016 a 2018 [17]

Minimální účinnost ventilátorů η_{vu} pro jednosměrné větrací jednotky:

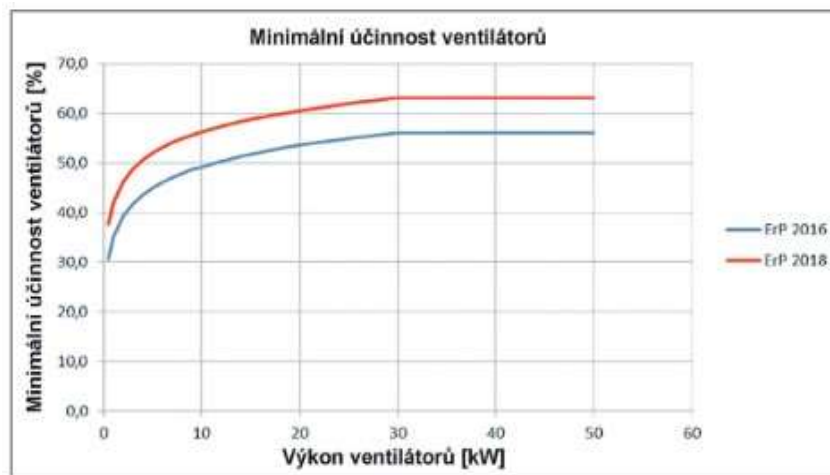
$$\text{ErP 2016} \quad \eta_{vu,\min} = 6,2\% \cdot \ln(P) + 35\%; \text{ pro } P \leq 30 \text{ kW}$$

$$\eta_{vu,\min} = 56,1\%; \text{ } P > 30 \text{ kW}$$

$$\text{ErP 2018} \quad \eta_{vu,\min} = 6,2\% \cdot \ln(P) + 42\%; \text{ pro } P \leq 30 \text{ kW}$$

$$\eta_{vu,\min} = 63,1\%; \text{ } P > 30 \text{ kW}$$

Toto nařízení o účinnosti ventilátoru se nevztahuje na ventilátory, které jsou pouze axiálními nebo radiálními ventilátory vybavenými krytem ve smyslu nařízení (EU) č. 327/2011.



Obrázek A.15 Minimální účinnost ventilátorů jednosměrných VZT jednotek ErP 2016 a 2018 [17]

Maximální vnitřní měrný příkon ventilátorů větracích součástí SFP_{int_limit} [$W/m^3 \cdot s$] pro obousměrné větrací jednotky se ZZT bez glykolového okruhu. [17]

$$\text{ErP 2016 pro} \quad SFP_{int_limit} = 1\,200 + E - 300 \cdot V_{nom} / 2 - F \quad \text{kde } V_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$SFP_{int_limit} = 900 + E - F \quad \text{kde } V_{nom} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{ErP 2018 pro} \quad SFP_{int_limit} = 1\,100 + E - 300 \cdot V_{nom} / 2 - F \quad \text{kde } V_{nom} < 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$SFP_{int_limit} = 800 + E - F \quad \text{kde } V_{nom} \geq 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

E Korekční faktor zohledňující účinnější výměníky ZZT způsobují větší tlakovou ztrátu

F Korekční faktor v [Pa] který se uplatňuje při odchýlení filtrů od konfigurace obousměrné vzduchotechnické jednotky

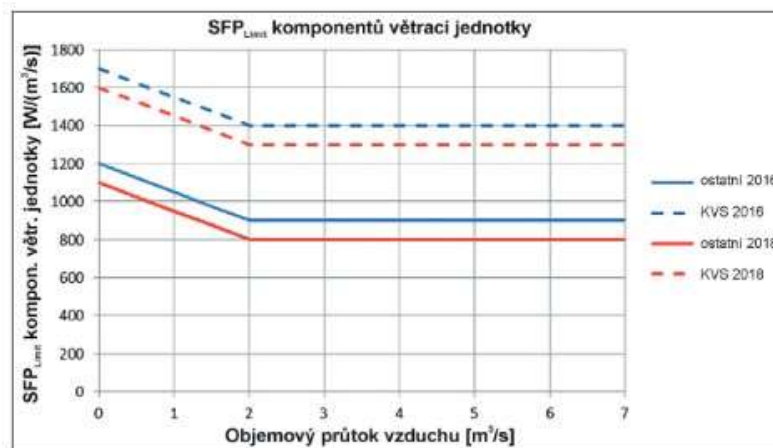
Korekční faktor „E“ zohledňující vyšší tlakovou ztrátu účinnějších ZZT:

$$\text{ErP 2016} \quad E = 3\,000 \cdot (\eta_{ZZT} - 0,67)$$

$$\text{ErP 2018} \quad E = 3\,000 \cdot (\eta_{ZZT} - 0,73)$$

Korekční faktor „F“ redukuje limitní hodnotu SFP_{int_limit} pokud v jednotce není instalovaný filtr:

ErP 2016	M5 – filtr na odvodu chybí: $F = 160 [W/m^3.s]$ F7 – filtr na přívodu chybí: $F = 200 [W/m^3.s]$
ErP 2018	M5 – filtr na odvodu chybí: $F = 150 [W/m^3.s]$ F7 – filtr na přívodu chybí: $F = 190 [W/m^3.s]$



Obr. 5 Grafické vyjádření dovolených hodnot SFP_{limit} pro obousměrné jednotky (KVS = oběhový (glykolový) okruh, ostatní = všechny ostatní typy rekuperace)

Obrázek A.16 Dovolené limity SFP pro obousměrné jednotky podle ErP 2016 a 2018 [17]

Maximální vnitřní měrný příkon ventilátorů větracích součástí $SFP_{int_limit} [W/m^3.s]$ pro jednosměrnou větrací jednotku určenou pro použití s filtrem [17]:

ErP 2016	$SFP_{int_limit} = 250$
ErP 2018	$SFP_{int_limit} = 230$

Všechny udávané výpočtové vzorce platí pro větrací jednotky se ZZT jiným než s glykolovým okruhem. V případě glykolových oběhových okruhů rekuperace jsou limity minimální účinnosti sníženy a vzorce pozměněny viz. EU č. 1253/2014.

A.8 Návrh ventilátorů ve vzduchotechnické praxi

V každém vzduchotechnickém zařízení se skrývají ventilátory, které jsou nejdůležitější částí z pohledu transportu vzduchu. Ventilátor se vybírá podle dvou faktorů. První faktor výběru je navrhovaná celková dopravní tlaková ztráta [Pa] ventilátoru, která je dána potrubní sítí a vřazenými elementy, a druhým faktorem výběru je objemový průtok $V [m^3/h]$.

Objemový průtok vzduchu $V [m^3/h]$ a jeho požadované limity na hygienickou výměnu vzduchu se odlišují v závislosti na druhu navrhovaného objektu. Jiné hygienické limity výměny vzduchu jsou u obytných budov, jiné u budov, které nejsou určeny pro bydlení a jiné jsou dány pro budovy určené pro výchovu a vzdělávání dětí a mládeže. Hodnoty hygienických výměn vzduchu jsou vždy zakotveny v příslušné vyhlášce vztahující se k danému druhu objektu.

Další část se zabývá pouze požadavky na vzduchotechnické zařízení větrání škol.

A.9 Větrání škol

Větrání škol nebylo nikdy aktuálnějším tématem, než je tomu dnes. Týká se nejen nových inteligentních budov, ale také starších rekonstruovaných budov. Z důvodu zvyšujících se nákladů na vytápění, se staré školní objekty zateplují a vyměňují se v nich stará netěsná okna za nová těsná. Zateplením a výměnou oken se sice vyřeší snížení nákladů na vytápění objektu, ale zhorší se tím kvalita vnitřního ovzduší. Přes nové utěsněné konstrukce objekt téměř nedýchá a kvalita vzduchu v učebnách se rychle zhoršuje. Při zhoršení ovzduší a navýšení koncentrace CO₂ v učebnách, se snižuje pozornost a výkonnost žáků. Dále se také v prostoru kumuluje více virů a bakterií způsobujících různá respirační onemocnění. Tématem rekonstrukcí škol se zabývá také Ministerstvo životního prostředí ve svém dokumentu *Metodický pokyn pro návrh větrání škol pro SC. 5.1 a SC 5.3, PO5, OPŽP, výzva č. 121 a 135*, který obsahuje základní informace k návrhu větrání škol při rekonstrukcích, za dodržení vyhlášek týkajících se školských zařízení.

A.9.1 Vyhlášky pro návrh školských zařízení

Při návrhu vzduchotechnického systému škol nám hygienické limity pro větrání a kvalitu vnitřního klimatu určuje vyhláška č. 410/2005 Sb. *o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých* a ve znění pozdějších předpisů vyhlášky č. 343/2009 Sb. Hodnoty průtoků vzduchu jsou určeny viz následující tabulka:

Tabulka A.4 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ .hod ⁻¹]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na kabinu, 25 na pisoár

Požadované hodnoty pro vnitřní klimatické podmínky:

Tabulka A.5 Tabulka č.2 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]

Typ prostoru	Výsledná teplota			Rychlost proudění v _a [m.s ⁻¹]	Relativní vlhkost rh [%]
	t _{g min} [°C]	t _{g opt} [°C]	t _{g max} [°C]		
Učebny, pracovní, místnosti určené k dlouhodobému pobytu	20	22 ± 2	28	0,1-0,2	30-65
Tělocvičny	18	20 ± 2	28	0,1-0,2	30-65
Šatny	20	22 ± 2	28	0,1-0,2	30-65
Sprchy	24	-	-	-	-
Záchody	18	-	-	0,1-0,2	30-65
Chodby	18	-	-	0,1-0,2	30-65

Tyto návrhové podmínky musí splňovat navrhovaná vzduchotechnická zařízení do škol.

A.9.2 Metodický pokyn k větrání škol Ministerstvo životního prostředí

Metodický pokyn je vydáván primárně pro zpracovatele projektové dokumentace a energetického posudku, kteří se zabývají úspornými opatřeními pro budovy sloužící pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých (dále školy). Pokud je navrhovaným opatřením vylepšení tepelných vlastností obvodových konstrukcí, musí projekt obsahovat i řešení větrání s dodržáním vyhlášky č. 410/2005 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Metodický pokyn se zabývá návrhem úsporných opatření, a proto dává i pokyny k tomu, jak navrhnout vzduchotechnické zařízení úsporně. Kvalita ovzduší v učebnách, kterým se primárně věnuje a musí být v souladu s vyhláškou č. 268/2009 a splňovat maximální koncentrace CO₂ v pobytových místnostech 1 500 ppm. [19]

Tabulka A.6 Koncentrace CO₂ a jeho vliv na člověka [19]

Koncentrace CO ₂	Místo výskytu CO ₂ , vliv na člověka
400 - 700 ppm	koncentrace ve venkovním ovzduší
800 až 1 200 ppm	vyhovující koncentrace CO ₂ v pobytových prostorách
1 500 ppm	maximální přípustná koncentrace CO ₂ v pobytových prostorách
> 1 500 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování pozornosti člověka
> 2500 ppm	ospalost, letargie, bolesti hlavy
> 5 000 ppm	nedoporučuje se delší pobyt

Větrání učeben

Podle metodiky je stanoveno množství přiváděného vzduchu podle bilance CO₂ s přihlédnutím k věku žáků stanoveno:

Tabulka A.7 Minimální množství venkovního vzduchu dle Metodiky [19]

Množství venkovního vzduchu [m ³ /h.žáka]			
3 – 6 let	6 – 10 let	10 – 15 let	15 – 18 let
Školka	1. stupeň ZŠ	2. stupeň ZŠ	SŠ
10	12	18	20

Podle metodiky se jedná o hospodárnější návrh pro větrání škol, ale dochází ke kolizi s vyhláškou č. 410/2005 Sb. Kolizi je možné se vyhnout při dodržení návrhu vzduchotechnické jednotky s požadovanými hygienickými hodnotami dle vyhlášky a doplněním systému větrání čidly koncentrace CO₂ a regulátory průtoku vzduchu v učebnách, které sníží průtok vzduchu dle koncentrace CO₂ v učebně. Pro vyučující se počítá s minimálním průtokem vzduchu 25 m³/h.

Větrání ostatních prostor

Pro větrání sboroven a kabinetů je možné prostor přirozeně větrat oknem, protože se nejedná dle nařízení vlády č. 93/2012 Sb. o trvalé pracoviště.

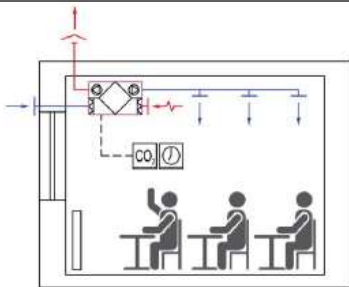
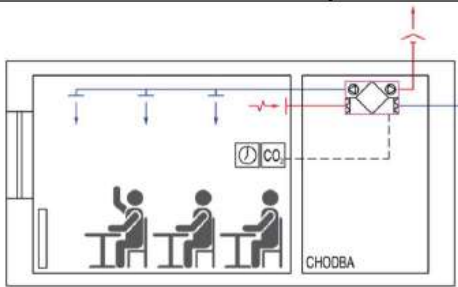
Hygienické prostory jsou větrány podtlakově s hygienickými výměnami v souladu s vyhláškou č.410/2005 Sb. Jsou větrány nárazově pomocí pohybových čidel, nebo nárazově o přestávkách s doběhem. Pro podtlakové větrání je potřeba zajistit i přívod venkovního vzduchu s ohřevem.

Větrací systémy učeben

Dále metodika popisuje možnosti systému větrání přirozeného, hybridního a nuceného. Popisuje všechny možnosti, výhody a nevýhody, ale nakonec doporučuje využití systémů umožňujících řízené rovnotlaké nucené větrání.

U nuceného rovnotlakého větrání musí být zajištěn přehřev venkovního vzduchu výměníkem ZZT a dohřev ohřivačem ve vzduchotechnické jednotce nebo ho musí pokrýt otopná soustava učebny. Hladina hluku v učebnách nesmí překračovat hranici 40 dB.

Pro hospodárnost návrhu musí být každá učebna samostatně regulovatelná na základě koncentrace CO_2 ve větraném prostoru. Koncentrace CO_2 nesmí překračovat hodnotu 1 500 ppm a musí být doložena výpočtem stanovení průtoku venkovního vzduchu a bilancí CO_2 v učebně. Metodika doporučuje nucené rovnotlaké větrání v několika typech viz. následující obrázky.

Popis	Rovnotlaké Lokální větrací jednotka umístěná v učebně	Rovnotlaké Lokální větrací jednotka umístěná vně učebny
Schéma		
Charakteristika	Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZZT a filtrací. Nutné prostupy pro přívod a odvod vzduchu v obvodové stěně nebo ve stropě, případně odvod vzduchu vertikální šachtou. Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu. Jednotka v učebně emituje hluk, nesmí být překročeny hlukové limity. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.	Přívod a odvod vzduchu větrací jednotkou se ZZT a filtrací. Zajistí celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu. Do učebny pouze prostupy pro přívod a odvod vzduchu. Nasávání venkovního vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu do/z jednotky stěnami (vertikálními šachtami) mimo učebnu. Jednotka přímo nezatěžuje hlukem prostor učebny, nicméně nesmí být překročeny hlukové limity. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.
Energie	Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí otopná soustava, nebo může být jednotka vybavena ohřivačem. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.	Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí otopná soustava, nebo může být jednotka vybavena ohřivačem. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.
Ovládání	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO_2 variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.	Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO_2 variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.
Použití	Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.	Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.

Obrázek A.17 Doporučené možnosti lokálního nuceného větrání podle metodiky [19]

Rovnotlaké	
Popis	Centrální větrací jednotka pro více místností
Schéma	
Charakteristika	<p>Přívod a odvod vzduchu větrací jednotku se ZZT, filtrací a regulátory průtoku vzduchu. Zajišťuje celkové (rovnoměrné) provětrání prostoru připojeným vzduchovodem pro přívod vzduchu. Jednotka pro více učeben je umístěna ve strojovně nebo na střeše. Nároky na prostor pro umístění jednotky a vedení vzduchovodů.</p> <p>Jednotka emituje hluk, doporučuje se akustické řešení k omezení hluku šířeného do vnitřního i venkovního prostředí. Při návrhu možno respektovat současnost provozu. Nutná údržba, servis, výměna filtrů.</p>
Energie	<p>Tepelná ztráta větráním je z podstatné části hrazena ZZT, menší část hradí ohřivač vzduchu ve větrací jednotce. Potřeba energie na pohon ventilátorů pro přívod a odvod vzduchu.</p>
Ovládání	<p>Provoz dle stanoveného časového plánu. Regulace průtoku automaticky podle čidla CO₂ variantně i s kontrolou teploty vnitřního vzduchu.</p>
Použití	<p>Bez omezení z hlediska kvality venkovního vzduchu, rizikové je pouze znečištění venkovního ovzduší plynnými látkami.</p>

Obrázek A.18 Doporučená možnost centrálního nuceného větrání podle metodiky [19]



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VENTILÁTORY V TECHNICE PROSTŘEDÍ
FANS IN HVAC SYSTEMS

B) VÝPOČTOVÁ ČÁST
SECTION OF THEORETICAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Zdeněk Lechnýř

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

BRNO 2023

B. VÝPOČTOVÁ ČÁST

B.1 CÍL VÝPOČTOVÉ ČÁSTI

Cílem výpočtové části je návrh a porovnání dvou variant vzduchotechnického zařízení pro rekonstrukci části střední školy v Brně. V obou variantách je za úkol zabezpečit teplovzdušné větrání a hygienickou výměnu vzduchu v objektu. Obě varianty jsou navrženy tak, aby splňovaly požadavky vyhlášek č. 410/2005 Sb. a č. 343/2009 Sb. Varianta B je však při návrhu ovlivněna *Metodickým pokynem pro návrh větrání škol pro SC. 5.1 a SC 5.3, PO5, OPŽP, výzva č. 121 a 135* vydaným Ministerstvem životního prostředí.

B.2 ANALÝZA OBJEKTU

Zadaná část rekonstruovaného objektu střední školy se skládá ze dvou nadzemních podlaží. Ve druhém nadzemním podlaží se nachází tři učebny, kabinet, dívčí toalety šachta pro vzduchotechnické potrubí a komunikační prostory. V prvním nadzemní podlaží se nacházejí stejné tři učebny, kabinet, chlapecké toalety a komunikační prostory, které jsou v tomto podlaží napojené na zbytek objektu.

Stavebně je objekt řešen jako železobetonový skelet s výplňovým zdívkem a plochou střechou. Nosnou funkci objektu zastupují ve svislém směru železobetonové sloupy a ve vodorovném směru železobetonové průvlaky a stropní panely. Konstrukční výška u obou podlaží je 4 150 mm. Světlá výška je snížena o podhled, který zakrývá vzduchotechnické potrubí. Světlá výška v komunikačních prostorech je 3 000 mm. V učebnách je světlá výška dvouúrovňová. V části učebny, kde je umístěno vzduchotechnické potrubí (což je téměř polovina plochy) je světlá výška 3 300 mm a ve zbytku učebny je podhled uskočený z důvodu prosvětlenosti denním světlem a možnosti otevíratelnosti oken na světlostu 3 900 mm.

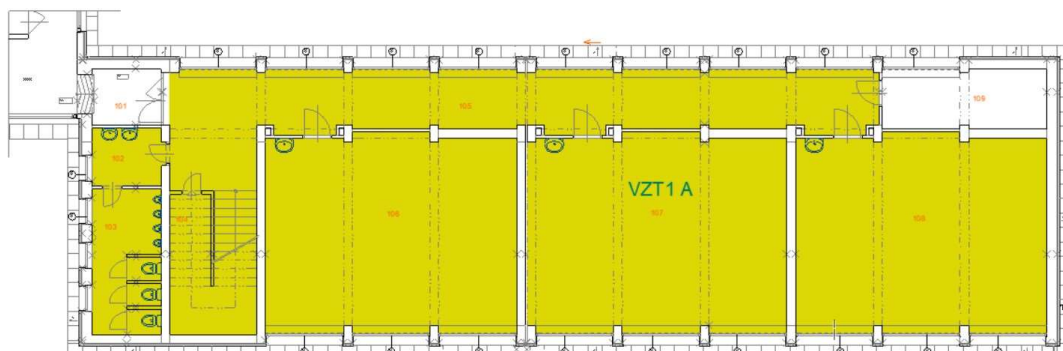
Vzduchotechnické potrubí je z funkčních a estetických důvodů skryto v podhledu. Vzduchotechnické jednotky pro teplovzdušné větrání jsou z důvodu nedostatku prostoru umístěny na střeše objektu. Vytápění celého objektu a ohřev teplé vody zajišťuje centrální plynová kotelná, která se nachází v jiné části objektu.

Venkovní klimatické podmínky pro lokalizaci objektu Brno jsou pro zimní období v následující tabulce.

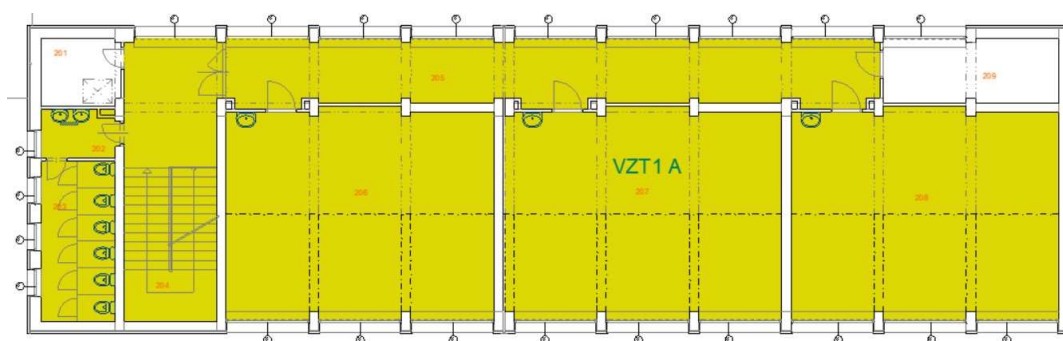
Tabulka B.1 Klimatické podmínky Brno [20]

Město	Vztažná nadmořská výška	Průměrný tlak vzduchu	Chladné období roku		
			Percentil (procento výskytu)	t	Minimum
	m	kPa	[%]	[°C]	
Brno	241	98,8	0,4	-17,9	-24,1
			1,0	-14,8	
			-	-	

Varianta A je řešena teplovzdušným větráním pomocí jedné vzduchotechnické jednotky s regulátory variabilního průtoku vzduchu, které jsou řízeny koncentracemi CO₂.

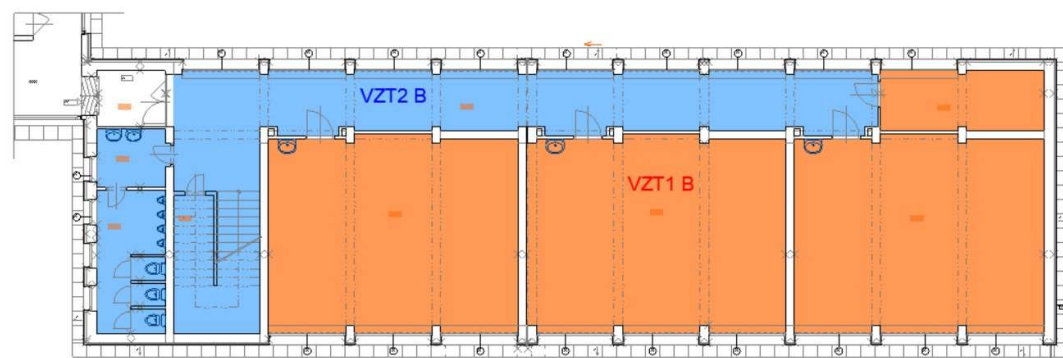


Obrázek B.1 Obsluhovaný prostor 1NP varianta A

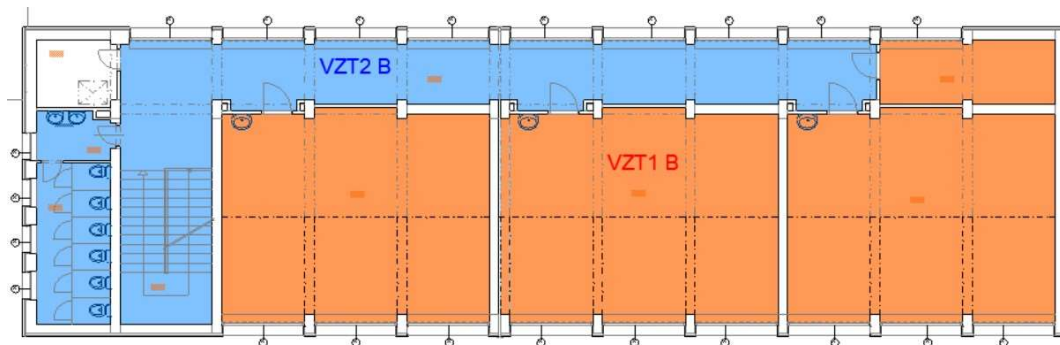


Obrázek B.2 Obsluhovaný 2NP varianta A

Ve variantě B je objekt rozdělen a větrán ve dvou částech. Část 1 se skládá z učeben, kabinetů a jednoho vzduchotechnického zařízení, část 2 se skládá z chodeb, toalet a druhého vzduchotechnického zařízení. Zařízení č.2 pracuje v režimech vyučovacích hodin a přestávky.



Obrázek B.3 Obsluhovaný prostor 1NP varianta B



Obrázek B.4 Obsluhovaný prostor 2NP varianta B

B.3 PŮTOK VZDUCHU A TLAKOVÉ POMĚRY

Průtoky vzduchu byly navrženy pro určené množství žáků a požadované hygienické výměny vzduchu podle vyhlášky 410/2005 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Vyhláška se zabývá hygienickými požadavky na prostory a provoz zařízení pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých.

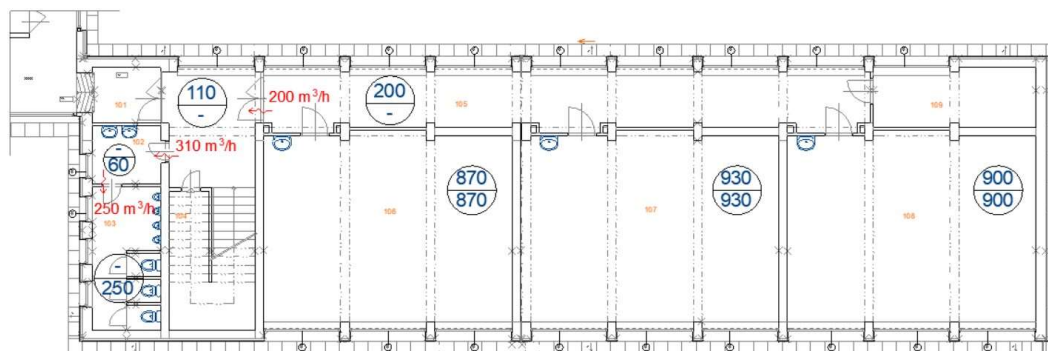
Jako minimální plocha na jednoho žáka byla pro jazykové a počítačové učebny uvažována hodnota 2 m² plochy.

Množství čerstvého vzduchu přiváděného do objektu je navrženo podle přílohy č. 3 vyhlášky č. 410/2005 Sb. Množství přiváděného vzduchu na jednoho žáka navrženo 30 m³/h.

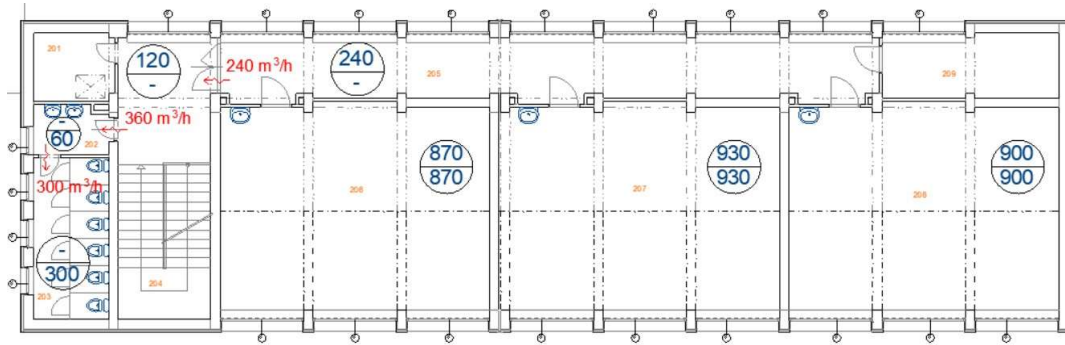
Tabulka B.2 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č410/2005 Sb. [18]

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ .hod ⁻¹]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na kabinu, 25 na pisoár

Ve variantě A je navrženo rovnotlaké větrání do učeben. Na toaletách je navrženo podtlakové větrání, jehož lokální podtlak je kompenzován přetlakovým větráním na chodbách a komunikačních prostorech. Objekt jako celek je navrženo jako rovnotlaký.

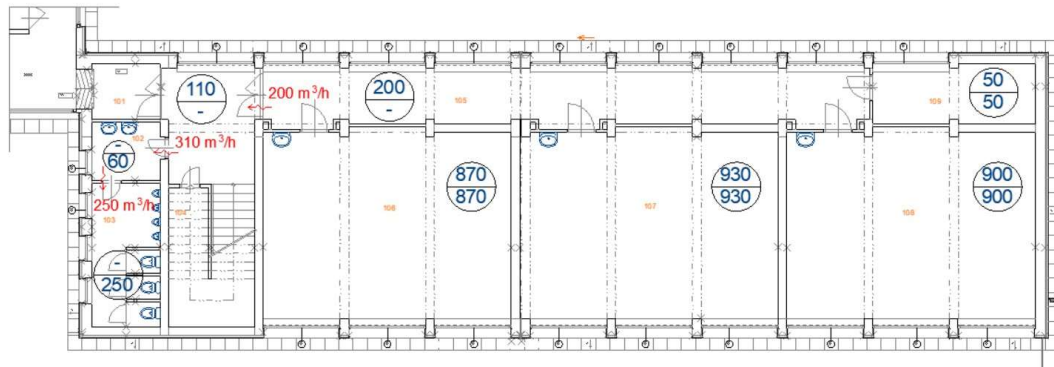


Obrázek B.5 Tlakové poměry 1NP varianta A

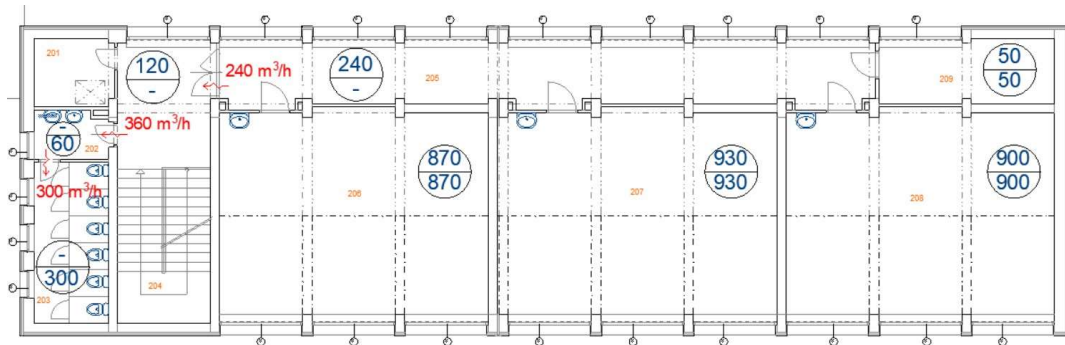


Obrázek B.6 Tlakové poměry 2NP varianta A

Ve variantě B je navrženo rovnotlaké větrání učeben a kabinetů. Na toaletách je navrženo podtlakové větrání, jehož lokální podtlak je kompenzován přetlakovým větráním na chodbách a komunikačních prostorech. Objekt jako celek je navrženy jako rovnotlaký.



Obrázek B.7 Tlakové poměry 1NP varianta B



Obrázek B.8 Tlakové poměry 2NP varianta B

B.3.1 Varianta A průtoky vzduchu

Průtoky vzduchu jsou navrženy pro jednu rovnotlakou vzduchotechnickou jednotku se shodným průtokem přívodního i odvodního vzduchu 6 070 m³/h. Průtoky v jednotlivých místnostech jsou znázorněny v následujících tabulkách, rozdělených podle podlaží.

Tabulka B.3 Varianta A průtoky vzduchu v 1NP

VSTUPNÍ HODNOTY									NÁVRHOVÉ HODNOTY					
místnost							zima		PŘÍVOD			ODVOD		
Č. ZAŘÍZENÍ	Č. MÍSTNOSTI	NÁZEV	PLOCHA (m ²)	OBJEM (m ³)	POČET OSOB	VZD/OSOBA, ZARŽENÍ (m ³ /h)	t (C°)	φ (%)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)	ZIMA (C°)	VÝMĚNA (h ⁻¹)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)
	101	VSTUP	4,68	18,72			19	30						
1	102	ÚMÝVÁRNA	4,86	19,44		60	19	30					1	60
1	103	WC MUŽI	12,06	48,24		250	19	30					1	250
	104	PROSTOR POD SCHODIŠTĚM	4,44	17,76			19	30						
1	105	CHODBA	51,46	205,8		310	19	30	1	310	21	1,51		
1	106	UČEBNA	56,55	226,2	29	30	20	30	1	870	21	3,85	1	870
1	107	UČEBNA	61,82	247,3	31	30	20	30	1	930	21	3,76	1	930
1	108	UČEBNA	59,59	238,4	30	30	20	30	1	900	21	3,78	1	900
1	109	KABINET	11,52	46,08			20	30						
									Σ	3010			Σ	3010

Tabulka B.4 Varianta A průtoky vzduchu ve 2NP

VSTUPNÍ HODNOTY									NÁVRHOVÉ HODNOTY					
místnost							zima		PŘÍVOD			ODVOD		
Č. ZAŘÍZENÍ	Č. MÍSTNOSTI	NÁZEV	PLOCHA (m ²)	OBJEM (m ³)	POČET OSOB	VZD/OSOBA, ZARŽENÍ (m ³ /h)	t (C°)	φ (%)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)	ZIMA (C°)	VÝMĚNA (h ⁻¹)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)
	201	ŠACHTA VZT	5,28	21,12			19	30						
1	202	UMÝVÁRNA	3,68	14,72		60	19	30					1	60
1	203	WC ŽENY	12,06	48,24		300	19	30					1	300
	204	SCHODIŠTĚ	14,92	59,68			19	30						
1	205	CHODBA	51,46	205,8		360	19	30	1	360	21	1,75		
1	206	UČEBNA	56,55	226,2	29	30	20	30	1	870	21	3,85	1	870
1	207	UČEBNA	61,82	247,3	31	30	20	30	1	930	21	3,76	1	930
1	208	UČEBNA	59,59	238,4	30	30	20	30	1	900	21	3,78	1	900
1	209	KABINET	11,52	46,08			20	30						
									Σ	3060			Σ	3060

B.3.2 Varianta B průtoky vzduchu

Průtoky vzduchu jsou navrženy pro dvě rovnotlaké vzduchotechnické jednotky. Jednotka č. 1 s průtokem 5 500 m³/h zajišťuje rovnotlaké větrání učeben a kabinetů. Jednotka č. 2 s průtokem 670 m³/h zajišťuje rovnotlaké větrání chodeb a toalet. Průtoky v jednotlivých místnostech jsou znázorněny v následujících tabulkách, rozdělených podle podlaží.

Tabulka B.5 Varianta B průtoky vzduchu v 1NP

VSTUPNÍ HODNOTY								NÁVRHOVÉ HODNOTY						
místnost							zima		PŘÍVOD			ODVOD		
Č. ZAŘÍZENÍ	Č. MÍSTNOSTI	NÁZEV	PLOCHA (m ²)	OBJEM (m ³)	POČET OSOB	VZD/OSOBA, ZAŘÍZENÍ (m ³ /h)	t (C°)	φ (%)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)	ZIMA (C°)	VÝMĚNA (h ⁻¹)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)
	101	VSTUP	4,68	18,72			19	30						
2	102	ÚMÝVÁRNA	4,86	19,44		60	19	30					2	60
2	103	WC MUŽI	12,06	48,24		250	19	30					2	250
	104	PROSTOR POD SCHODIŠTĚM	4,44	17,76			19	30						
2	105	CHODBA	51,46	205,8		310	19	30	2	310	20	1,51		
1	106	UČEBNA	56,55	226,2	29	30	20	30	1	870	21	3,85	1	870
1	107	UČEBNA	61,82	247,3	31	30	20	30	1	930	21	3,76	1	930
1	108	UČEBNA	59,59	238,4	30	30	20	30	1	900	21	3,78	1	900
1	109	KABINET	11,52	46,08		50	20	30	1	50	21	1,09		50

Tabulka B.6 Varianta B průtoky vzduchu ve 2NP

VSTUPNÍ HODNOTY								NÁVRHOVÉ HODNOTY						
místnost							zima		PŘÍVOD			ODVOD		
Č. ZAŘÍZENÍ	Č. MÍSTNOSTI	NÁZEV	PLOCHA (m ²)	OBJEM (m ³)	POČET OSOB	VZD/OSOBA, ZAŘÍZENÍ (m ³ /h)	t (C°)	φ (%)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)	ZIMA (C°)	VÝMĚNA (h ⁻¹)	Č. ZAŘÍZENÍ	VZD (m ³ /h)
	201	ŠACHTA VZT	5,28	21,12			19	30						
2	202	UMÝVÁRNA	3,68	14,72		60	19	30					2	60
2	203	WC ŽENY	12,06	48,24		300	19	30					2	300
	204	SCHODIŠTĚ	14,92	59,68			19	30						
2	205	CHODBA	51,46	205,8		360	19	30	2	360	20	1,75		
1	206	UČEBNA	56,55	226,2	29	30	20	30	1	870	21	3,85	1	870
1	207	UČEBNA	61,82	247,3	31	30	20	30	1	930	21	3,76	1	930
1	208	UČEBNA	59,59	238,4	30	30	20	30	1	900	21	3,78	1	900
1	209	KABINET	11,52	46,08		50	20	30	1	50	21	1,09	1	50

B.4 DISTRIBUCE VZDUCHU

Distribuci vzduchu v objektu zajišťují vzduchotechnické vyústky připojené na čtyřhranné vzduchotechnické potrubí umístěné ve stropním podhledu. Pro obě varianty jsou navrženy shodné koncové elementy se shodným umístěním.

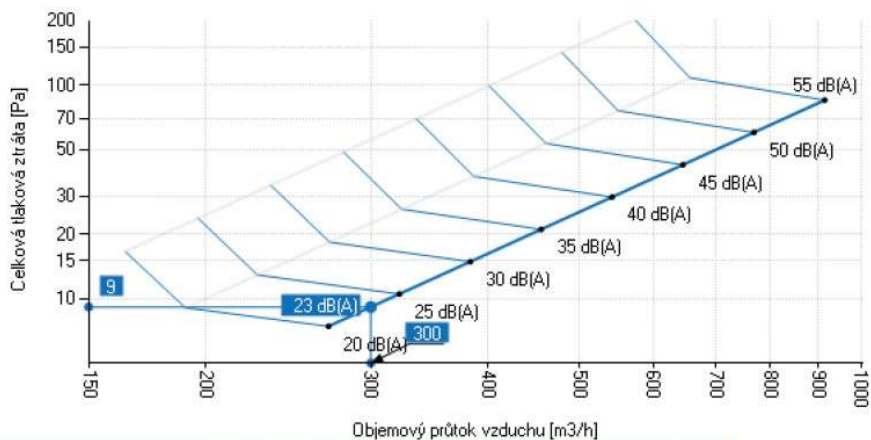
B.4.1 Učebny

B.4.1.1 Přívodní elementy

V učebnách jsou navrženy, jako přívodní distribuční prvky, hliníkové obdélníkové vyústky 800x100 mm s plenum boxem v jedné variantě pro všechny učebny stejné.



Požadavky:		
Objemový průtok vzduchu	q_v	300 m ³ /h
Útlum místnosti	D_r	4 dB
Max. tlaková ztráta	Δp	0 Pa
Výsledky::		
Čelní rychlost	v	2,6 m/s
Celková tlaková ztráta	Δp_t	9 Pa
Akustický výkon	L_{wA}	23 dB(A)
Hladina akustického tlaku	L_{pA}	<20 dB(A)
Dosah	$L_{0.2}$	4,0 m



Hz	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Coct	-2	-3	-3	-3	-4	-7	-18	-24
ΔL	15	11	9	9	8	11	12	11

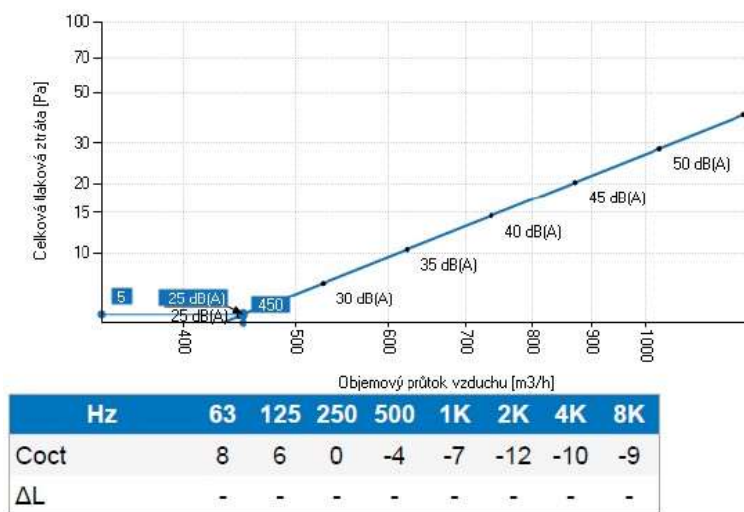
Obrázek B.9 Přívodní distribuční prvek učebny [21]

B.4.1.2 Odvodní elementy

Pro odvod znehodnoceného vzduchu z učeben jsou navrženy obdélníkové hliníkové výústky 700x150 mm s nastavitelnými lamelami umístěnými ve stropním podhledu, připojené na vzduchotechnické potrubí.



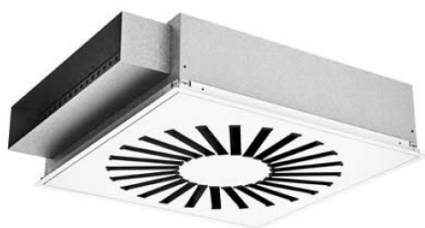
Požadavky:		
Objemový průtok vzduchu	qv	450 m3/h
Útlum místnosti	Dr	4 dB
Délka, L		700
Výška, H		150
Výsledky:		
Celková tlaková ztráta	Δp_t	5 Pa
Akustický výkon	LwA	25 dB(A)
Hladina akustického tlaku	LpA	21 dB(A)



Obrázek B.10 Odvodní distribuční prvek učebny [21]

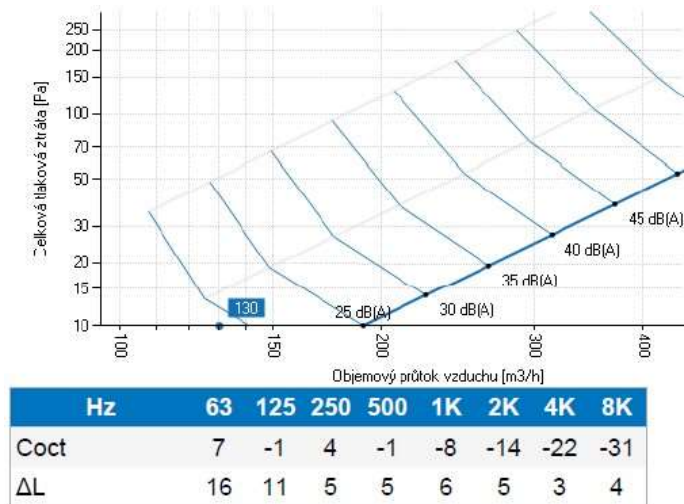
B.4.2 Chodba přívod

Pro přívod čerstvého vzduchu na chodbu je navržen čtvercový vířivý difuzor o rozměrech 380x380 mm s přípojovacími rozměry 300x100 mm.



Požadavky:		
Objemový průtok vzduchu	qv	130 m3/h
Útlum místnosti	Dr	4 dB
Max. tlaková ztráta	Δp	0 Pa
Výsledky:		
Čelní rychlost	v	1,6 m/s
Celková tlaková ztráta	Δp_t	5 Pa
Akustický výkon	LwA	<20 dB(A)
Hladina akustického tlaku	LpA	<20 dB(A)
Dosah	L0.2	1,1 m

Obrázek B.11 Přívodní distribuční prvek chodba a [21]



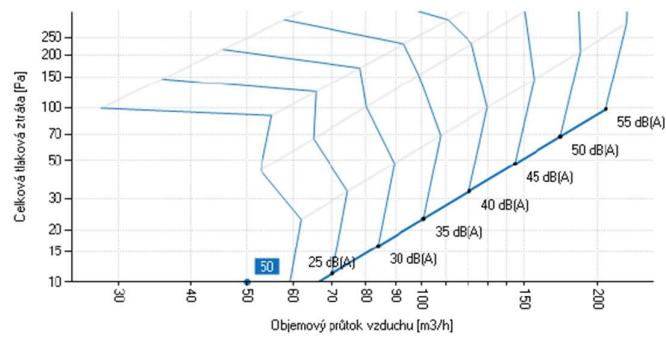
Obrázek B.12 Přívodní distribuční prvek chodba b [21]

B.4.3 Toalety odvod

Pro odvod znehodnoceného vzduchu z toalet je použit talířový ventil \varnothing 100 mm se čtvercovým krytem. Talířový ventil je pomocí flexi potrubí připojen ke vzduchotechnickému rozvodu.



Požadavky:		
Objemový průtok vzduchu	q_v	50 m ³ /h
Útlum místnosti	D_r	4 dB
Max. tlaková ztráta	Δp	0 Pa
Výsledky::		
Celková tlaková ztráta	Δp_t	6 Pa
Akustický výkon	L_{wA}	<20 dB(A)
Hladina akustického tlaku	L_{pA}	<20 dB(A)



Hz	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Coct	8	-11	-3	0	-7	-9	-15	-15
ΔL	22	18	13	11	9	8	7	8

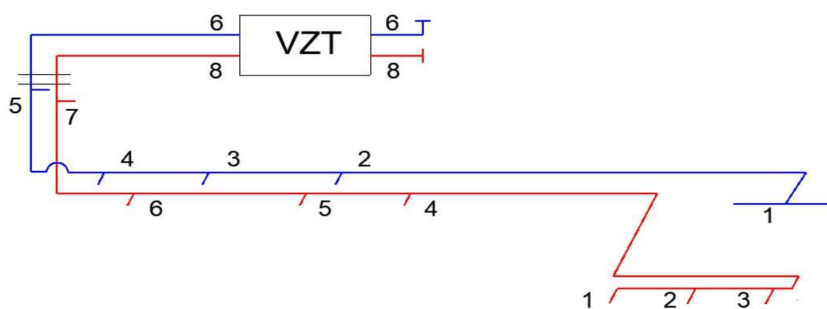
Obrázek B.13 Odvodní distribuční prvek toalety [21]

B.5 NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU – varianta A

Ve variantě A je pro rekonstrukci části středoškolského objektu navrženo rovnotlaké teplo-vzdušné větrání pomocí jednoho vzduchotechnického zařízení. Zařízení zajišťuje úspornější větrání pomocí výměníku zpětného získávání tepla, a dále také filtruje a případně dohřívá venkovní nasávaný vzduch. Pro zefektivnění celého provozu jsou do systému zařazeny regulátory s variabilními průtoky vzduchu, řízené čidly měření CO₂ zřízených v jednotlivých místnostech. Průtok vzduchu na chodbách a toaletách je řízen i časovým režimem přestávek s časovým doběhem.

B.5.1 Dimenzování potrubní sítě var. A

Pro rozvody vzduchotechnické sítě hlavního rozvodu ze střechy a do jednotlivých podlaží je navrženo čtyřhranné potrubí. Pouze v koncové oblasti je v případě některých distribučních prvků použito připojení pomocí pružného kulatého potrubí z flexi hadic.



Obrázek B.14 Dimenzační schéma varianta A

V následující tabulce je znázorněné dimenzování odvodního a přívodního potrubí. K dimenzování byla použita metoda rychlostí.

Tabulka B.7 Dimenzování odvodního potrubí varianta A

Dimenzování potrubí: ODVODNÍ POTRUBÍ- zařízení 1												
úsek	průtok vzduchu v úseku	délka úseku	předběžná rychlost	průtočná plocha	průměr kruhového potrubí pro S'	plocha potrubí čtyřhranné	rovnocenný průměr	skutečná rychlost	měrná tlaková ztráta	součet vřazených odporů	tlaková ztráta místními odpory	celková tlaková ztráta úseku
u	V	L	v'	S'	d'	AxB	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L
-	m ³ /h	m	m/s	m ²	m	mm	m	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
1	450	3,8	3	0,042	0,230	200x250	0,222	2,50	0,7	0,6	2,3	4,8
2	900	15	3,4	0,074	0,306	300x250	0,273	3,33	1,0	6,3	42,3	57,3
3	1830	9,85	3,8	0,134	0,413	500x250	0,333	4,07	1,0	1,8	17,9	27,7
4	2700	6,3	4,2	0,179	0,477	500x355	0,415	4,23	1,0	2,4	25,7	32,0
5	3010	5,5	4,6	0,182	0,481	500x355	0,415	4,71	1,4	1,2	16,0	23,7
6	6070	13,3	5	0,337	0,655	500x710	0,587	4,75	1,0	4,2	56,8	70,1
											Σpotrubí	215,7
											Δp _c	5,0
											klapky	176
											tlumič	10,0
											střešní hlavice	15,0
											Celková tlaková ztráta [Pa]	422

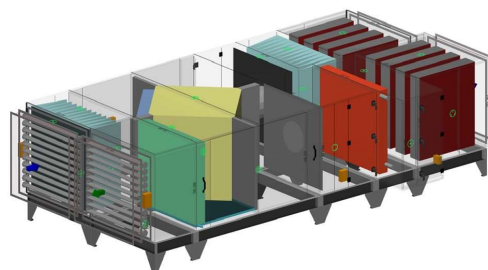
Tabulka B.8 Dimenzování přívodního potrubí varianta A

Dimenzování potrubí: PŘÍVODNÍ POTRUBÍ - zařízení 1												
úsek	průtok vzduchu v úseku	délka úseku	předběžná rychlost	průtočná plocha	průměr kruhového potrubí pro S'	rozměry potrubí čtyřhranné	rovnocenný průměr potrubí	skutečná rychlost	měrná tlaková ztráta	součet vřazených odporů	tlaková ztráta místními odpory	celková tlaková ztráta úseku
u	V	L	v'	S'	d'	AxB	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L
-	m ³ /h	m	m/s	m ²	m	mm	m	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
1	300	0,75	3	0,028	0,188		0,180	3,27	0,8	0,9	5,8	6,4
2	300	3	3,3	0,025	0,179	100x250	0,143	3,33	2,1	0,6	4,0	10,3
3	600	3	3,6	0,046	0,243	200x250	0,222	3,33	1,0	0,6	4,0	7,0
4	900	21,25	4	0,063	0,282	300x250	0,273	3,33	1,0	6,1	41,0	62,2
5	1830	1,8	4,4	0,116	0,384	500x250	0,333	4,07	1,2	0,6	6,0	8,0
6	2700	10,5	4,7	0,160	0,451	500x355	0,415	4,23	1,0	0,9	9,6	20,1
7	3010	7	4,9	0,171	0,466	500x355	0,415	4,71	1,0	1,5	20,0	27,0
8	6070	12,2	5	0,337	0,655	500x710	0,587	4,75	1,0	3,9	52,8	65,0
											Σ potrubí	206,1
											výust' Δp _c	9,0
											klapky	156,0
											tlumič	10,0
											střešní hlavice	28,0
											Celková tlaková ztráta [Pa]	409

Vypočítané tlakové ztráty jsou použity pro návrh vzduchotechnického zařízení.

B.5.2 Návrh vzduchotechnického zařízení var. A

Samostatné vzduchotechnické zařízení pro průtok vzduchu 6070 m³/h ve variantě A, je umístěno na střeše školního objektu. Pro zajištění hygienické výměny vzduchu je zařízení vybaveno kapsovými filtry třídy F7 na přívodní i odvodní větví. Dále je v zařízení osazen rekuperační deskový výměník ZZT s obtokovou klapkou a teplovodní ohřivač s teplotním spádem 70/50 pro případ dohřívání venkovního vzduchu v zimním období. Pro zajištění potřebného průtoku vzduchu v potrubí a překonání tlakové ztráty potrubí i samotných prvků vzduchotechnického zařízení, jsou navrženy ventilátory s EC motory s plynulou regulací otáček pro úspornější a variabilnější provoz celého systému. Součástí dodávky jsou tlumiče hluku osazené na přívodní i odvodní části. Zařízení je vyrobeno ve venkovním provedení s ochranou stříškou a základovým rámem.



Obrázek B.15 Axonometrický pohled vzt jednotka var. A [22]

ErP 2018

Součástí specifikace vzduchotechnického zařízení AeroMaster XP 22 ve výstupu ze softwaru AeroCad je také potvrzení, zda a jak zařízení splňuje požadavky ErP 2018. Navržená vzduchotechnická jednotka dosahuje:

Účinnost ZZT $\eta_{\min} = 73 \% < \eta = 79 \%$

Měrný příkon ventilátoru $SFP_{\text{int_limit}} = 1027 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s} > SFP = 726 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}$

Specifikace zařízení

ID
 Projekt [1] Diplomova_prace
 Číslo / Název zařízení 05 / VZT_A_v5
 Určení jednotky Standardní prostředí



STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení

Druh, rozměr AeroMaster XP 22
 Řídicí jednotka VCS (Climatix) Ne

Nadmořská výška 237 m
 Hmotnost (+10%) 2 718 kg
 Umístění VZT jednotky Vnější
 Materiálové provedení
 Vnější plášť Lakovaný plech (RAL 9002)
 Vnitřní plášť Pozinkovaný plech

	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	6070 m ³ /h	6070 m ³ /h
Externí tlaková rezerva	409 Pa	402 Pa
Rychlost v průřezu	1.09 m/s	1.09 m/s
Výkon motoru nominální	2.40 kW	2.40 kW
Typ motoru ventilátoru	EC motor	EC motor
1. stupeň filtrace	F7 / ISO ePM 2,5 >65%	F7 / ISO ePM 2,5 >65%
2. stupeň filtrace	-	-

SFP_M 951 W·m³·s
 SFP_{AHU} 1888 W·m³·s

Model box AMXP3



Parametry pláště dle EN1886
 Mechanická stabilita D2(M)
 Netěsnost skříně L1(M)
 Netěsnost skříně (reál. jednotka) L3(R) @ -400Pa, L3(R) @ +400Pa
 Termická izolace T4(M)
 Faktor tepelných mostů TB3(M)
 Netěsnost mezi filtrem a rámem < 0,5 % (F9)

Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu	Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 → 15.1 °C	85 %, 53.8 kW
Ohřev	15.1 → 21.0 °C	11.9 kW 70/50 °C, Voda, 0.1 kPa, 0.52 m ³ /h, 2"

Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

Hlukové parametry zařízení

	LwAokt [dB(A)]								ΣLwA [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	40	48	47	44	40	40	40	40	53
Přívod - výtlak	40	55	47	44	40	40	40	46	56
Přívod - okolí	40	51	49	47	45	41	40	40	55
Odvod - sání	40	45	40	40	40	40	40	40	50
Odvod - výtlak	40	56	54	55	52	45	40	40	61
Odvod - okolí	40	50	48	47	45	41	40	40	55

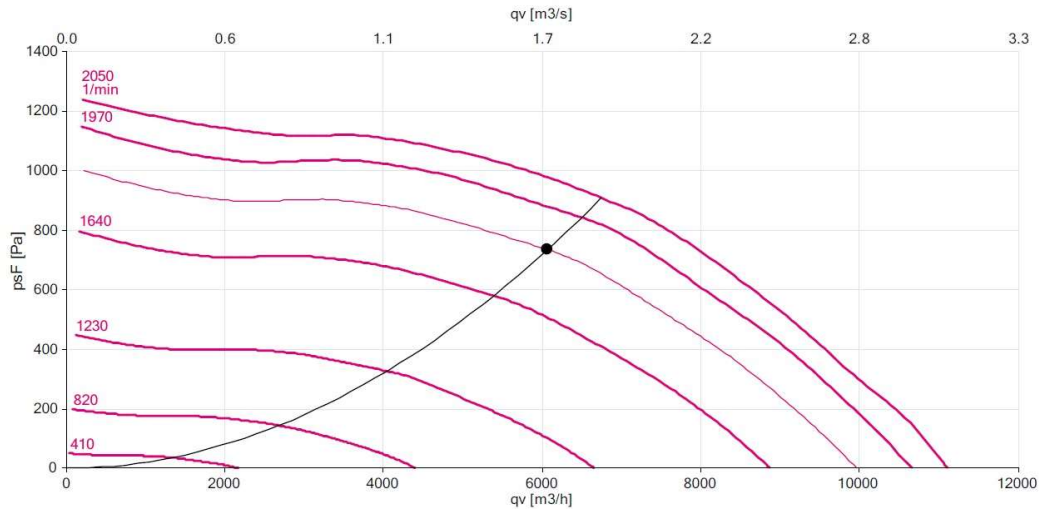
Obrázek B.16 Specifikace zařízení var. A [22]

Ventilátory

Navržený ventilátor s EC motorem a jeho pracovní charakteristika pro přívodní větev. Ventilátor pracuje na 90 % maximálních otáček s účinností 69 %.

Přívodní větev

Typ	V_n [m ³ /h]	$\sum \Delta p_s$ [Pa]	$\sum \Delta p_r$ [Pa]	n [1/min]	U [V]	P [kW]	η [%]
XPAB 22/GR 450 (116901/A01)	6070	735	754	1843	3NPE 400 V, 50 Hz	1.80	69

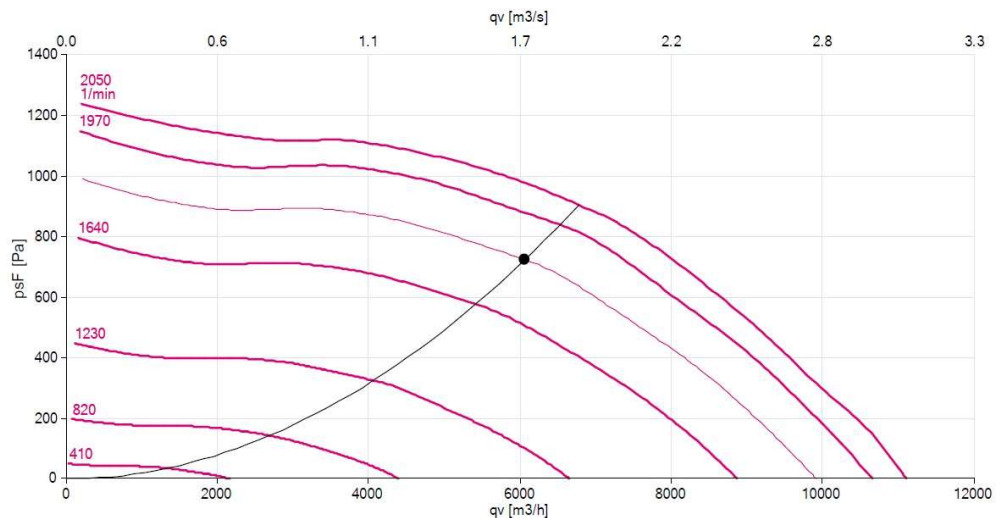


Obrázek B.17 Přívodní ventilátor var. A [22]

Navržený ventilátor s EC motorem a jeho pracovní charakteristika pro odvodní větev. Ventilátor pracuje na 89 % maximálních otáček s účinností 69 %.

Odvodní větev

Typ	V_n [m ³ /h]	$\sum \Delta p_s$ [Pa]	$\sum \Delta p_r$ [Pa]	n [1/min]	U [V]	P [kW]	η [%]
XPAB 22/GR 450 (116901/A01)	6070	725	744	1834	3NPE 400 V, 50 Hz	1.77	69



Obrázek B.18 Odvodní ventilátor var. A [22]

Teplovodní ohřivač vzduchu

Výkon teplovodního ohřivače potřebný pro dohřátí přívodního vzduchu po průchodu rotačním výměníkem ZZT při návrhové teplotě $t_e = -12\text{ °C}$; $t_i = 20\text{ °C}$

$$t_p = 21\text{ °C}; t_{ZZT} = 4\text{ °C}; \rho = 1,2\text{ kg/m}^3; c = 1\,010\text{ J/(kg.K)}; V = 6\,070\text{ m}^3/\text{h} = 1,69\text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p - t_{ZZT}) = 1,69 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (21 - 4) = 34,9\text{ kW}$$

Vlhkostní bilance učebna

Ke změně vlhkostní bilance oproti plnému průtoku vzduchu, dojde už za předpokladu snížení průtoku vzduchu ve třídě o 10 %, vzato z příkladu z praxe, regulací variabilního průtoku vzduchu viz. experimentální část. Při úvaze $30\text{ m}^3/\text{h}$ os by se mohl průtok vzduchu snížit i více, avšak změna je citelná už i při 10% změně.

$$n = 30\text{ osob}; \text{činnost v sedě} = 1,2\text{ met}; m_w = 25\text{ g/h (obr. B19)}; V = 810\text{ m}^3/\text{h} = 0,225\text{ m}^3/\text{s}$$

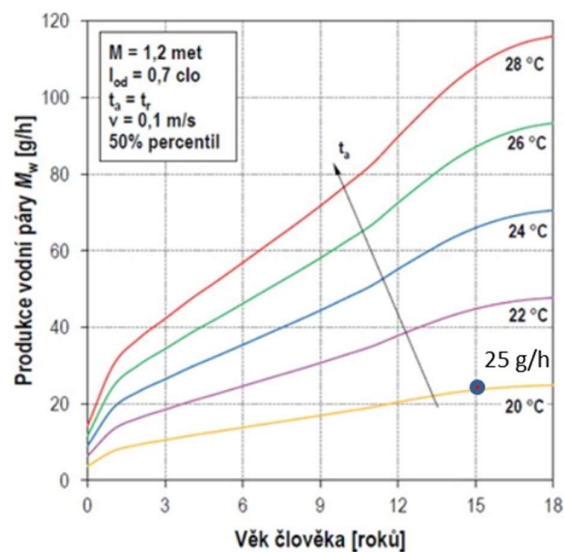
$$M_w = m_w \cdot n = 25 \cdot 30 = 6,75\text{ g/h} = 0,208\text{ g/s}$$

Měrná vlhkost

$$\Delta x = M_w / (\rho \cdot V) = 0,208 / (1,2 \cdot 0,225) = 0,772\text{ g/kg}$$

Tabulka B.9 Druhy činností ve školách a energetický výdej organismu [23]

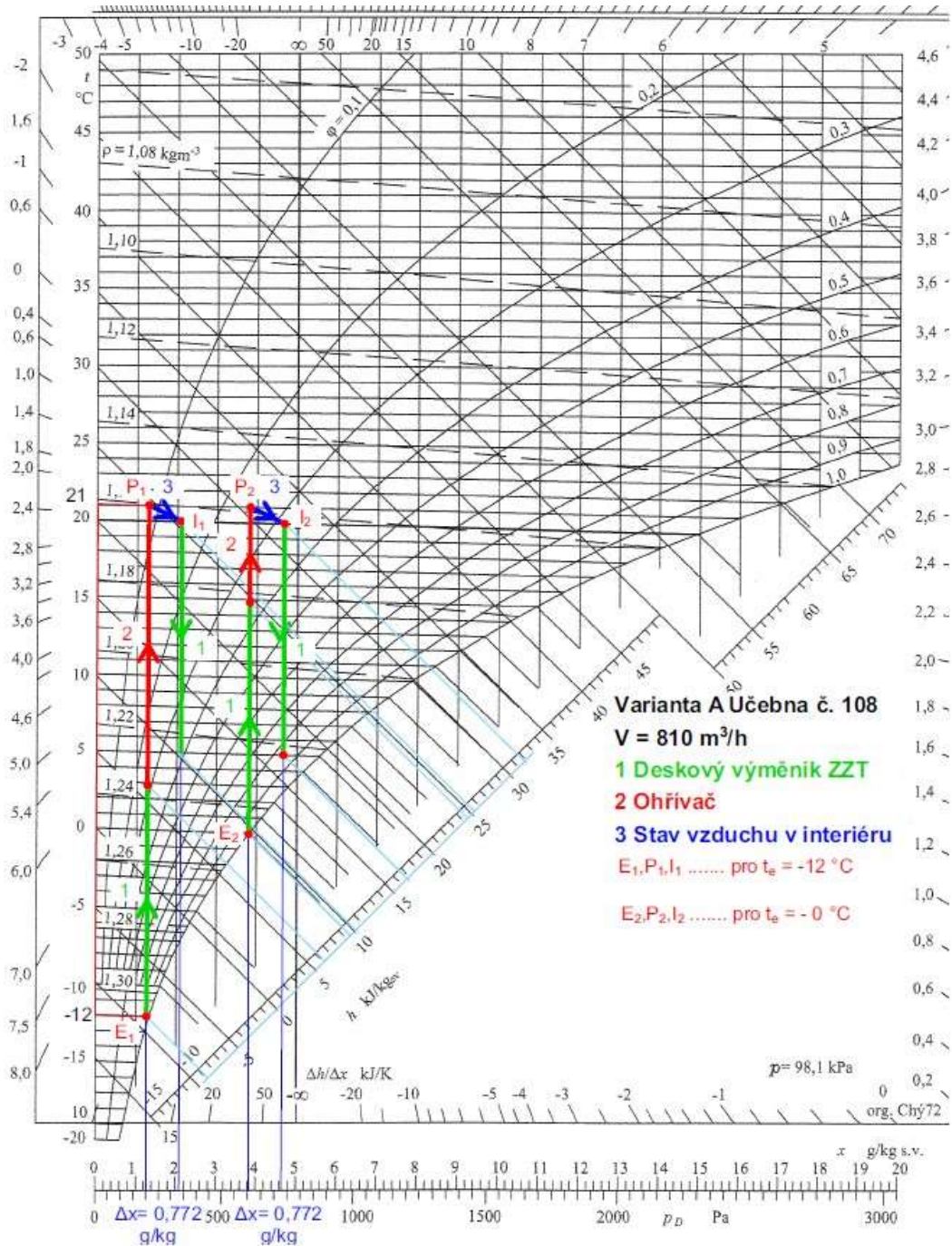
Lidská činnost	Prostory	M [met]	q_m [W/m ²]
Sezení uvolněné	zasedací místnosti	1,0	58
Činnost v sedě	učebny, jídelny	1,2	70
Lehká činnost vstoje	laboratoře	1,6	93
Chůze bez zátěže	chodby	1,9	110
Tělocvik	tělocvičny	3,0	174



Obrázek B.19 Produkce vodní páry od dětí a mladistvých v závislosti na věku a teplotě [22]

Návrhový h-x diagram

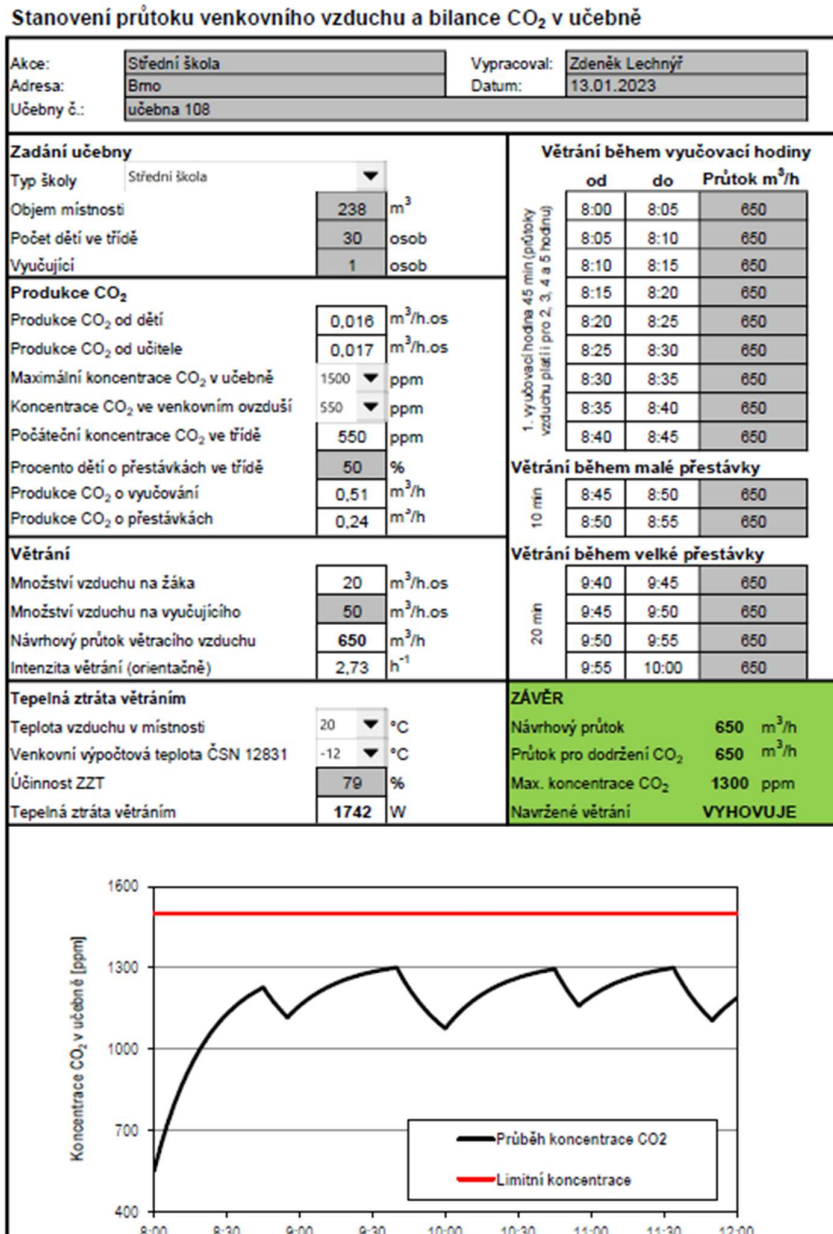
H-x diagram znázorňuje teplotní extrém ve variantě 1. V tomto extrému vodní zisky od žáků nedostačují na 30 % relativní vlhkosti, avšak tento extrém vzhledem k době provozu (není noční provoz) a lokalitě objektu nenastává. Drtivou většinu zimního provozu zařízení budou exteriérové podmínky odpovídat variantě 2 nebo lepší. Proto by nebylo ekonomické navrhovat zvlhčovač vzduchu. V případě varianty variabilního průtoku vzduchu v učebně 108 snížením průtoku naroste vlhkost a tím vyhoví hodnoty vlhkosti hlouběji pod bodem mrazu.



Obrázek B.20 h-x diagram úprava vzduchu v učebně 108 var A

Koncentrace CO₂ učebna 108

Výpočet koncentrace CO₂, při návrhu 20 m³/h.os dle metodiky. Bude docházet ke koncentraci CO₂ na úrovni 1 300 ppm, pro snížení koncentrace CO₂ ve vnitřním prostředí pod 1 200 ppm je potřeba zvýšit průtok vzduchu v místnosti. [19]



Obrázek B.21 koncentrace CO₂ učebna 108 [19]

B.5.3 Útlum hluku var. A

Vzduchotechnická zařízení jsou často zdrojem hluku, proto je potřeba posoudit, aby hodnoty akustického tlaku nepřekračovaly povolené limity uváděné v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. včetně jeho úprav v pozdějším znění č 217/2016 Sb. a č. 241/2018 Sb. Limitní hodnoty hluku v projektu jsou porovnávány s doporučenými hodnotami z normy.

Tabulka B.10 Přibližné normové hodnoty ČSN EN 16798-1 [24]

Budova	Typ prostoru	Hladina akustického tlaku A [dB]	
		Typický rozsah	Standartní návrhová hodnota
Školy	Učebny	30 až 40	35
	Chodby	35 až 50	40
	Tělocvičny	35 až 45	40
	Kabinety	30 až 40	35

Vzhledem k použití tlumičů hluku u vzduchotechnického zařízení a utlumení jeho hluku od ventilátorů, se kritické místo zdroje hluku přesouvá k regulátoru variabilního a konstantního průtoku vzduchu.

V učebně zvolený regulátor variabilního průtoku vzduchu o rozměrech 300 x 300 mm a regulátor konstantního průtoku 300 x 250 mm při tlakovém rozdílu 100 Pa produkují rozhodující hluk.

Tabulka B.11 Vlastní hluk regulační klapky variabilního průtoku [25]

L _w [dB/okt]									L _{WA} [dB(A)]
f _m [Hz]									
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
51,0	50,0	48,0	47,0	46,0	48,0	48,0	45,0	55,0	

Tabulka B.12 Vlastní hluk regulační klapky konstantního průtoku [26]

L _w [dB/okt]									L _{WA} [dB(A)]
f _m [Hz]									
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
55,0	53,0	51,0	50,0	49,0	51,0	51,0	48,0	57,0	

Z tohoto důvodu je navržen buňkový tlumič 300 x 500 x 1000 mm s útlumem hluku.

Tabulka B.13 Útlum buňkového tlumiče hluku [27]

Buňkový tlumič GE 300x500x1000	Útlum hluku [dB]							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	8	12	19	34	46	41	31	28

Posouzení hluku u přívodního a odvodního potrubí ve vnitřním i venkovním prostředí je posuzováno v následující tabulce.

Tabulka B.14 Výpočet akustické hladiny hluku pro odvodní potrubí var. A

Odvod - sání třídy Varianta A

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktávových pásmech								Součtová hladina
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	40	46	40	40	40	40	40	40	50
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	40	46	40	40	40	40	40	40	50
D _p	Přirozený útlum									
	Rovné potrubí 9 m	5,4	5,4	2,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	
	Oblouky (5 ks)	0	0	5	10	15	15	15	15	
	Odbočka hlavní větve D1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Bez odbočení D2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
	Rovné potrubí 6,25m	3,8	3,8	2,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	
	Odbočka D3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	
	Oblouk (1 ks)	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	
	Rovné potrubí 1,6 m	1,0	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	
	Hladina akustického výkonu před klapkou	21,2	27,2	20,0	16,6	10,7	9,7	9,7	9,7	29
	Hluk regulátoru variabilního průtoku	51,0	50,0	48,0	47,0	46,0	48,0	48,0	45,0	
	Hluk regulátoru konstantního průtoku	55,0	53,0	51,0	50,0	49,0	51,0	51,0	48,0	
	Součet hluku za regulačníma klapkami	56,5	54,8	52,8	51,8	50,8	52,8	52,8	49,8	62
	Rovné potrubí 1,2 m	0,7	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	
	Oblouk (1ks)	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	
	Odbočka D4	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Rovné potrubí 2,4 m	1,4	1,4	1,1	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Útlum koncovým odrazem	14,4	9,2	4,7	1,9	0,6	0,2	0,0	0,0	
	Oblouk (1ks)	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	
	Útlum tlumič hluku 1,0 m	8	12	19	34	46	41	31	20	
	Hladina akustického výkonu za tlumičem	29	28	24	10	0	2	12	20	32
	Vlastní hluk tlumiče	29	23	16	9	2	0	0	0	30
L _{V1}	Hladina akustického výkonu ve výústce	32	29	25	12	4	4	12	20	35
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu výústky									25
K	Korekce na počet výústek					Počet výústek (ks)			2	3
L _s	Hladina akustického výkonu všech výústek odvodu									38

Tabulka B.15 Výpočet akustické hladiny hluku pro přívodní potrubí var. A, součet obou potrubí

Přívod - výtlak třídy Varianta A

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku, výkonu a útlumu v oktávových pásmech								Součtová hladina
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	40	53	45	42	40	40	40	44	55
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	40	53	45	42	40	40	40	44	55
D _p	Přirozený útlum									
	Rovné potrubí 8,3 m	5,0	5,0	2,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
	Oblouky (5 ks)	0	0	5	10	15	15	15	15	
	Odbočka z hlavní větve D1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Rovné potrubí 3,2 m	1,9	1,9	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Bez odbočení D2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
	Rovné potrubí 10,5 m	6,3	6,3	4,7	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	
	Odbočka D3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	
	Rovné potrubí 3,2 m	1,9	1,9	1,4	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	
	Oblouk (1ks)	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	
	Hladina akustického výkonu před klapkou	15,6	28,6	20,6	15,4	7,7	6,7	6,7	10,7	30
	Hluk regulátoru variabilního průtoku	51,0	50,0	48,0	47,0	46,0	48,0	48,0	45,0	
	Hluk regulátoru konstantního průtoku	55,0	53,0	51,0	50,0	49,0	51,0	51,0	48,0	
	Součet hluku za regulačníma klapkami	56,5	54,8	52,8	51,8	50,8	52,8	52,8	49,8	62
	Rovné potrubím 2,8 m	1,7	1,7	1,3	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	
	Oblouky (2 ks)	0,0	0,0	0,0	2,0	4,0	6,0	6,0	6,0	
	Odbočka D4 k vyústce	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	
	Útlum koncovým odrazem	16,0	10,7	5,9	2,5	0,9	0,2	0,1	0,0	
	Útlum tlumič hluku 1 m	8	12	19	34	46	41	31	20	
	Hladina akustického výkonu za tlumičem	26	26	22	8	0	0	10	18	30
	Vlastní hluk tlumiče	29	23	16	9	2	0	0	0	30
L _{V1}	Hladina akustického výkonu ve vyústce	31	27	23	11	4	3	11	19	33
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu vyústky									23
K	Korekce na počet vyústek						Počet vyústek (ks)	3	5	
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek přívodu									38
L _{ws}	Hladina akustického výkonu všech vyústek									41
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost od vyústky k posluchači									1,7
A	Pohltivá plocha místnosti					Plocha povrchů místnosti (m ²)	223	Pohltivost (-)	0,2	45
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									32,8
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									30 - 40

Tabulka B.16 Výpočet akustické hladiny hluku pro venkovní prostředí

Odvod výtlač varianta A

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku, výkonu a útlumy v oktávových pásmech								součtová hladina
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	40	56	54	55	52	45	40	40	61
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	40	56	54	55	52	45	40	40	61
D _p	Přirozený útlum									
	Rovné potrubí 0,5 m	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Oblouky (1 ks)	0	0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Útlum tlumič hluku 1,5 m									
	Hladina akustického tlaku	40	56	53	53	49	42	37	37	59
L _{V3}	Hladina akustického výkonu ve výústce	40	56	53	53	49	42	37	37	59
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu výústky									45
K	Korekce na počet výústek					Počet výústek (ks)		1	0	
L _s	Hladina akustického výkonu všech výústek přívodu									60
L _{ws}	Hladina akustického výkonu všech výústek									60
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost od výústky k posluchači									10
A	Pohltivá plocha místnosti	Plocha povrchů místnosti (m ²)				0	Pohltivost (-)		0	0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									31,7
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									40

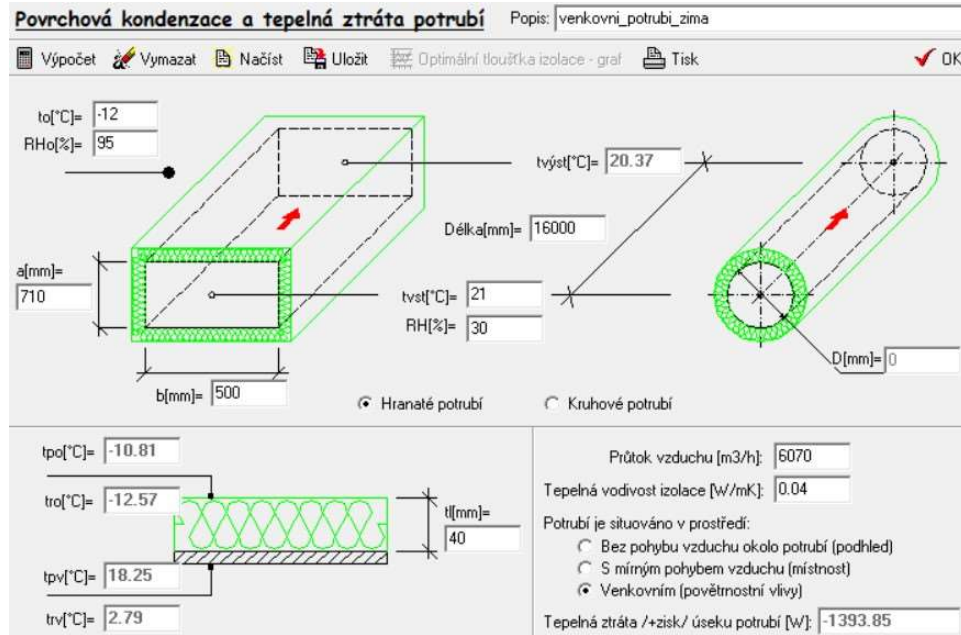
Závěr útlum hluku

V případě interiéru je dodatečně navržený buňkový tlumič dostačující. Hladina akustického tlaku v učebně v místě posluchače dosahuje hodnoty pod 33 dB, tím je bezpečně splněn požadavek normové hranice do 40 dB. Ve venkovním prostředí je posuzováno potrubí na výtlačku, kde vzniká vyšší hladina akustického výkonu zdroje. Hluk na výtlačku nabývá hodnot do 32 dB v místě posluchače, které je vzdálené minimálně 10 m od střešní hlavice. Z tohoto důvodu není potřeba navrhovat tlumiče i do vnějšího prostoru.

B.5.4 Tepelná izolace potrubí var. A

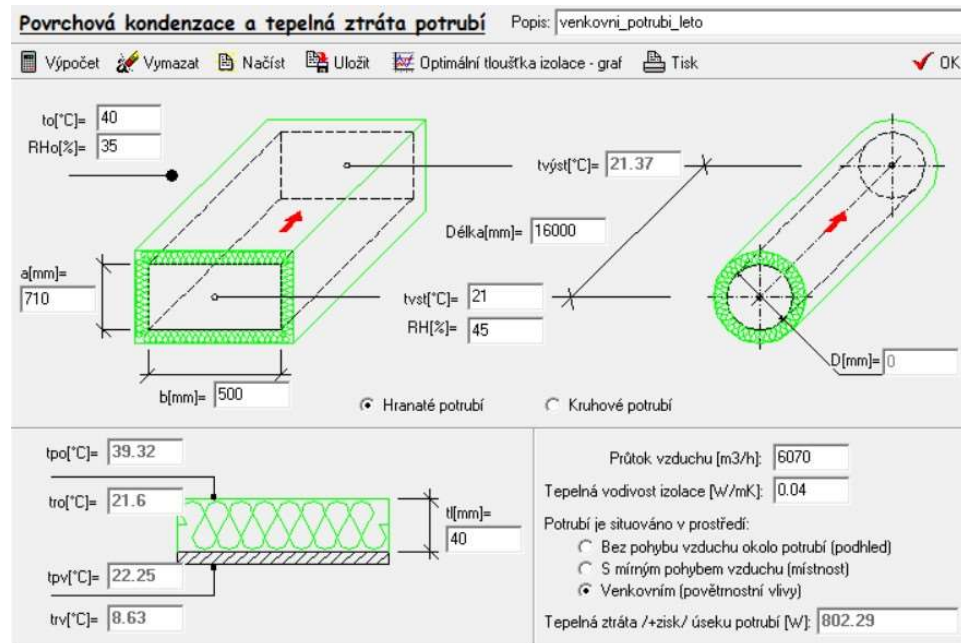
Tepelná izolace bude zřízena na výtlačku přívodního potrubí i na sání odvodního potrubí z důvodu umístění vzduchotechnické jednotky na střeše objektu. Navrhuje se, aby došlo k eliminaci zamezení tepelných ztrát v zimě a nadbytečných tepelných zisků v létě. Tepelná izolace tloušťky 40 mm.

Izolace přívodního potrubí zimní období



Obrázek B.22 Izolace přívodního potrubí zimní období var. A [28]

Izolace odvodního potrubí letní období



Obrázek B.23 Izolace odvodního potrubí letní období var. A [28]

B.5.5 Technická zpráva var. A

B.5.5.1 Úvod

Předmětem projektu je návrh centrálního rovnotlakého teplovzdušného větrání dvoupodlažního objektu části střední školy v Brně. Návrh je zpracován tak, aby byly zajištěny předepsané hygienické hodnoty výměny vzduchu. A návrh mikroklimatu daných místností vyhovoval požadavkům legislativy.

B.5.5.2 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování je projektová dokumentace stavební části. Dokumentace obsahuje půdorysy 1. NP, 2. NP a příčný řez. Součástí podkladů jsou příslušné zákony, prováděcí vyhlášky, české technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení.

- Nařízení vlády č. 32/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- Nařízení vlády č. 241/2018 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.
- Nařízení vlády č. 217/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb
- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- Vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- ČSN 12 7010/Z1 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení (2014)
- ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov (2005)
- ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- Podklady od výrobců:
 - Lindab s.r.o.
 - Remak, a.s.

B.5.5.3 Výpočtové hodnoty venkovní prostředí

- Místo: Brno
- Nadmořská výška: 237 m n. m.
- Normální tlak vzduchu: 98,8 kPa
- Výpočtová teplota vzduchu: zima: -12 °C, relativní vlhkost: 95%

B.5.5.4 Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí

Hodnota vnitřní teploty v prostředí učeben je 20 °C s relativní vlhkostí minimálně 30 %. V prostorách chodeb a toalet je teplota vzduchu 19 °C s relativní vlhkostí minimálně 30 %. Hladina akustického tlaku se v učebnách může přiblížit maximálně ke 40 dB, v ideálním případě se hladina akustického tlaku pohybuje kolem 35 dB nebo lépe 30 dB. V prostorech chodby hladina

akustického tlaku nesmí překročit hodnotu 50 dB. Hladina akustického tlaku ve vnějším prostoru v denní době je nižší než 50 dB, v noci je nižší než 40 dB.

B.5.5.5 Požadavky na nucené větrání

Množství čerstvého vzduchu přiváděného do objektu je navrženo podle přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. Množství přiváděného vzduchu na jednoho žáka navrženo 30 m³/h.

Tabulka B.17 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ .hod ⁻¹]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na kabinu, 25 na pisoár

B.5.5.6 Základní koncepční řešení

Projektová dokumentace se zabývá řešením teplovzdušného větrání části objektu střední školy jako jednoho celku. Pro řešenou část objektu je navrženo jedno rovnotlaké vzduchotechnické zařízení umístěné na střeše objektu. Prostory učeben jsou navrženy jako rovnotlaké s proměnlivými průtoky vzduchu. Průtoky vzduchu v učebnách v přívodním potrubí jsou závislé na poloze regulátoru variabilních průtoků vzduchu, který se řídí čidly pro měření kvality vzduchu v učebně. Maximální množství vzduchu přiváděného do učeben je omezeno regulátorem konstantního průtoku. Za sestavou regulátorů průtoku vzduchu musí být umístěn buňkový tlumič z důvodu útlumu vlastního hluku regulátorů. Odvodní potrubí učeben je osazeno stejnou sestavou regulátorů a tlumiče jako přívodní potrubí.

Na toaletách je navrženo podtlakové větrání, jehož lokální podtlak je eliminován přetlakovým větráním v komunikačních prostorech. Přívod vzduchu do chodby v každém podlaží je řízen sestavou regulátorů s variabilním průtokem vzduchu, s regulátorem konstantního průtoku vzduchu a buňkovým tlumičem hluku. Odvod vzduchu je řízen stejnou sestavou regulátorů jako u přívodu, útlum hluku zajistí ohebné potrubí připojené ke koncovým elementům. Průtok vzduchu je řízen motorickou klapkou (poloha Z/V) časovým spínačem v režimu přestávky s desetiminutovým doběhem. Tomuto systému je nadřazený systém regulátorů variabilního průtoku vzduchu řízenými čidly CO₂, stejně jako v učebnách.

Provoz vzduchotechnického zařízení je řízen samostatným systémem MaR.

B.5.5.7 Energetické zdroje

Elektrická energie

Elektrická energie je užívána pro pohon elektromotorů ventilátorů, teplovodního čerpadla, k ovládání výměníků ZTZ, řízení regulačních klapek a ovládacích prvků.

Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v teplovodních ohříváčích se používá topná voda o teplotě 70/50 °C.

B.5.5.8 Popis technického řešení

Navržený systém VZT je navržen jako rovnotlaké zařízení. Vzduchotechnické zařízení je ve venkovním provedení umístěné na střeše objektu na nosné ocelové konstrukci s obslužnou plochou. Zařízení je vybaveno deskovým výměníkem ZZT, vodním ohříváčem, filtry na odvodu a přívodu, stavitelným 300 mm vysokým rámem a ochrannou stříškou.

Dopravovaný vzduch ze střechy do jednotlivých místností objektu je veden ve čtyřhranném potrubí. U některých koncových elementů se pro spojení mezi čtyřhranným potrubím a koncovým elementem používá ohebné flexi potrubí. Tepelná izolace z minerální vaty tloušťky 40 mm bude umístěna na odvodním i přívodním potrubí v exteriéru. Na výtlaku odvodního potrubí je pro odvod vzduchu osazena střešní hlavice a na sání přívodního vzduchu je zkosené potrubí se sítím proti vniknutí ptactva.

V objektu je pro přívod vzduchu do učeben využito obdélníkových mřížek s plenum boxem a k odvodu vzduchu obdélníkových mřížek připojených na odvodní potrubí. V prostorech chodby jsou pro přívod vzduchu použity vířivé difuzory a pro odvod vzduchu na toaletách jsou navrženy talířové ventily se čtvercovým čelním krytem.

Pro regulaci průtoků vzduchu je využito regulátorů variabilního a konstantního průtoku v kombinaci s buňkovým tlumičem.

Zařízení var.A – centrální rovnotlaké teplovzdušné větrání

Teplovzdušné větrání je navrženo pro hygienickou výměnu vzduchu v prostoru učeben, chodeb a toalet. Na chodbách vzniká přetlakové větrání a na toaletách podtlakové větrání. Celý objekt i zařízení je vzhledem k okolnímu prostředí rovnotlaké. Pro vyrovnávání tlaků jsou mezi chodbami a toaletami doplněny do zdi obdélníkové protipožární větrací mřížky. Objem přiváděného i odváděného vzduchu je shodný 6070 m³/h. Pro obsluhované prostředí bylo vybráno sestavné vzduchotechnické zařízení AeroMaster XP 22 od firmy Remak, a.s.

V zařízení je na přívodu i odvodu vzduchu osazen filtr třídy F7. Dále je osazen deskový výměník zpětného získávání tepla, ventilátor na přívodu i odvodu s EC motory s proměnlivými otáčkami a vodní ohříváč 70/50 °C. Na přívodním i odvodním potrubí jsou osazeny tlumiče hluku. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR.

B.5.5.9 Měření a regulace

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace – profese MaR:

- ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení
- regulace vzduchu řízením výkonu teplovodního ohříváče v zimním období
- umístění teplotních čidel podle požadavku
- proti mrazová ochrana deskového výměníku nastavením obtokové klapky

- ovládání uzavíracích klapek na jednotce
- proti mrazová ochrana teplovodního výměníku, měření na straně vzduchu i vody, při poklesnutí teploty:
 - vypnutí ventilátoru
 - uzavření klapek
 - otevření třicestného ventilu
 - spuštění čerpadla
- signalizace bezporuchového chodu ventilátoru pomocí diferenčního snímače tlaku
- plynulá regulace výkonu ventilátorů 0-10 V
- snímání signalizace zanesení filtrů
- poruchová signalizace
- připojení regulačních klapek na čidla koncentrace škodlivin a centrálnímu systému MaR
- regulace a signalizace stavu na jednom centrálním stanovišti

B.5.5.10 Nároky na související profese

Stavební úpravy

Požadavek na nosnou ocelovou konstrukci s obslužnou plochou, vyvýšenou 600 mm nad úroveň střešního pláště a umístěnou pod základovým rámem vzduchotechnické jednotky na střeše budovy.

Zajištění prostupů v místě křížení vzduchotechnického potrubí se stavebními konstrukcemi. Obložení a dotěsnění prostupů VZT. Zřízení revizních otvorů v šachtách a podhledech v místě požárních a regulačních klapek.

Silnoproud

Požadavek na zajištění připojení, spínání i uzemnění vzduchotechnického systému a jeho částí.

Vytápění

Požadavek na připojení ohříváčů VZT jednotky na topnou vodu včetně regulačních armatur.

Zdravotechnika

Zajištění odvodu kondenzátu ze vzduchotechnického zařízení.

B.5.5.11 Protihluková a protitřesová opatření

Jednotka bude pružně uložena, pro zabránění šíření otřesů. Potrubí bude připojeno ke VZT jednotce pomocí tlumících vložek. Do rozvodných tras budou přidány buňkové tlumiče hluku viz projektová dokumentace.

B.5.5.12 Izolace

Pro tepelnou izolaci potrubí ve venkovním prostředí je navržena minerální vlna s tepelnou vodivostí 0,04 W/m.K. Přívodní i odvodní potrubí je zaizolováno tepelnou izolací tloušťky 40 mm. Izolace ve venkovním prostředí je oplechována pozinkovaným plechem.

B.5.5.13 Protipožární opatření

Do míst prostupů potrubních rozvodů mezi jednotlivými požárními úseky budou vloženy požární klapky. Při umístování požárních klapek je potřeba dodržovat požárně bezpečnostní řešení. Všechny prostupy budou dotěsněny protipožární ucpávkou požadované odolnosti. Mezi prostory chodby a toalet (mezi místnostmi 102-104, 104-105, 202-204, 204-205) budou osazeny protipožární větrací mřížky rozměrů 400x200 mm pro vyrovnání tlaků v objektu.

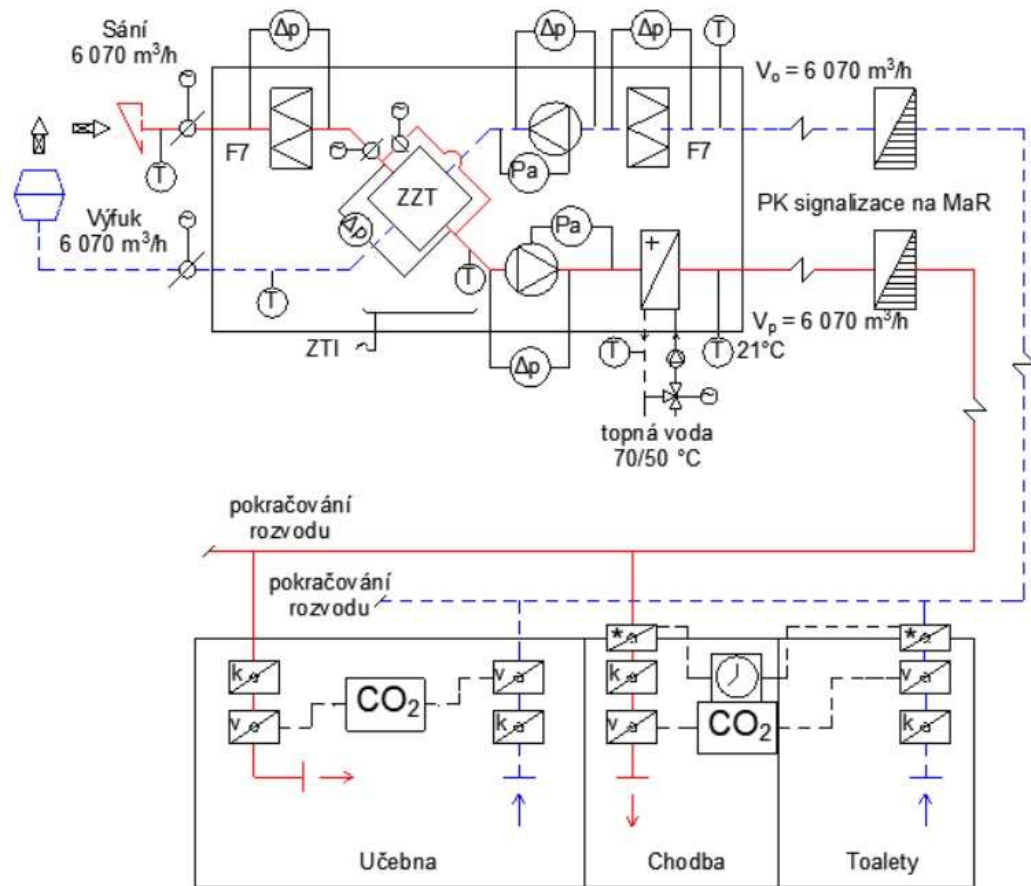
B.5.5.14 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

Z důvodu prostorových nároků se vzduchotechnické potrubí provádí před ostatními instalacemi do podhledu. Při montáži vzduchotechnického systému se musí dbát na bezpečnostní opatření dle platných předpisů a norem. Montáž musí probíhat v souladu s podklady od výrobce a projektovou dokumentací. Montáž celého systému provádí odborná montážní firma. Zaregulování probíhá současně s profesí MaR. Zařízení VZT musí být pravidelně kontrolováno a servisováno. Na základě kontrol zanesení filtrů budou probíhat výměny. Obsluha vzduchotechnických zařízení může být prováděna pouze proškolenou osobou. Řízení a regulace zařízení je zajišťována samostatným systémem MaR.

B.5.5.15 Závěr

Vzduchotechnické zařízení a rozvody byly navrženy, aby zabezpečily hospodárnost provozu podle platných vyhlášek a norem, typu a charakteru budovy, pro zajištění nároků hygienických výměn vzduchu a pro zajištění tepelné pohody prostředí v daném objektu.

B.5.6 Schéma zařízení var. A



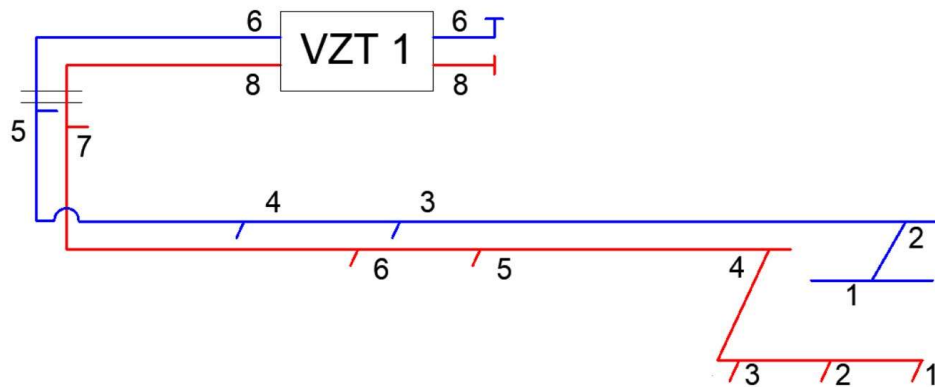
Obrázek B.24 Schéma zařízení A

B.6 NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU – varianta B

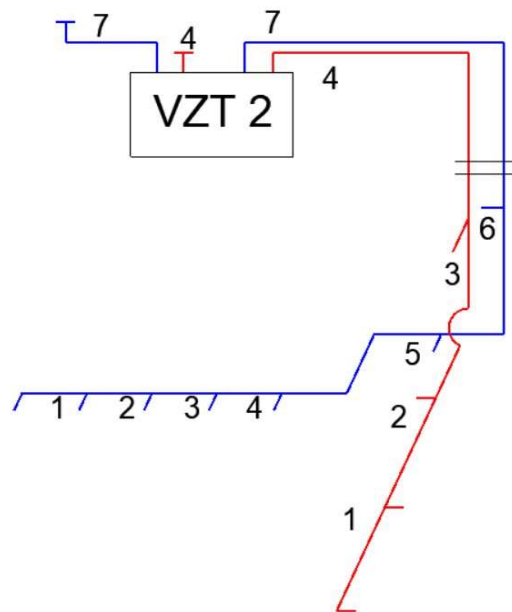
Ve variantě B jsou pro rekonstrukci části školního objektu navrženy dvě rovnotlaká vzduchotechnická zařízení, pomocí kterých se bude objekt teplovzdušně větrat. Zařízení číslo 1 teplovzdušně větrá kabinety a učebny. Zařízení číslo 2 teplovzdušně větrá prostory chodeb a toalet s provozem o přestávkách a deseti minutovým doběhem. Obě zařízení s filtry zajišťují úspornější větrání pomocí výměníku zpětného získávání tepla a v případě potřeby je vodním ohříváčem dohříván venkovní nasávaný vzduch.

B.6.1 Dimenzování potrubní sítě var. B

Pro rozvody vzduchotechnického potrubí hlavního rozvodu ze střechy a do jednotlivých podlaží je navrženo čtyřhranné potrubí. Pouze v koncové oblasti je v některých případech distribučních prvků použito připojení pomocí pružného kulatého potrubí z flexi hadic.



Obrázek B.25 Dimenzační schéma zařízení 1 varianta B



Obrázek B.26 Dimenzační schéma zařízení 2 varianta B

V následujících dvou tabulkách je navrženo nejdříve přívodní potrubí obou zařízení, dále pak v dalších dvou tabulkách pokračuje odvodní potrubí obou zařízení.

Tabulka B.18 Dimenzování přívodního potrubí varianta B zařízení 1

Dimenzování potrubí: PŘÍVODNÍ POTRUBÍ - zařízení 1												
úsek	průtok vzduchu v úseku	délka úseku	předběžná rychlost	průtočná plocha	průměr kruhového potrubí pro S'	rozměry potrubí čtyřhranné	rovnocenný průměr potrubí	skutečná rychlost	měrná tlaková ztráta	součet vřazených odporů	tlaková ztráta místními odpory	celková tlaková ztráta úseku
u	V	L	v'	S'	d'	AxB	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L
-	m ³ /h	m	m/s	m ²	m	mm	m	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
1	300	0,75	3	0,028	0,188		0,180	3,27	0,8	0,9	5,8	6,4
2	300	3	3	0,028	0,188	100x250	0,143	3,33	1,4	0,6	4,0	8,2
3	600	3	3,4	0,049	0,250	200x250	0,222	3,33	1,2	0,6	4,0	7,6
4	900	5	3,7	0,068	0,293	280x250	0,264	3,57	1,0	1,8	13,8	18,8
5	950	9,15	4,1	0,064	0,286	300x250	0,273	3,52	1,0	0,6	4,5	13,6
6	1880	1,8	4,4	0,119	0,389	500x250	0,333	4,18	1,0	0,3	3,1	4,9
7	2750	18,38	4,7	0,163	0,455	500x355	0,415	4,30	1,0	2,1	23,3	41,7
8	5500	6,5	5	0,306	0,624	500x630	0,558	4,85	0,7	2,4	33,9	38,2
Σ potrubí												139,5
výúst Δp_c												9,0
klapky												16,0
střešní hlavice												27,0
Celková tlaková ztráta [Pa]												191

Tabulka B.19 Dimenzování přívodního potrubí varianta B zařízení 2

Dimenzování potrubí: PŘÍVODNÍ POTRUBÍ - zařízení 2												
úsek	průtok vzduchu v úseku	délka úseku	předběžná rychlost	průtočná plocha	průměr kruhového potrubí pro S'	rozměry potrubí čtyřhranné	rovnocenný průměr potrubí	skutečná rychlost	měrná tlaková ztráta	součet vřazených odporů	tlaková ztráta místními odpory	celková tlaková ztráta úseku
u	V	L	v'	S'	d'	AxB	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L
-	m ³ /h	m	m/s	m ²	m	mm	m	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
1	100	11,6	3	0,009	0,109	125x100	0,111	2,22	1,2	2,7	8,0	21,9
2	200	8,4	3,65	0,015	0,139	225x100	0,138	2,47	1,3	0,9	3,3	13,8
3	310	7,6	4,3	0,020	0,160	250x100	0,143	3,44	1,4	0,9	6,4	17,0
4	670	8	5	0,037	0,218	250x200	0,222	3,72	1,4	3,9	32,4	43,6
Σ potrubí												96,4
výúst Δp_c												5,0
tlumič												6,0
klapky												14,0
střešní hlavice												12,0
Celková tlaková ztráta [Pa]												133

Tabulka B.20 Dimenzování odvodního potrubí varianta B zařízení 1

Dimenzování potrubí: ODVODNÍ POTRUBÍ- zařízení 1												
úsek	průtok vzduchu v úseku	délka úseku	předběžná rychlost	průtočná plocha	průměr kruhového potrubí pro S'	plocha potrubí čtyřhranné	rovnocenný průměr	skutečná rychlost	měrná tlaková ztráta	součet vřazených odporů	tlaková ztráta místními odpory	celková tlaková ztráta úseku
u	V	L	v'	S'	d'	AxB	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L
-	m ³ /h	m	m/s	m ²	m	mm	m	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
1	450	3,2	3	0,042	0,230	200x250	0,222	2,50	0,7	0,6	2,3	4,4
2	900	2	3,4	0,074	0,306	280x250	0,264	3,57	1,0	1,1	8,4	10,4
3	950	9,5	3,8	0,069	0,297	300x250	0,273	3,52	1,0	1,8	13,4	22,9
4	1880	9,85	4,2	0,124	0,398	500x250	0,333	4,18	1,0	1,8	18,9	28,7
5	2750	14	4,6	0,166	0,460	500x355	0,415	4,30	1,0	1,8	20,0	34,0
6	5500	6,5	5	0,306	0,624	500x630	0,558	4,85	0,7	2,7	38,1	42,5
Σpotrubí												142,8
Δp _c												5,0
klapky												16
střešní hlavice												12,0
Celková tlaková ztráta [Pa]												176

Tabulka B.21 Dimenzování odvodního potrubí varianta B zařízení 2

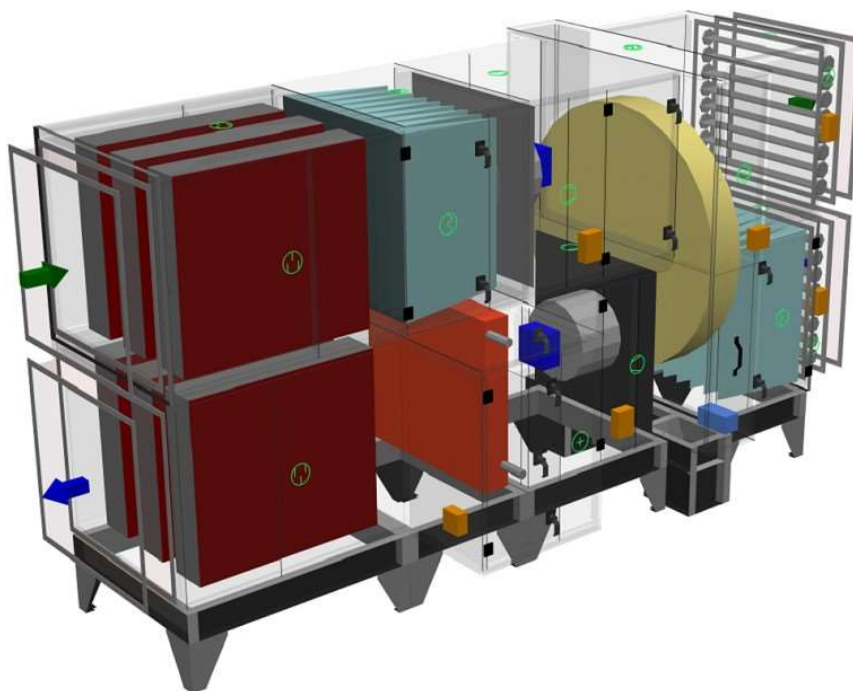
Dimenzování potrubí: ODVODNÍ POTRUBÍ- zařízení 2												
úsek	průtok vzduchu v úseku	délka úseku	předběžná rychlost	průtočná plocha	průměr kruhového potrubí pro S'	plocha potrubí čtyřhranné	rovnocenný průměr	skutečná rychlost	měrná tlaková ztráta	součet vřazených odporů	tlaková ztráta místními odpory	celková tlaková ztráta úseku
u	V	L	v'	S'	d'	AxB	d	v	R	ξ	Z	Z+R*L
-	m ³ /h	m	m/s	m ²	m	mm	m	m/s	Pa/m	-	Pa	Pa
1	50	1,4	3	0,005	0,077	100x125	0,111	1,11	0,4	0,6	0,4	1,0
2	100	0,85	3,3	0,008	0,104	100x125	0,111	2,22	1,2	0,6	1,8	2,8
3	150	0,85	3,6	0,012	0,121	125x125	0,125	2,67	1,4	0,9	3,8	5,0
4	200	0,85	3,9	0,014	0,135	160x125	0,140	2,78	1,3	0,9	4,2	5,3
5	250	0,85	4,2	0,017	0,145	180x125	0,148	3,09	1,2	2,1	12,0	13,0
6	310	3,25	4,5	0,019	0,156	180x125	0,132	3,83	1,2	1,5	13,2	17,1
7	670	8,5	5	0,037	0,218	200x225	0,212	4,14	1,4	4,2	43,1	55,0
Σpotrubí												99,2
Δp _c												6,0
tlumič												6,0
klapky												16
střešní hlavice												24,0
Celková tlaková ztráta [Pa]												151

Vypočítané tlakové ztráty jsou použity pro návrh vzduchotechnického zařízení č. 1 a č. 2.

B.6.2 Návrh vzduchotechnických zařízení var. B

B.6.2.1 Zařízení číslo 1

Vzduchotechnické zařízení č.1 ve var. B zajišťuje teplovzdušné větrání a hygienickou výměnu vzduchu průtokem 5 500 m³/h v prostorách všech učeben a kabinetů. Zařízení je z důvodu nedostatku prostoru umístěno na střeše školního objektu, a proto je vyrobeno ve venkovním provedení s ochrannou stříškou a základovým rámem. Dále obsahuje filtry třídy F7 na přívodní i odvodní větvi, regenerační rotační výměník ZZT s proti mrazovou ochranou a teplovodní ohřivač s teplotním spádem 70/50 pro případ dohřátí venkovního vzduchu v zimním období. Pro zajištění průtoku vzduchu v potrubí a překonání tlakové ztráty jsou navrženy na přívodní i odvodní větvi ventilátory s EC motory s plynulou regulací otáček z důvodu nižších nákladů na spotřebu elektřiny a tím i nákladů na provoz. Součástí dodávky jsou tlumiče hluku osazené na přívodní i odvodní části. Zařízení je vyrobeno ve venkovním provedení s ochranou stříškou a základovým rámem.



Obrázek B.27 Axonometrický pohled VZT zařízení č.1 var. B [22]

ErP 2018

Součástí specifikace vzduchotechnického zařízení AeroMaster XP 13 ve výstupu ze softwaru AeroCad je také potvrzení, zda a jak zařízení splňuje požadavky ErP 2018. Navržená vzduchotechnická jednotka dosahuje:

Účinnost ZZT $\eta_{\min} = 73 \% < \eta = 78,5 \%$

Měrný příkon ventilátoru $SFP_{\text{limit}}=1035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s} > SFP = 373 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$

Specifikace zařízení

ID
 Projekt [Diplomova_prace] Diplomova_prace
 Číslo / Název zařízení 02 / VZT_B_tridy
 Určení jednotky Standardní prostředí



STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení

Druh, rozměr AeroMaster XP 13
 Řídicí jednotka VCS (Climatix) Ne

Nadmožská výška 237 m
 Hmotnost (+-10%) 1 656 kg
 Umístění VZT jednotky Vnější
 Materiálové provedení
 Vnější plášť Lakovaný plech (RAL 9002)
 Vnitřní plášť Pozinkovaný plech

	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	5500 m³/h	5500 m³/h
Externí tlaková rezerva	192 Pa	176 Pa
Rychlost v průřezu	1.74 m/s	1.74 m/s
Výkon motoru nominální	1.70 kW	1.70 kW
Typ motoru ventilátoru	EC motor	EC motor
1. stupeň filtrace	F7 / ISO ePM 2,5 >65%	F7 / ISO ePM 2,5 >65%
2. stupeň filtrace	-	-

SFP _W	554 W·m³·s	523 W·m³·s	Parametry pláště dle EN1886
SFP _{WAHU}	1077 W·m³·s		Mechanická stabilita D2(M)
			Netěsnost skříně L1(M)
			Netěsnost skříně (reál. jednotka) L3(R) @ -400Pa, L3(R) @ +400Pa
			Termická izolace T4(M)
			Faktor tepelných mostů TB3(M)
			Netěsnost mezi filtrem a rámem < 0,5 % (F9)

Model box AMXP3



Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 → 13.7 °C	80 %, 53.0 kW	180 W, frekvenční měnič je součástí dodávky
Ohřev	13.7 → 21.0 °C	13.4 kW	70/40 °C, Voda, 0.2 kPa, 0.39 m³/h, 1 1/2 "

Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

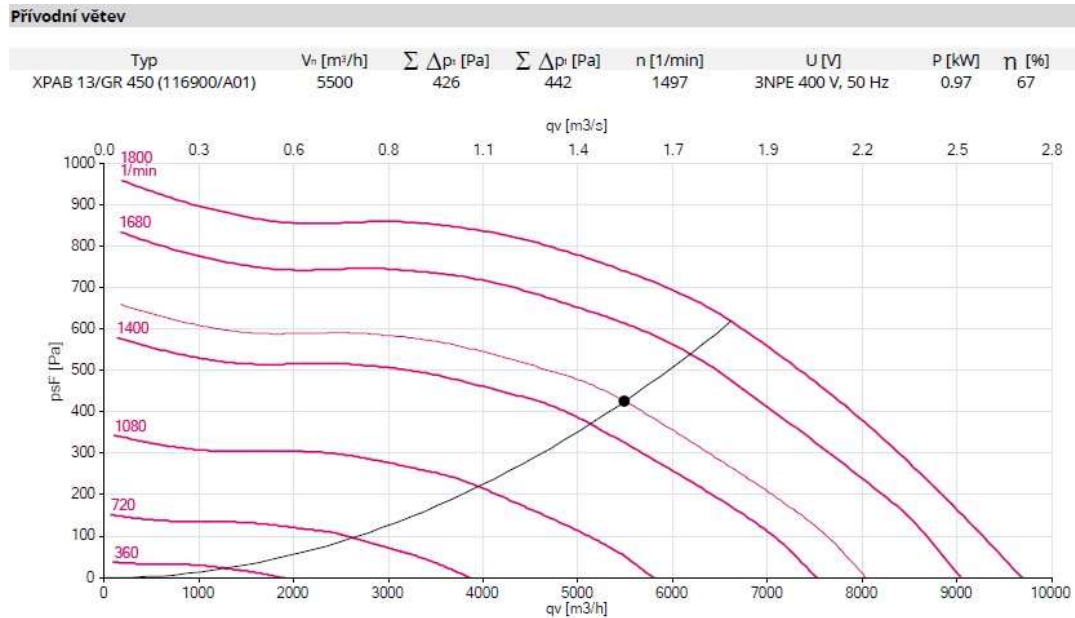
Hlukové parametry zařízení

Oktávové pásmo	LwAokt [dB(A)]								ΣLwA [dB(A)]
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	40	51	53	54	49	44	40	40	58
Přívod - výtlač	40	51	44	40	40	40	40	40	53
Přívod - okolí	40	45	44	41	40	40	40	40	51
Odvod - sání	40	44	40	40	40	40	40	40	50
Odvod - výtlač	41	59	58	64	63	59	55	43	69
Odvod - okolí	40	45	44	41	40	40	40	40	51

Obrázek B.28 Specifikace zařízení č.1 var. B [22]

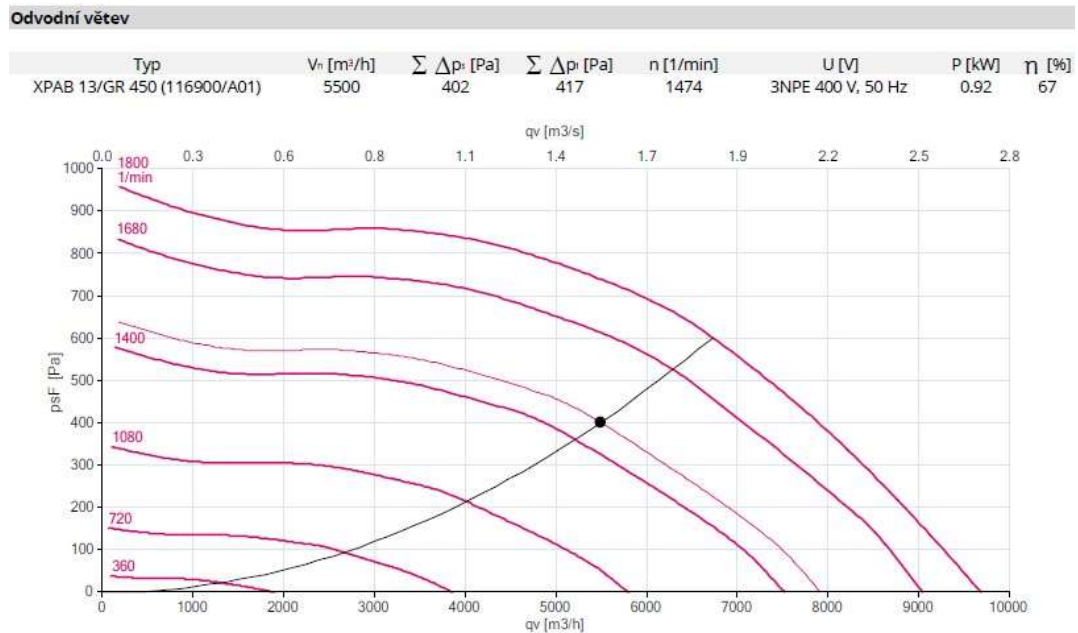
Ventilátory

Navržený ventilátor s EC motorem a jeho pracovní charakteristika pro přívodní větev. Ventilátor pracuje na 83 % maximálních otáček s účinností 67 %.



Obrázek B.29 Přívodní ventilátor zařízení č.1 var. B [22]

Navržený ventilátor s EC motorem a jeho pracovní charakteristika pro odvodní větev. Ventilátor pracuje na 82 % maximálních otáček s účinností 67 %.



Obrázek B.30 Odvodní ventilátor zařízení č.1 var. B [22]

Teplovodní ohřivač vzduchu

Výkon teplovodního ohřivače potřebný pro dohřátí přívodního vzduchu po průchodu rotačním výměníkem ZZT při návrhové teplotě $t_e = -12\text{ °C}$; $t_i = 20\text{ °C}$

$$t_p = 21\text{ °C}; t_{ZZT} = 4\text{ °C}; \rho = 1,2\text{ kg/m}^3; c = 1\,010\text{ J/(kg.K)}; V = 5\,500\text{ m}^3/\text{h} = 1,53\text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_p - t_{ZZT}) = 1,53 \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (21 - 4) = 31,52\text{ kW}$$

Vlhkostní bilance učebna

$n = 30$ osob; činnost v sedě = 1,2 met; $m_w = 25\text{ g/h}$ (obr. B19); $V = 900\text{ m}^3/\text{h} = 0,250\text{ m}^3/\text{s}$

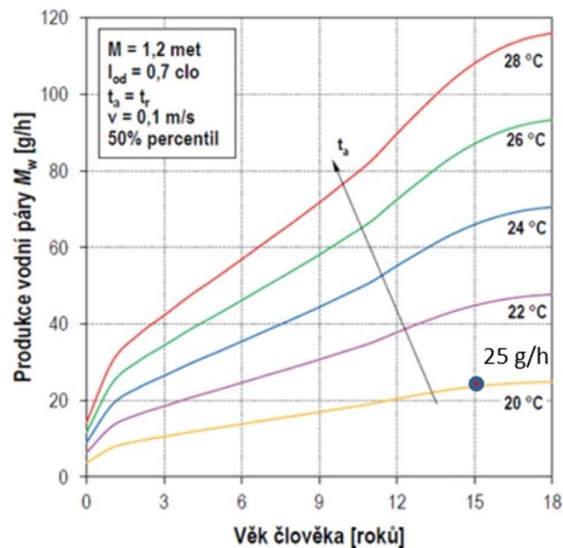
$$M_w = m_w \cdot n = 25 \cdot 30 = 750\text{ g/h} = 0,208\text{ g/s}$$

Měrná vlhkost

$$\Delta x = M_w / (\rho \cdot V) = 0,208 / (1,2 \cdot 0,250) = 0,694\text{ g/kg}$$

Tabulka B.22 Druhy činností ve školách a energetický výdej organismu [23]

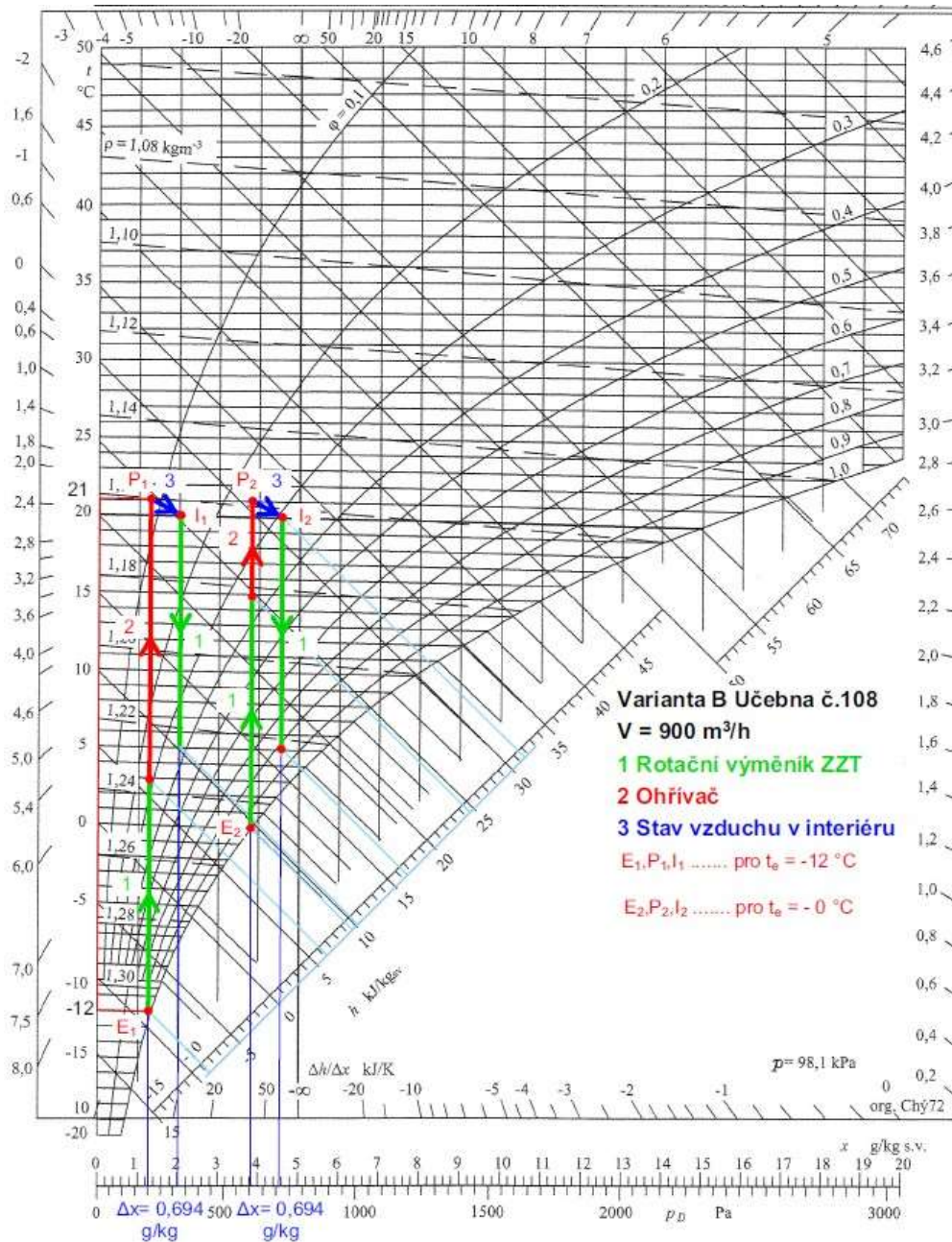
Lidská činnost	Prostory	M [met]	q_m [W/m ²]
Sezení uvolněné	zasedací místnosti	1,0	58
Činnost v sedě	učebny, jídelny	1,2	70
Lehká činnost vstoje	laboratoře	1,6	93
Chůze bez zátěže	chodby	1,9	110
Tělocvik	tělocvičny	3,0	174



Obrázek B.31 Produkce vodní páry od dětí a mladistvých v závislosti na věku a teplotě [23]

Návrhový h-x diagram

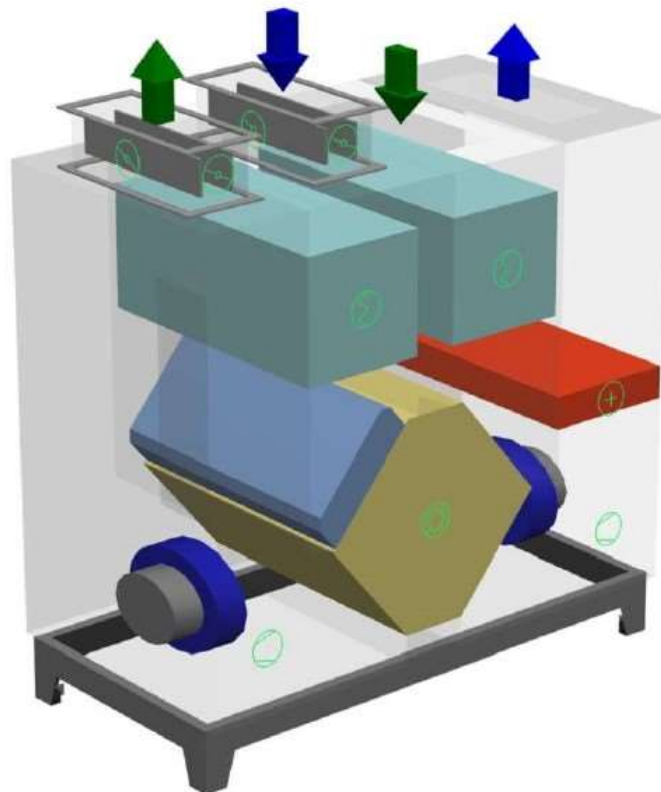
H-x diagram znázorňuje teplotní extrém ve variantě 1. V tomto extrému vodní zisky od žáků nedostačují na 30 % relativní vlhkosti, avšak tento extrém vzhledem k době provozu (není noční provoz) a lokalitě objektu nenastává. Drtivou většinu zimního provozu zařízení budou exteriérové podmínky odpovídat variantě 2 nebo lepší. Proto by nebylo ekonomické navrhovat zvlhčovač vzduchu.



Obrázek B.32 h-x diagram úprava vzduchu v učebně 108 var B

B.6.2.2 Zařízení číslo 2

Vzduchotechnické zařízení č.2 ve var. B zajišťuje teplovzdušné větrání a hygienickou výměnu vzduchu průtokem 670 m³/h v prostorách toalet a komunikačních prostor. Zařízení je z důvodu nedostatku prostoru umístěno na střeše školního objektu, a proto je vyrobeno ve venkovním provedení, k tomu je však ještě zapotřebí vytvořit kvalitní zastřešení, které není součástí dodávky. Dále zařízení obsahuje filtry třídy F7 na přívodní i odvodní větvi, rekuperační deskový výměník ZZT s obtokem, proti mrazovou ochranou a teplovodní ohřívač s teplotním spádem 70/50 pro případ dohřátí venkovního vzduchu v zimním období. Pro zajištění průtoku vzduchu v potrubí a překonání tlakové ztráty jsou navrženy na přívodní i odvodní větvi ventilátory s EC motory s plynulou regulací otáček z důvodu nižších nákladů na spotřebu elektřiny a tím i nákladů na provoz.



Obrázek B.33 Axonometrický pohled vzt zařízení č.2 var. B [22]

ErP 2018

Součástí specifikace vzduchotechnického zařízení Cake VZ-3 ve výstupu ze softwaru AeroCad je také potvrzení, zda a jak zařízení splňuje požadavky ErP 2018. Navržená vzduchotechnická jednotka dosahuje:

Účinnost ZZT $\eta_{\min} = 73 \% < \eta = 83,1 \%$

Měrný příkon ventilátoru $SFP_{\text{limit}}=1374 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s} > SFP = 459 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$

Specifikace zařízení

ID	
Projekt	[Diplomova_prace] Diplomova_prace
Číslo / Název zařízení	04 / VZT_B_wc_chodba
Určení jednotky	Standardní prostředí



STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení

Druh, rozměr	Cake VZ-3	
Řídicí jednotka VCS (Climatix)	Ano	
	Webové ovládání + mobilní aplikace pro OS A	
Nadmožská výška	237 m	
Hmotnost (+10%)	369 kg	
Umístění VZT jednotky	Vnější	
Materiálové provedení		
Vnější plášť	Pozinkovaný plech	
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech	
	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	670 m ³ /h	670 m ³ /h
Externí tlaková rezerva	133 Pa	151 Pa
Rychlost v průřezu	0.87 m/s	0.87 m/s
Výkon motoru nominální	0.50 kW	0.50 kW
Typ motoru ventilátoru	EC motor	EC motor
1. stupeň filtrace	F7 / ISO ePM 10 75 %	F7 / ISO ePM 10 75 %
2. stupeň filtrace		
SFP _{pr}	558 W·m ⁻³ ·s	625 W·m ⁻³ ·s
SFP _{wh}	1184 W·m ⁻³ ·s	
Nominální příkon ŘJ VCS	1.00 kW*	
Napájecí napětí ŘJ VCS	3×400V+N+PE 50Hz	
Nominální proud ŘJ VCS I _{max}	4 A*	



* Nominální příkon a proud je uveden bez zahrnutí vyvíječe páry, případně bez externí kondenzační jednotky/tepelného čerpadla apod. Pokud dále ve specifikaci ŘJ není uvedeno jinak, tato zařízení musí být jistěna a napájena mimo ŘJ VCS. Řídicí signály pro jejich ovládání (v případě, že tyto zařízení jsou příslušenstvím VZT jednotky) mohou být řešeny z ŘJ VCS, viz dále konfigurace řídicího systému, kde je typ řídicích signálů specifikován.

Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu		Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 -> 15.5 °C	86 %, 6.2 kW	
Ohřev	15.5 -> 21.0 °C	1.2 kW	70/50 °C, Voda, 1.0 kPa, 0.05 m ³ /h, 1/2"

Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

Hlukové parametry zařízení

	LwA _{okt} [dB(A)]								ΣLwA [dB(A)]
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	41	51	56	55	53	50	48	40	61
Přívod - výtlak	42	53	63	59	61	61	54	47	68
Přívod - okolí	40	40	42	40	40	40	40	40	49
Odvod - sání	43	51	58	58	56	53	51	42	63
Odvod - výtlak	44	53	63	60	61	60	53	47	68
Odvod - okolí	40	40	43	40	40	40	40	40	49

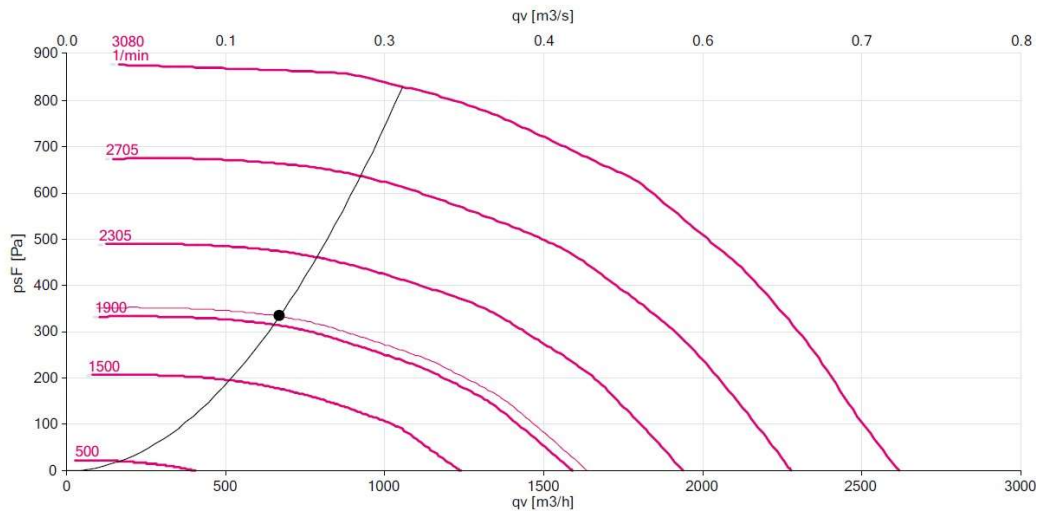
Obrázek B.34 Specifikace zařízení č.2 var. B [22]

Ventilátory

Navržený ventilátor s EC motorem a jeho pracovní charakteristika pro přívodní větev. Ventilátor pracuje na 63 % maximálních otáček s účinností 46 %.

Přívodní větev

Typ	V_v [m ³ /h]	$\sum \Delta p_s$ [Pa]	$\sum \Delta p_r$ [Pa]	n [1/min]	U [V]	P [kW]	η [%]
SUP-RH25C-6ID.BD.CR (114843)	670	334	339	1956	1NPE 230 V, 50 Hz	0.14	46

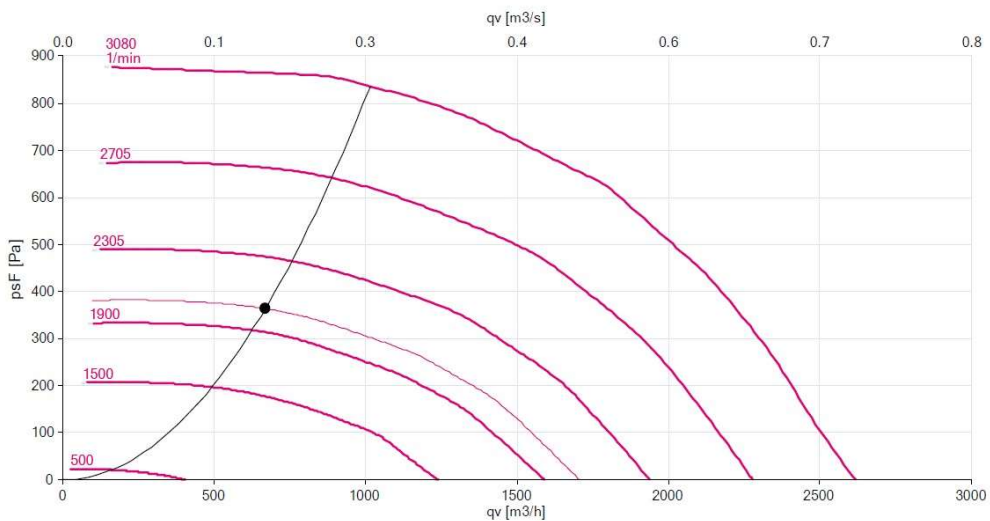


Obrázek B.35 Přívodní ventilátor zařízení č. 2 var. B [22]

Navržený ventilátor s EC motorem a jeho pracovní charakteristika pro odvodní větev. Ventilátor pracuje na 66 % maximálních otáček s účinností 45 %.

Odvodní větev

Typ	V_v [m ³ /h]	$\sum \Delta p_s$ [Pa]	$\sum \Delta p_r$ [Pa]	n [1/min]	U [V]	P [kW]	η [%]
EHA-RH25C-6ID.BD.CR (114843)	670	364	369	2035	1NPE 230 V, 50 Hz	0.15	45



Obrázek B.36 Odvodní ventilátor zařízení č.2 var. B [22]

B.6.3 Útlum hluku var. B

Vzduchotechnická zařízení jsou často zdrojem hluku, proto je potřeba posoudit, aby hodnoty akustického tlaku nepřekračovaly povolené limity uváděné v nařízení vlády č. 272/2011 Sb. včetně jeho úprav v pozdějším znění č. 217/2016 Sb. a č. 241/2018 Sb. Limitní hodnoty hluku v projektu jsou porovnávány s doporučenými hodnotami z normy. Limity hluku jsou v Tab. B10.

Posouzení hluku u přírodního a odvodního potrubí ve vnitřním i venkovním prostředí je posuzováno v následující tabulce.

Tabulka B.23 Výpočet akustické hladiny hluku pro odvodní potrubí zařízení č.1 var. B

Odvod - sání třídy Varianta B

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku a výkonu a útlumy v oktávnových pásmech								Součtová hladina
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	40	44	40	40	40	40	40	40	50
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	40	44	40	40	40	40	40	40	50
D _p	Přirozený útlum									
	Rovné potrubí 5 m	3,0	3,0	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
	Oblouky (3 ks)	0,0	0,0	3,0	6,0	9,0	9,0	9,0	9,0	
	Odbočka hlavní větve D1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Rovné potrubí 9,0 m	5,4	5,4	4,1	2,7	1,8	1,8	1,8	1,8	
	Odbočka k výústce D2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	
	Rovné potrubí 1,25 m	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	
	Odbočka D3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Rovné potrubí 2,5 m	1,5	1,5	1,1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Oblouk (1 ks)	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	
	Útlum koncovým odrazem	14,4	9,2	4,7	1,9	0,6	0,2	0,0	0,0	
	Hladina akustického výkonu	5	14	15	16	15	14	14	14	23
L _{V1}	Hladina akustického výkonu ve vyústce	6	14	15	16	15	14	15	15	23
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu vyústky									25
K	Korekce na počet vyústek					Počet vyústek (ks)			2	3
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek odvodu									30

Tabulka B.24 Výpočet akustické hladiny hluku pro přívodní potrubí zařízení č.1 var. B, součet obou potrubí

Přívod - výtlač třídy Varianta B

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku, výkonu a útlumu v oktávových pásmech								Součtová hladina
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	40	51	44	40	40	40	40	40	53
K _a	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	40	51	44	40	40	40	40	40	53
D _p	Přirozený útlum									
	Rovné potrubí 4,9 m	2,9	2,9	1,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
	Oblouk (2 ks)	0	0	2	4	6	6	6	6	
	Odbočka z hlavní větve D1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Rovné potrubí 13,5 m	8,1	8,1	6,1	4,1	2,7	2,7	2,7	2,7	
	Odbočka k výustce D2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	
	Rovné potrubí 3,25 m	2,0	2,0	1,5	1,0	0,7	0,7	0,7	0,7	
	Oblouk (1 ks)	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	
	Odbočka k výustce D3	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	
	Rovné potrubí 0,75 m	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
	Útlum koncovým odrazem	16,0	10,7	5,9	2,5	0,9	0,2	0,1	0,0	
	Hladina akustického výkonu	0	15	15	14	15	15	15	15	23
L _{V1}	Hladina akustického výkonu ve vyústce	3	15	15	15	15	15	15	15	23
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu vyústky									23
K	Korekce na počet vyústek					Počet vyústek (ks)			3	5
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek přívodu									31
L _{ws}	Hladina akustického výkonu všech vyústek									34
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost od vyústky k posluchači									1,7
A	Pohltivá plocha místnosti	Plocha povrchů místnosti (m ²)				223	Pohltivost (-)		0,2	45
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									25,3
L _{p,A}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									30 - 40

Tabulka B.25 Výpočet akustické hladiny hluku pro venkovní prostředí zařízení č.1 var. B

Odvod výtlač varianta B třídy

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku, výkonu a útlumu v oktávných pásmech								součtová hladina
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	41	59	58	64	63	59	55	43	68
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	41	59	58	64	63	59	55	43	68
D _p	Přirozený útlum									
	Rovné potrubí 0,5 m	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	Oblouky (1 ks)	0	0	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
	Útlum tlumič hluku 1,5 m									
	Hladina akustického tlaku	41	59	57	62	60	56	52	40	66
L _{V3}	Hladina akustického výkonu ve výústce	41	59	57	62	60	56	52	40	66
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu výústky									43
K	Korekce na počet výústek					Počet výústek (ks)			1	0
L _s	Hladina akustického výkonu všech výústek přívodu									66
L _{ws}	Hladina akustického výkonu všech výústek									66
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost od výústky k posluchači									10
A	Pohltivá plocha místnosti	Plocha povrchů místnosti (m ²)				0	Pohltivost (-)		0	0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									38,4
L _{pA}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									40

Tabulka B.26 Výpočet akustické hladiny hluku pro venkovní prostředí zařízení č.2 var. B

Odvod výtlač varianta B WC

ozn.	ŠÍŘENÍ HLUKU OD VENTILÁTORU DO MÍSTNOSTI	Hladiny akustického tlaku, výkonu a útlumy v oktávových pásmech								
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	součtová hladina
L _{VV}	Hluk ventilátoru									
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 1	44	54	63	59	61	61	54	48	68
L _{VV}	Hladina akustického výkonu zdroje 2									
L _{VV}	Součet	44	54	63	59	61	61	54	48	68
D _p	Přirozený útlum									
	Oblouky (2 ks)	0,0	0,0	0,0	2,0	4,0	6,0	6,0	6,0	
	Rovné potrubí 1 m	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	
	Hladina akustického tlaku	43	53	63	57	57	55	48	42	65
L _{V3}	Hladina akustického výkonu ve vyústce	43	53	63	57	57	55	48	42	65
L _{Vy}	Hladina akustického výkonu vyústky									35
K	Korekce na počet vyústek					Počet vyústek (ks)		1		0
L _s	Hladina akustického výkonu všech vyústek přívodu									65
L _{ws}	Hladina akustického výkonu všech vyústek									65
Q	Směrový činitel									2
r	Vzdálenost od vyústky k posluchači									10
A	Pohltivá plocha místnosti	Plocha povrchů místnosti (m ²)				0	Pohltivost (-)		0	0
L _{so}	Hladina akustického tlaku v místě posluchače									37,3
L _{pA}	Předepsaná hodnota hladiny akustického tlaku v místnosti									40

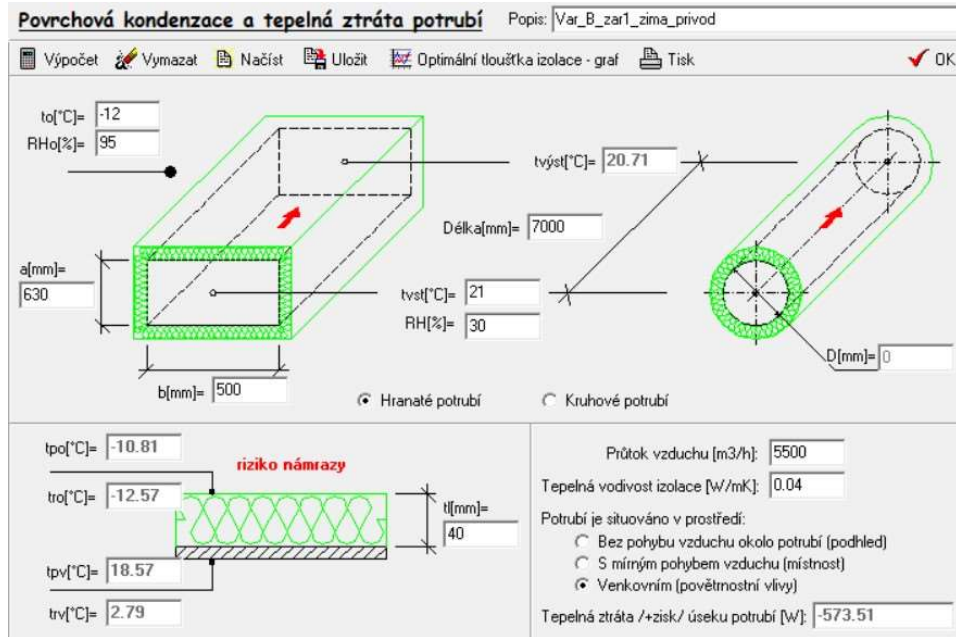
Závěr útlum hluku

V případě zařízení č.1 v interiéru je útlum tlumiče hluku u jednotky v součtu s útlumem v potrubí dostatečně vysoký, abychom nemuseli navrhovat další tlumiče hluku. Hluk dosahuje hodnot do 26 dB tím je bezpečně splněn požadavek normové hranice do 40 dB. V případě zařízení č. 2 je dodán na přívodní i odvodní potrubí kulisový tlumič o rozměrech 400x500x500. Ve venkovním prostředí je posuzováno potrubí na výtlaču obou zařízení č.1 a č.2, kde vzniká vyšší hladina akustického výkonu zdroje. Hluk na výtlaču nabývá v obou případech hodnot do 39 dB v místě posluchače, které je vzdálené minimálně 10 m od střešní hlavice. Z tohoto důvodu není potřeba navrhovat tlumiče do vnějšího prostoru.

B.6.4 Tepelná izolace potrubí var. B

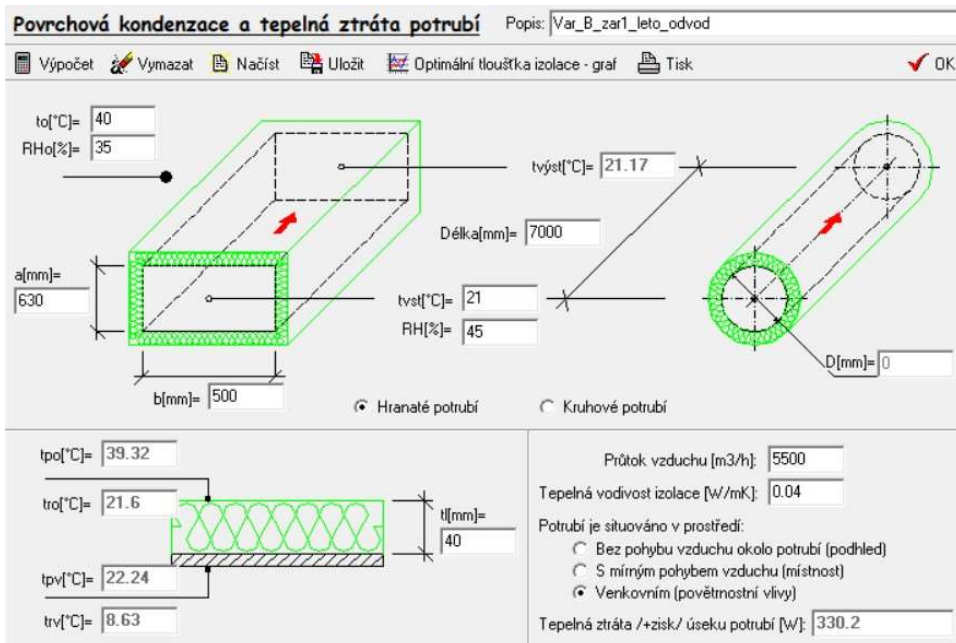
Tepelná izolace bude zřízena na výtlačku přívodního potrubí i na sání odvodního potrubí obou zařízení z důvodu umístění vzduchotechnických jednotek na střeše objektu. Navrhuje se aby došlo k eliminaci tepelných ztrát v zimě a nadbytečných tepelných zisků v létě. Tepelná izolace pro zařízení č. 1 je tloušťky 40 mm i pro zařízení č. 2 tloušťky 40 mm.

Izolace přívodního potrubí zař.1 zimní období



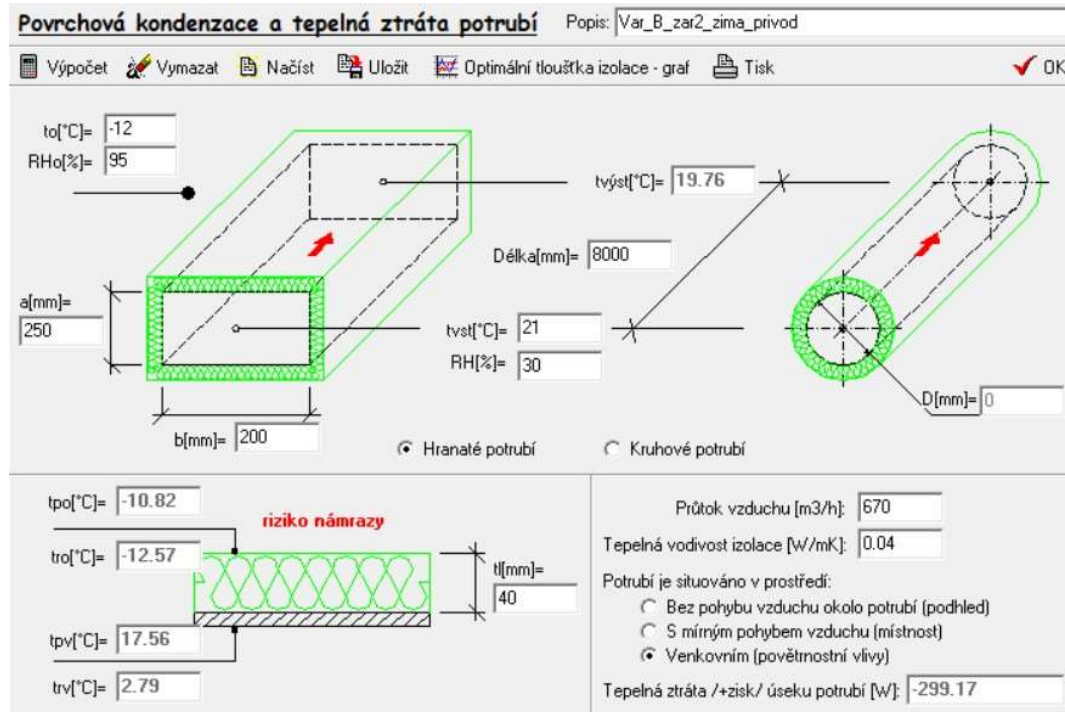
Obrázek B.37 Izolace přívodního potrubí zař.1 zimní období [28]

Izolace odvodního potrubí zař.1 letní období



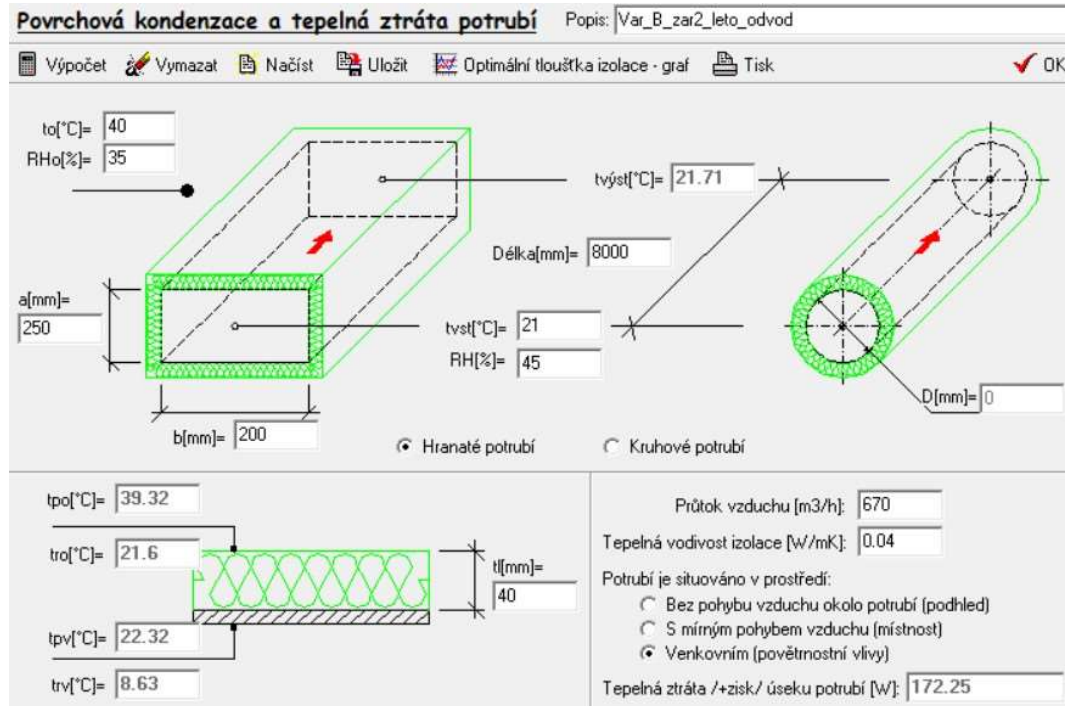
Obrázek B.38 Izolace odvodního potrubí zař.1 letní období [28]

Izolace přívodního potrubí zař.2 zimní období



Obrázek B.39 Izolace přívodního potrubí zař.2 zimní období [28]

Izolace odvodního potrubí zař.2 letní období



Obrázek B.40 Izolace odvodního potrubí zař.2 letní období [28]

B.6.5 Technická zpráva var. B

B.6.5.1 Úvod

Předmětem projektu je návrh řešení rovnotlakého teplovzdušného větrání dvoupodlažního objektu školy v Brně. Jsou navržena dvě vzduchotechnická zařízení tak, aby byly zajištěny předepsané hygienické hodnoty výměny vzduchu. A návrh mikroklimatu daných místností vyhovoval požadavkům legislativy.

B.6.5.2 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování je projektová dokumentace stavební části. Dokumentace obsahuje půdorysy 1. NP, 2. NP a příčný řez. Součástí podkladů jsou příslušné zákony, prováděcí vyhlášky, české technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení.

- Nařízení vlády č. 32/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci
- Nařízení vlády č. 241/2018 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb.
- Nařízení vlády č. 217/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- Vyhláška 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb
- Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- Vyhláška č. 20/2012 Sb., kterou se mění vyhláška 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby
- ČSN 12 7010/Z1 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení (2014)
- ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov (2005)
- ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- Podklady od výrobců:
 - Lindab s.r.o.
 - Remak, a.s.

B.6.5.3 Výpočtové hodnoty venkovní prostředí

- Místo: Brno
- Nadmořská výška: 237 m n. m.
- Normální tlak vzduchu: 98,8 kPa
- Výpočtová teplota vzduchu: zima: -12 °C, relativní vlhkost: 95%

B.6.5.4 Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí

Hodnota vnitřní teploty v prostředí učeben je 20 °C s relativní vlhkostí minimálně 30 %. V prostorách chodeb a toalet je teplota vzduchu 19 °C s relativní vlhkostí minimálně 30 %. Hladina akustického tlaku se v učebnách může přiblížit maximálně ke 40 dB, v ideálním případě se hladina akustického tlaku pohybuje kolem 35 dB nebo lépe 30 dB. V prostorech chodby hladina

akustického tlaku nesmí překročit hodnotu 50 dB. Hladina akustického tlaku ve vnějším prostoru v denní době je nižší než 50 dB, v noci je nižší než 40 dB.

B.6.5.5 Požadavky na nucené větrání

Množství čerstvého vzduchu přiváděného do objektu je navrženo podle přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. Množství přiváděného vzduchu na jednoho žáka navrhováno 30 m³/h.

Tabulka B.27 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]

Typ prostoru	Množství vzduchu [m ³ .hod ⁻¹]
Učebny	20-30 na 1 žáka
Tělocvičny	20-90 na 1 žáka
Šatny	20 na 1 žáka
Umývárny	30 na 1 umyvadlo
Sprchy	150-200 na 1 sprchu
Záchody	50 na kabinu, 25 na pisoár

B.6.5.6 Základní koncepční řešení

Projektová dokumentace se zabývá řešením teplovzdušného větrání části objektu střední školy. K tomuto účelu jsou navržena dvě vzduchotechnická zařízení. Pro první část objektu obsahující učebny a kabinety je navrženo rovnotlaké vzduchotechnické zařízení umístěné na střeše objektu. Prostory učeben jsou navrženy jako rovnotlaké. Pro druhou část objektu skládající se z chodeb a toalet je rovnotlaké vzduchotechnické zařízení umístěno také na střeše. Na toaletách je navrženo podtlakové větrání, jehož lokální podtlak je eliminován přetlakovým větráním v komunikačních prostorech. Zařízení dva funguje v režimu přestávek a deseti minutovým doběhem. Provoz vzduchotechnických zařízení je řízen samostatným systémem MaR.

B.6.5.7 Energetické zdroje

Elektrická energie

Elektrická energie je užívána pro pohon elektromotorů ventilátorů, teplovodního čerpadla, rotačního výměníku ZZT a ovládacích prvků.

Tepelná energie

Pro ohřev vzduchu v teplovodních ohřívacích se používá topná voda o teplotě 70/50 °C.

B.6.5.8 Popis technického řešení

Navržené systémy VZT jsou řešeny jako rovnotlaké zařízení. Vzduchotechnické zařízení jsou ve venkovním provedení umístěné na střeše objektu na nosné ocelové konstrukci s obslužnou plochou. Pro zařízení č. 2 je potřeba zřídit kvalitní zastřešení. Zařízení jsou vybaveny výměníkem ZZT, vodním ohřívacem, filtry na odvodu a přívodu, stavitelným 300 mm vysokým rámem a ochrannou stříškou pouze v případě zařízení č.1

Dopravovaný vzduch ze střechy do jednotlivých místností objektu je veden ve čtyřhranném potrubí. U některých koncových elementů se pro spojení mezi čtyřhranným potrubím a koncovým

elementem používá ohebné flexi potrubí. Tepelná izolace z minerální vaty tloušťky 40 mm bude umístěna na odvodním a přívodním potrubí v exteriéru. Na výtlaku odvodního potrubí jsou pro odvod vzduchu osazeny střešní hlavice a na sání přívodního vzduchu je zkosené potrubí se sítí proti vniknutí ptactva.

V objektu je pro přívod vzduchu do učeben využito obdélníkových mřížek s plenum boxem a k odvodu vzduchu obdélníkových mřížek připojených na odvodní potrubí. V prostorech chodby jsou pro přívod vzduchu použity vířivé difuzory a pro odvod vzduchu na toaletách jsou navrženy talířové ventily se čtvercovým čelním krytem.

Zařízení č. 1 – rovnotlaké teplovzdušné větrání

Teplovzdušné větrání zařízením č.1 je navrženo pro hygienickou výměnu vzduchu v prostoru učeben a kabinetů. Objem přiváděného i odváděného vzduchu je shodný 5 500 m³/h. Pro obsluhované místnosti bylo vybráno sestavné vzduchotechnické zařízení AeroMaster XP 13 od firmy Remak, a.s.

V zařízení je na přívodu i odvodu vzduchu osazen filtr třídy F7. Dále je osazen rotační regenerační výměník zpětného získávání tepla, ventilátor na přívodu i odvodu s EC motory s proměnlivými otáčkami a vodní ohřivač s teplotním spádem 70/50 °C. Na přívodním i odvodním potrubí jsou osazeny tlumiče hluku, které jsou součástí vzduchotechnického zařízení. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR.

Zařízení č. 2 – rovnotlaké teplovzdušné větrání

Teplovzdušné větrání zařízením č.2 je navrženo pro hygienickou výměnu vzduchu v prostoru chodeb a toalet. Na chodbách vzniká přetlakové větrání a na toaletách podtlakové větrání. Celý objekt i zařízení je vzhledem k okolnímu prostředí rovnotlaké. Pro vyrovnávání tlaků jsou mezi chodbami a toaletami doplněny do zdi obdélníkové protipožární větrací mřížky. Objem přiváděného i odváděného vzduchu je shodný 670 m³/h. Pro obsluhované prostředí bylo vybráno kompaktní vzduchotechnické zařízení Cake VZ – 3 od firmy Remak, a.s.

V zařízení jsou na přívodu i odvodu vzduchu osazeny filtry třídy F7. Dále je osazen deskový výměník zpětného získávání tepla, ventilátor na přívodu i odvodu s EC motory s proměnlivými otáčkami a vodní ohřivač s teplotním spádem 70/50 °C. Na přívodním i odvodním potrubí jsou osazeny tlumiče hluku 400x500x500, které nejsou součástí dodávky vzduchotechnického zařízení. Ovládání a regulaci zajistí profese MaR.

B.6.5.9 Měření a regulace

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace – profese MaR:

- ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení
- regulace vzduchu řízením výkonu teplovodního ohřivače v zimním období
- umístění teplotních čidel podle požadavku
- protimrazová ochrana deskového výměníku nastavením obtokové klapky
- protimrazová ochrana rotačního výměníku

- ovládání uzavíracích klapek na jednotce
- protimrazová ochrana teplovodního výměníku, měření na straně vzduchu i vody, při poklesnutí teploty:
 - vypnutí ventilátoru
 - uzavření klapek
 - otevření třicestného ventilu
 - spuštění čerpadla
- signalizace bezporuchového chodu ventilátoru pomocí diferenčního snímače tlaku
- plynulá regulace výkonu ventilátorů 0-10 V
- snímání signalizace zanesení filtrů
- poruchová signalizace
- regulace a signalizace stavu na jednom centrálním stanovišti

B.6.5.10 Nároky na související profese

Stavební úpravy

Požadavek na nosnou ocelovou konstrukci pro zařízení č. 1 i č. 2, s obslužnou plochou, vyvýšenou 600 mm nad úroveň střešního pláště a umístěnou pod základovým rámem vzduchotechnické jednotky na střeše budovy. Pro zařízení č. 2 je potřeba zřídit i kvalitní zastřešení prostoru nad vzduchotechnickým zařízením.

Zajištění prostupů v místě křížení vzduchotechnického potrubí se stavebními konstrukcemi. Obložení a dotěsnění prostupů VZT. Zřízení revizních otvorů v šachtách a podhledech v místě požárních a regulačních klapek.

Silnoproud

Požadavek na zajištění připojení, spínání i uzemnění vzduchotechnického systému a jeho částí.

Vytápění

Požadavek na připojení ohříváčů VZT jednotek na topnou vodu včetně regulačních armatur.

Zdravotechnika

Zajištění odvodu kondenzátu ze vzduchotechnických zařízení.

B.6.5.11 Protihluková a protitřesová opatření

Veškeré jednotky budou pružně uloženy, pro zabránění šíření otřesů. Potrubí bude připojeno k VZT zařízením pomocí tlumících vložek. V případě zař. 2 jsou doplněny na přívodní i odvodní potrubí tlumiče hluku, které nejsou součástí VZT zařízení. V případě zař. č. 1 jsou tlumiče hluku součástí dodávky.

B.6.5.12 Izolace

Pro tepelnou izolaci potrubí ve venkovním prostředí je navržena minerální vlna s tepelnou vodivostí 0,04 W/m.K. Přívodní i odvodní potrubí je zaizolováno tepelnou izolací tloušťky 40 mm. Izolace ve venkovním prostředí je oplechována pozinkovaným plechem

B.6.5.13 Protipožární opatření

Do míst prostupů potrubních rozvodů mezi jednotlivými požárními úseky budou vloženy požární klapky. Při umísťování požárních klapek je potřeba dodržovat požárně bezpečnostní řešení. Všechny prostupy budou dotěsněny protipožární ucpávkou požadované odolnosti. Mezi prostory chodby a toalet (mezi místnostmi 102-105, 104-105, 202-204, 204-205) budou osazeny protipožární větrací mřížky rozměrů 400x200 mm pro vyrovnání tlaků v objektu.

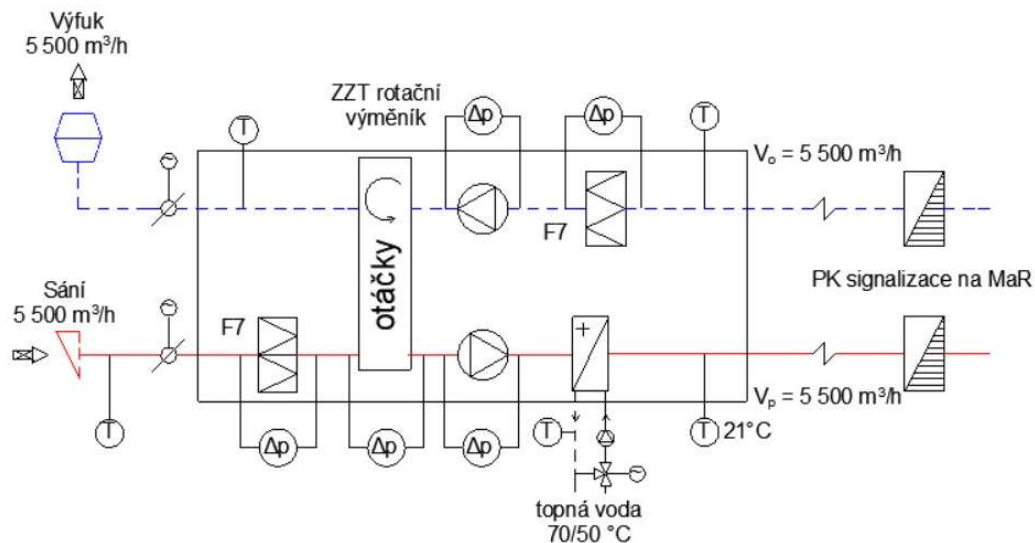
B.6.5.14 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

Z důvodu prostorových nároků se vzduchotechnické potrubí provádí před ostatními instalacemi do podhledu. Při montáži vzduchotechnického systému se musí dbát na bezpečnostní opatření dle platných předpisů a norem. Montáž musí probíhat v souladu s podklady od výrobce a projektovou dokumentací. Montáž celého systému provádí odborná montážní firma. Zaregulování probíhá současně s profesí MaR. Zařízení VZT musí být pravidelně kontrolováno a servisováno. Na základě kontrol zanesení filtrů budou probíhat výměny. Obsluha vzduchotechnických zařízení může být prováděna pouze proškolenou osobou. Řízení a regulace zařízení je zajišťována samostatným systémem MaR.

B.6.5.15 Závěr

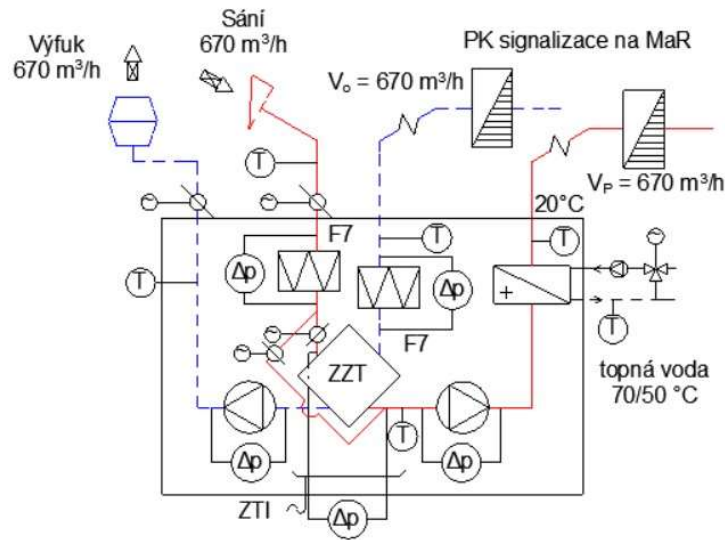
Obě vzduchotechnická zařízení a rozvody byly navrženy, aby zabezpečily hospodárnost provozu podle platných vyhlášek a norem, typu a charakteru budovy, pro zajištění nároků hygienických výměn vzduchu a pro zajištění tepelné pohody prostředí v daném objektu.

B.6.6 Schémata zařízení var. B



Obrázek B.41 Schéma zařízení 1 var. B

ZAŘÍZENÍ 2 VARIANTA B



Obrázek B.42 Schéma zařízení 2 var. B

B.7 Porovnání navržené varianty A s variantou B

B.7.1 Provoz ventilátorů zařízení

Obě varianty mají hlavní provozní čas od 8:00 do 14:00. Ve variantě A pracují ventilátory podle regulace průtoku vzduchu v učebnách a při přestávkách s desetiminutovým doběhem přibude k provozu průtok pro obsluhu toalet a komunikačních prostor. Ze zkušenosti z experimentální části si snížíme regulaci průtoku vzduchu otáčky ventilátoru o 15% protože v návrhu bylo pro zjištění minimální úspory navrhována výměna vzduchu 30 m³/h.os, která přesahuje kompenzaci CO₂.

Varianta A bez snížení nákladů regulací průtoku

	příkon	provoz	kWh/den
Provoz pouze učeben	1,27 kW + 1,25 kW	3,83 h	9,65
Provoz všech prostor	1,8 kW + 1,77 kW	2,17 h	7,75
			17,4 kWh/den

Varianta A se sníženou spotřebou při snížení průtoku o 15 %

	příkon	provoz	kWh/den
Provoz pouze učeben	0,78 kW + 0,77 kW	3,83 h	5,9
Provoz všech prostor	1,11 kW + 1,09 kW	2,17 h	4,76
			10,66 kWh/den

Ve variantě B je pro zařízení číslo 1 konstantní průtok pro hygienickou výměnu vzduchu v učebnách po celou dobu školního dne, zařízení číslo 2 funguje v režimu přestávek s desetiminutovým doběhem (velká přestávka 20 minut, 5 x malá 10 minut).

Varianta B	příkon	provoz	kWh/den
Provoz učebny	0,92 kW + 0,97 kW	6 h	11,34
Provoz toalety a chodby	0,14 kW + 0,15 kW	2,17 h	0,63
		Součet	11,97 kWh/den

Tabulka B.28 Souhrn spotřeby příkonu na ventilátorech za školní rok

Provoz	VarA [kW/h]	VarB [kW/h]
1 den	10,66	11,97
200 dní	2132	2394

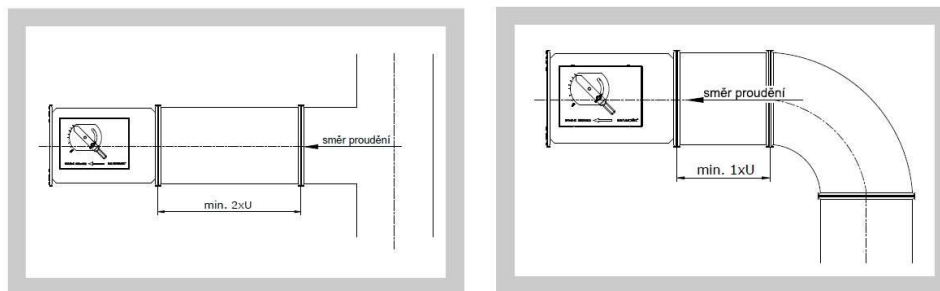
Minimální rozdíl v ročním provozu mezi variantou A a B činí 262 kWh což je snížení o 11 % dodané energie. Větší úspory by se dosáhlo, když by byla navržena hodnota výměny vzduchu blížíící se shora ke 20 m³/h.os. V tu chvíli by pokles průtoku vzduchu ovlivněné regulací CO₂ byl o méně procent oproti navrženému pracovnímu bodu a tím by i pracovní bod ventilátoru zůstával blíže optimálnímu bodu účinnosti. Se snížením průtoku vzduchu také souvisí snížení zanášení filtračních vložek vzduchotechnického zařízení. Další úsporu by způsobilo navýšení povolené koncentrace CO₂ blíže k hranici 1 500 ppm a tím by se i snížil průtok vzduchu.

B.7.2 Hluk

Z hlediska hluku je větší pozornost potřeba přikládat variantě A s variabilní regulací průtoku vzduchu. Regulátory průtoku vzduchu jsou dalšími producenty hluku zařazenými v soustavě, proto je potřeba jejich hluk tlumit dodatečnými tlumiči hluku. Ve variantě B stačí utlumit hlavním tlumičem hluku vlastní hluk vzduchotechnické jednotky.

B.7.3 Prostorové nároky a náklady s tím spojené

Prostorové nároky v interiéru jsou vyšší pro variantu A. Je to z důvodu dodržení konstrukčních zásad pro osazení regulátorů průtoku vzduchu a potřeby tlumiče pro utlumení jejich vlastního hluku. Tím naroste množství prvků v soustavě i délka rozvodu a s tím související dopravní tlak.



* U - úhlopříčka

Obrázek B.43 Konstrukční zásady pro regulátor průtoku

Na střeše však potřebuje více místa varianta B, protože obsahuje dvě vzduchotechnická zařízení s potrubní sítí a s tím související dvě vyvýšené obslužné plochy, v případě menší jednotky Cake potřeba i se zastřešením. Dále je použito většího množství tepelné izolace a více prostupů střešním pláštěm.

Z hlediska prostoru u rekonstruovaných objektů má výhodu varianta B, ale ekonomické hledisko se srovnává ve prospěch varianty A tím, že ve variantě B jsou náklady na pořízení dvou vzduchotechnických zařízení.

B.7.4 Požadavky na MaR

Pro variantu A je pro správný chod vzduchotechnického zařízení velmi důležitá kooperace s profesí MaR. Při nesprávné kooperaci přestává být regulace průtoku funkční a tím se i ztrácí výhoda oproti variantě B.

B.7.5 Vlhkostní bilance a ZZT

Při nízkých teplotách, kdy vlhkostní zisky interiéru hraničně kompenzují suchost vzduchu z exteriéru má výhodu zařízení varianty A, které variabilním průtokem vzduchu koriguje odvlhčení prostoru. V případě účinnosti ZZT má lepší vlastnosti regenerační výměník v zařízení číslo 1 ve variantě B, který využívá k výměně teplo citelné i latentní.

B.7.6 Vliv na osoby vnitřního prostředí

Žáci školy nepociťují rozdíl mezi variantou A a variantou B. Jediný rozdíl je v tom, že varianta B obsluhuje i prostory kabinetů, zatím co varianta A spoléhá v prostoru kabinetů na přirozené větrání okny. Můžeme si to dovolit v souladu s nařízením vlády č. 93/2012 podle které nejsou kabinety trvalým pracovištěm osob. Ve variantě A není navrženo větrání kabinetů z důvodu nízkých průtoků vzduchu a tím způsobené nemožnosti regulace průtoku.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

VENTILÁTORY V TECHNICE PROSTŘEDÍ

FANS IN HVAC SYSTEMS

C) EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

SECTION OF THEORETICAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zdeněk Lechnýř

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

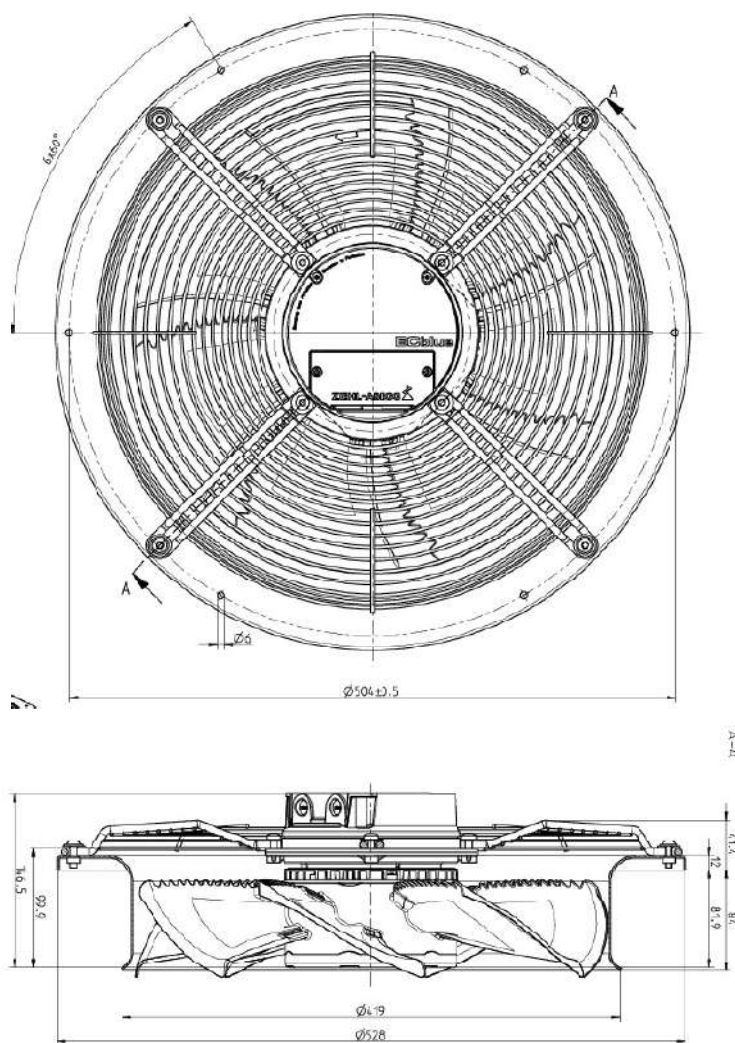
BRNO 2023

C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je rozdělena do dvou částí. První část probíhala v laboratorních podmínkách, kde došlo k měření charakteristik potrubní sítě a vlastností ventilátoru. Naměřené hodnoty se porovnávaly s hodnotami udávanými výrobcem a použily se k výpočtu účinností axiálního ventilátoru za různých podmínek. Dále se hodnoty ventilátoru porovnávali s požadavky ErP. Ve druhé části se experiment s využitím poznatků o efektivnosti použití ventilátoru, přesouvá mimo laboratorní podmínky a odehrává se na základní škole poblíž Prahy.

C.1 Charakteristické vlastnosti konkrétního axiálního ventilátoru

Měření probíhalo v laboratorních podmínkách na ústavu Technického zařízení budov na fakultě stavební v Brně. Pro měření byl použit axiální ventilátor se srpovitými lopatkami od firmy Ziehl – A begg s regulátorem spojitého otáčení o průměru oběžného kola 400 mm, hmotností 9,80 kg, maximálními otáčkami $1\,800\text{ min}^{-1}$ a příkonem 0,42 kW.



Obrázek C.1 Axiální ventilátor průměr 400 mm [29]

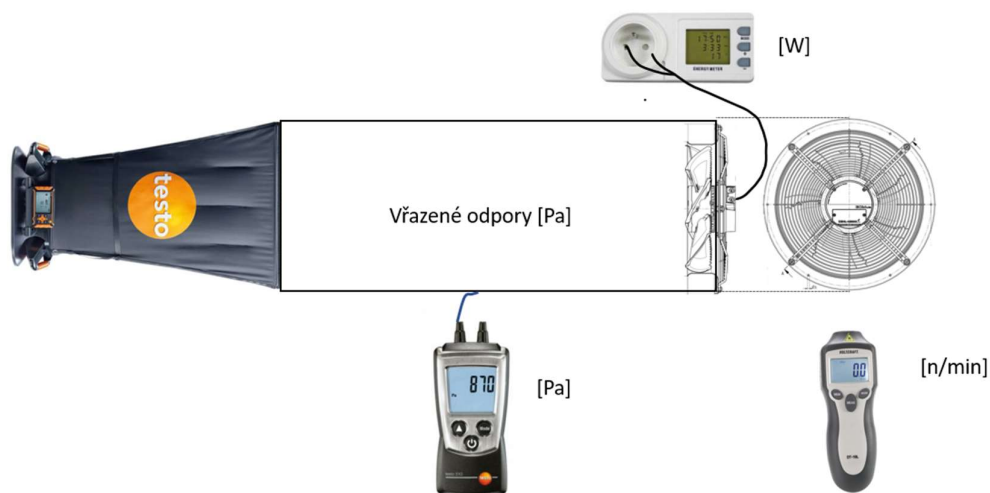
Axiální ventilátor poháněný EC motorem byl zapojen, dle nařízení (EU) č. 327/2011, v provedení „C“ – ventilátor s potrubím na vstupu a volným výstupem.

Tabulka C.1 Vzorce pro výpočet účinnosti axiálního ventilátoru podle (EU) č. 327/2011 [11]

Fan type	Mounting condition (A-D)	Efficiency (static or overall)	Power range P ₁ in kW	Minimum efficiency	Efficiency N 01.01.2013	Efficiency N 01.01.2015
Axial fan	A, C	Static	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 2,74 \cdot \ln(P_1) - 6,33 + N$	36	40
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 0,78 \cdot \ln(P_1) - 1,88 + N$		
	B, D	Overall	$0,125 \leq P_1 \leq 10$	$\eta_{min} = 2,74 \cdot \ln(P_1) - 6,33 + N$	50	58
			$10 < P_1 \leq 500$	$\eta_{min} = 0,78 \cdot \ln(P_1) - 1,88 + N$		

C.1.1 Schéma zapojení a měřicí pomůcky

Měřeným zařízením je axiální ventilátor vybavený krytem ve smyslu nařízení (EU) č. 327/2011 v montážní poloze typ „C“



Obrázek C.2 Schéma měření ventilátoru

K měření objemového průtoku vzduchu čtyřhranným potrubím se použil balometr, k měření statického tlaku byl použit tlakoměr, na motoru ventilátoru se měřil příkon a optickou metodou se měřil počet otáček za minutu.

Použité měřicí přístroje a měřené hodnoty

Wattmetr EMOS FHT 9999

příkon ventilátoru [W]

Laserový otáčkoměr Voltcraft DT-10LN/A

otáčky ventilátoru [min^{-1}]

Měřič diferenčního tlaku Testo 435-4

dopravní tlak [Pa]

Balometr Testo 420

objemový průtok [m^3/h]

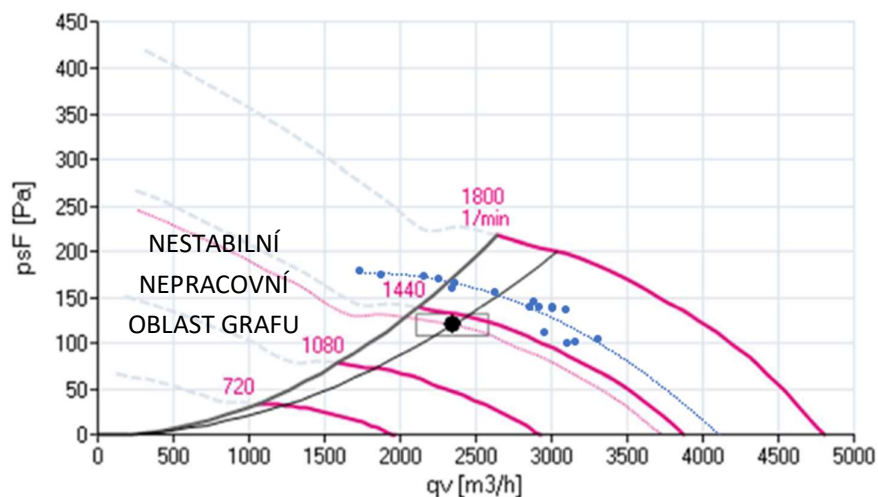
C.1.2 Měření tlakové charakteristiky ventilátoru

Měření probíhalo za konstantních otáček ventilátoru. Balometr se přiložil k sacímu potrubí ventilátoru (viz schéma zapojení) aby se získaly hodnoty objemového průtoku vzduchu V [m^3/h], pomocí tlakového čidla se měřily hodnoty dopravního tlaku v potrubí [Pa] a Wattmetrem byl měřen příkon ventilátoru. Do potrubí se vkládala vřazená tlaková ztráta pomocí zakrývání části průtočného průřezu papírovým kartonem. Průtočná plocha byla takto několikrát změněna a naměřené hodnoty byly zaznamenávány do následující tabulky.

Tabulka C.2 Naměřené hodnoty pro konstrukci charakteristiky ventilátoru

V [m^3/h]	p [Pa]	P [W]
3100	100	226
2850	140	243
2340	160	268
2350	165	268
2250	170	273
2150	173	274
1870	175	276
1730	179	277
2880	145	236
3090	137	231
3000	138	238
2911	140	240
3000	140	233
3150	102	232
2950	112	239

Z naměřených hodnot objemového průtoku a dopravního tlaku byla zkonstruována tlaková charakteristika ventilátoru a porovnána s charakteristikou od výrobce. Vše bylo proloženo do jednoho grafu. Modře jsou v grafu vyznačeny naměřené hodnoty při konstantních otáčkách ventilátoru.



Obrázek C.3 Tlaková charakteristika od výrobce proložena naměřenými hodnotami

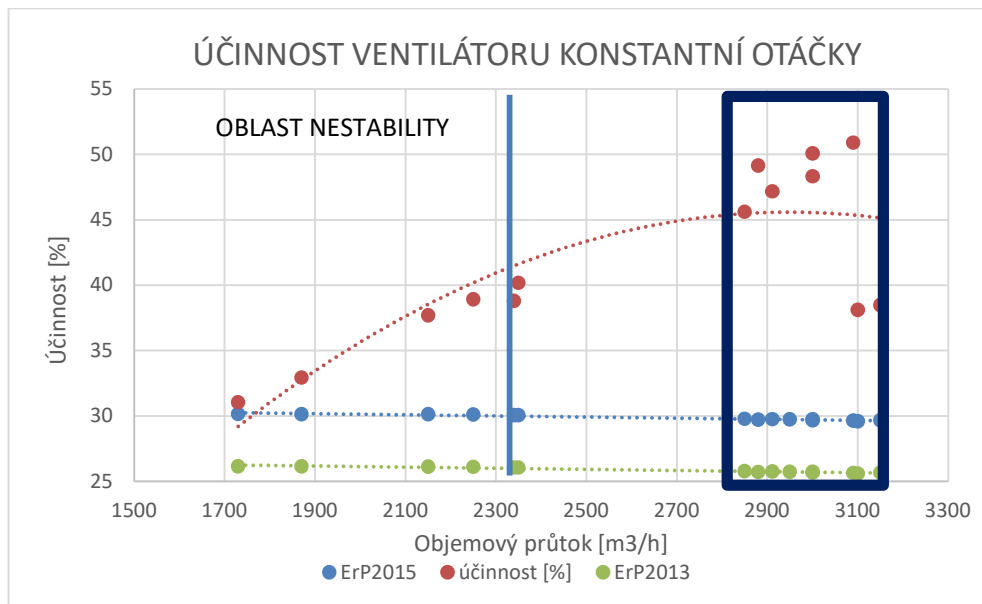
C.1.3 Výpočet účinnosti ErP

Po proložení grafu od výrobce naměřenými hodnotami lze dopočítat účinnost zkoumaného axiálního ventilátoru a porovnat ji s požadovanou účinností dle nařízení (EU) č. 327/2011 v montážní poloze „C“.

Tabulka C.3 Účinnost ventilátoru a jeho porovnání s limity ErP 2013 i 2015

V [m ³ /h]	V [m ³ /s]	statický tlak [Pa]	výkon [W]	P [W]	účinnost [%]	ErP2013	ErP2015	
3100	0,861	100	86,11	226	38,1	25,6	29,6	ok
2850	0,792	140	110,83	243	45,6	25,8	29,8	ok
2340	0,650	160	104,00	268	38,8	26,1	30,1	ok
2350	0,653	165	107,71	268	40,2	26,1	30,1	ok
2250	0,625	170	106,25	273	38,9	26,1	30,1	ok
2150	0,597	173	103,32	274	37,7	26,1	30,1	ok
1870	0,519	175	90,90	276	32,9	26,1	30,1	ok
1730	0,481	179	86,02	277	31,1	26,2	30,2	ok
2880	0,800	145	116,00	236	49,2	25,7	29,7	ok
3090	0,858	137	117,59	231	50,9	25,7	29,7	ok
3000	0,833	138	115,00	238	48,3	25,7	29,7	ok
2911	0,809	140	113,21	240	47,2	25,8	29,8	ok
3000	0,833	140	116,67	233	50,1	25,7	29,7	ok
3150	0,875	102	89,25	232	38,5	25,7	29,7	ok
2950	0,819	112	91,78	239	38,4	25,7	29,7	ok

Pro názornost jsou účinnosti a hodnoty ErP vyneseny v následujícím grafu. Při zvyšování tlakové ztráty se snižuje objemový průtok vzduchu a také se snižuje účinnost.



Obrázek C.4 Účinnost ventilátoru při konstantních otáčkách

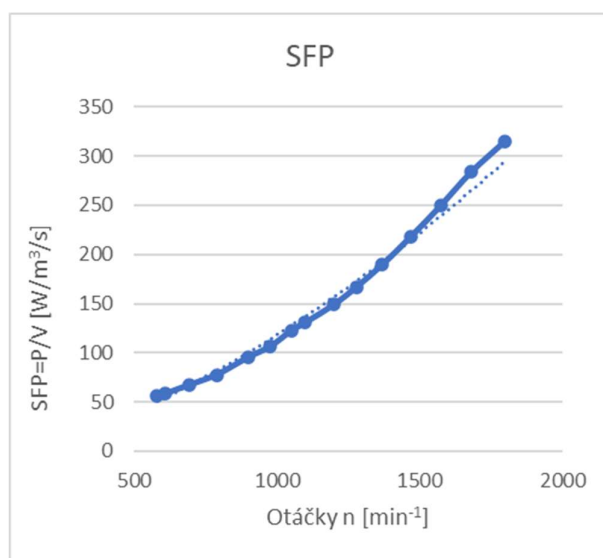
C.1.4 Měření veličin v závislosti na otáčkách ventilátoru

V této části experimentu byly postupně naměřeny hodnoty objemového průtoku, dopravního tlaku i příkonu ventilátoru, vždy v závislosti na změřených otáčkách ventilátoru. Otáčky ventilátoru byly nastavovány změnou řídicího napětí. Z naměřených hodnot byly dopočítány hodnoty měrné spotřeby energie ventilátoru SFP.

Tabulka C.4 Naměřené vlastnosti ventilátoru v závislosti na otáčkách a dopočítané SFP

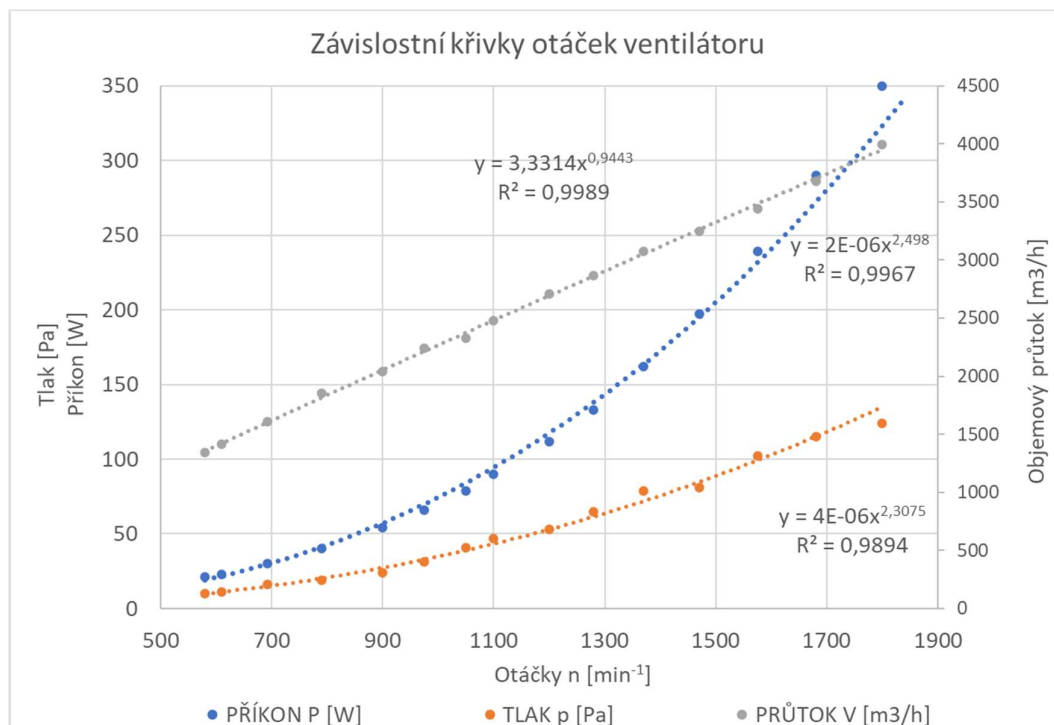
PRŮTOK V [m ³ /h]	TLAK p [Pa]	PŘÍKON P [W]	OTÁČKY n [-]	SFP [W.s/m ³]
1343	10	21	580	56,3
1416	11	23	610	58,5
1610	16	30	692	67,1
1855	19	40	790	77,6
2037	24	54	900	95,4
2242	31	66	975	106,0
2325	41	79	1050	122,3
2480	47	90	1100	130,6
2708	53	112	1200	148,9
2865	65	133	1280	167,1
3073	79	162	1370	189,8
3249	81	197	1470	218,3
3443	102	239	1575	249,9
3680	115	290	1680	283,7
3997	124	350	1800	315,2

Následuje křivka dopočítaných hodnot měrné spotřeby energie SFP v závislosti na otáčkách ventilátoru podle vzorce $SFP = \frac{\sum P_p}{q_v}$ [W/(m³/s)]



Obrázek C.5 Křivka měrné spotřeby energie v závislosti na otáčkách

V následujícím grafu můžeme vidět závislost objemového průtoku, tlaku a příkonu na otáčkách ventilátoru. Na ose x jsou otáčky, na ose y vlevo tlak a příkon, vpravo objemový průtok.

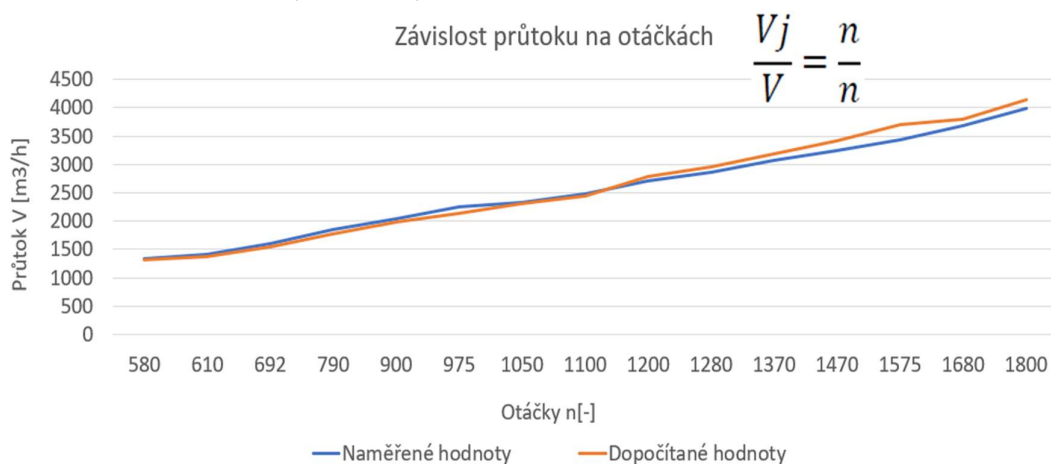


Obrázek C.6 Křivky závislosti tlaku, příkonu a objemového průtoku na otáčkách

C.1.5 Ověření správnosti měření

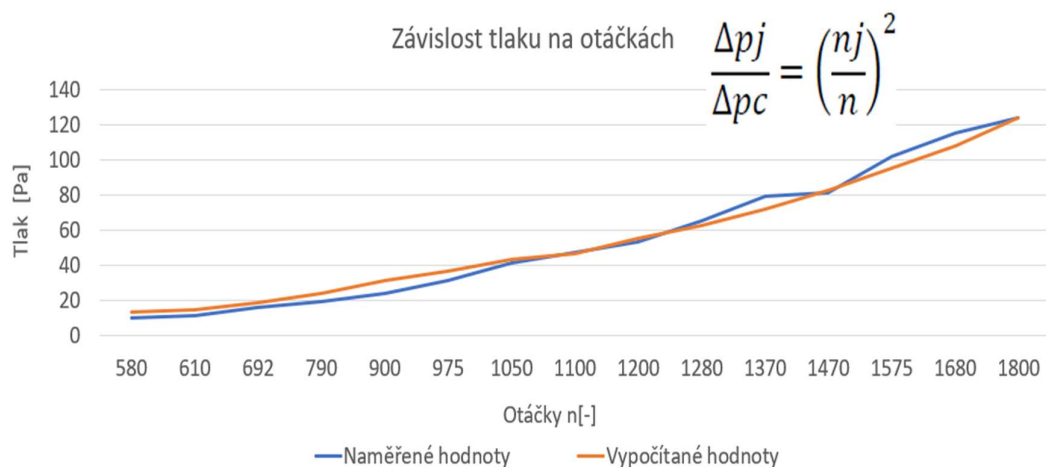
K ověření přesnosti měření bylo využito podobnostních vzorců pro užití za konstantní hustoty vzduchu, známých z fyziky. K naměřeným hodnotám byly pomocí vzorců dopočítané podobnostní hodnoty. Čím více se křivky překrývají, tím přesněji bylo provedeno měření.

- Lineární závislost objemového průtoku a otáček



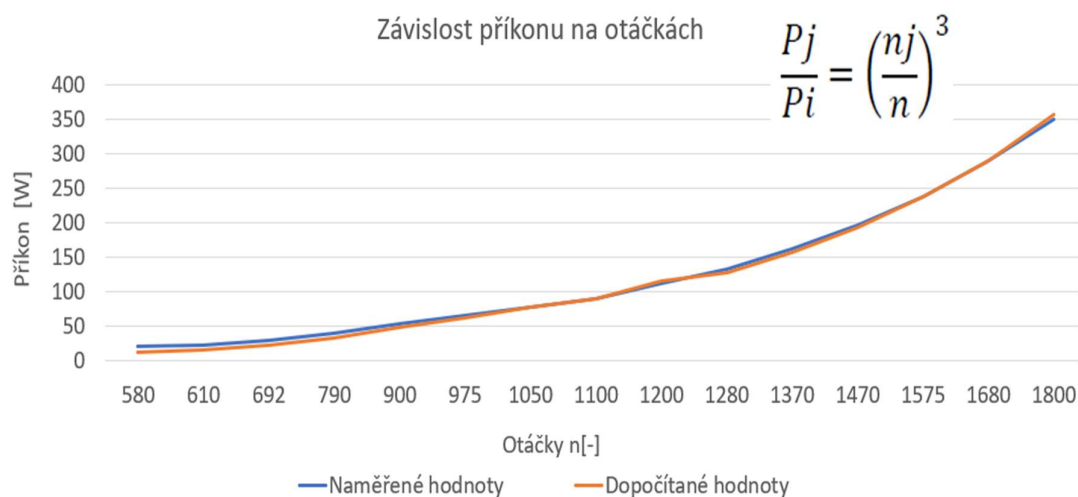
Otáčky	580	610	692	790	900	975	1050	1100	1200	1280	1370	1470	1575	1680	1800
Průtok naměřené [m³/h]	1343	1416	1610	1855	2037	2242	2325	2480	2708	2865	3073	3249	3443	3680	3997
Průtok vypočítané [m³/h]	1308	1377	1549	1772	1989	2131	2300	2443	2786	2964	3180	3420	3698	3802	4139

- Kvadratická závislost otáček a tlaku



Otáčky		580	610	692	790	900	975	1050	1100	1200	1280	1370	1470	1575	1680	1800
Tlak [Pa]	naměřené	10	11	16	19	24	31	41	47	53	65	79	81	102	115	124
	vypočítané	13	14	18	24	31	36	43	46	55	63	72	83	95	108	124

- Kubická závislost otáček a příkonu



Otáčky		580	610	692	790	900	975	1050	1100	1200	1280	1370	1470	1575	1680	1800
Příkon [W]	naměřené	21	23	30	40	54	66	79	90	112	133	162	197	239	290	350
	vypočítané	13	15	22	33	49	63	78	90	117	128	157	194	239	294	357

Naměřené hodnoty se po většinu rozsahu měřených otáček překrývají s dopočítanými hodnotami dle podobnostních vzorců ve všech případech. Ověření proběhlo úspěšně, naměřené hodnoty jsou správné.

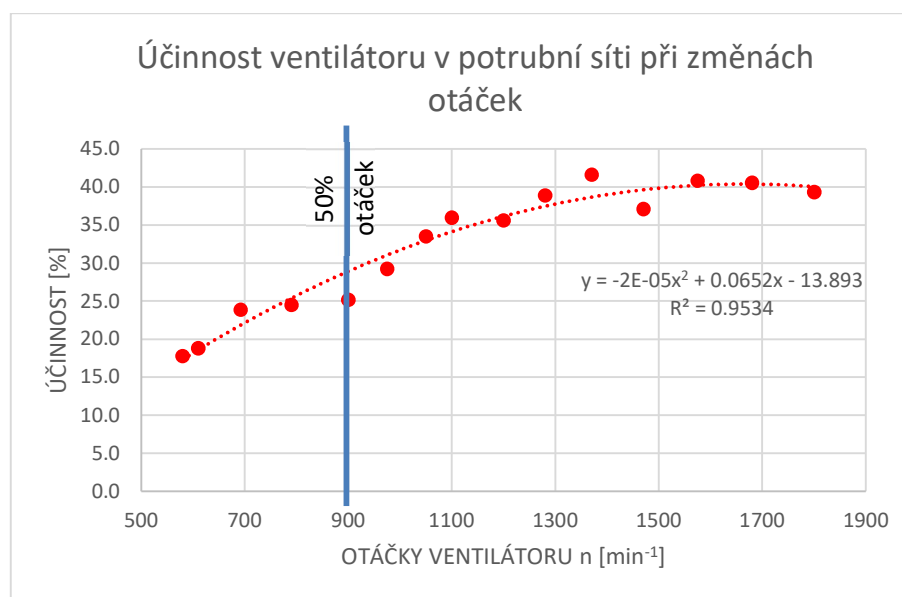
C.1.6 Charakteristika potrubní sítě

V další části experimentu je z ověřených naměřených hodnot spočítána účinnost ventilátoru a hodnoty ErP v potrubní síti při změnách otáček.

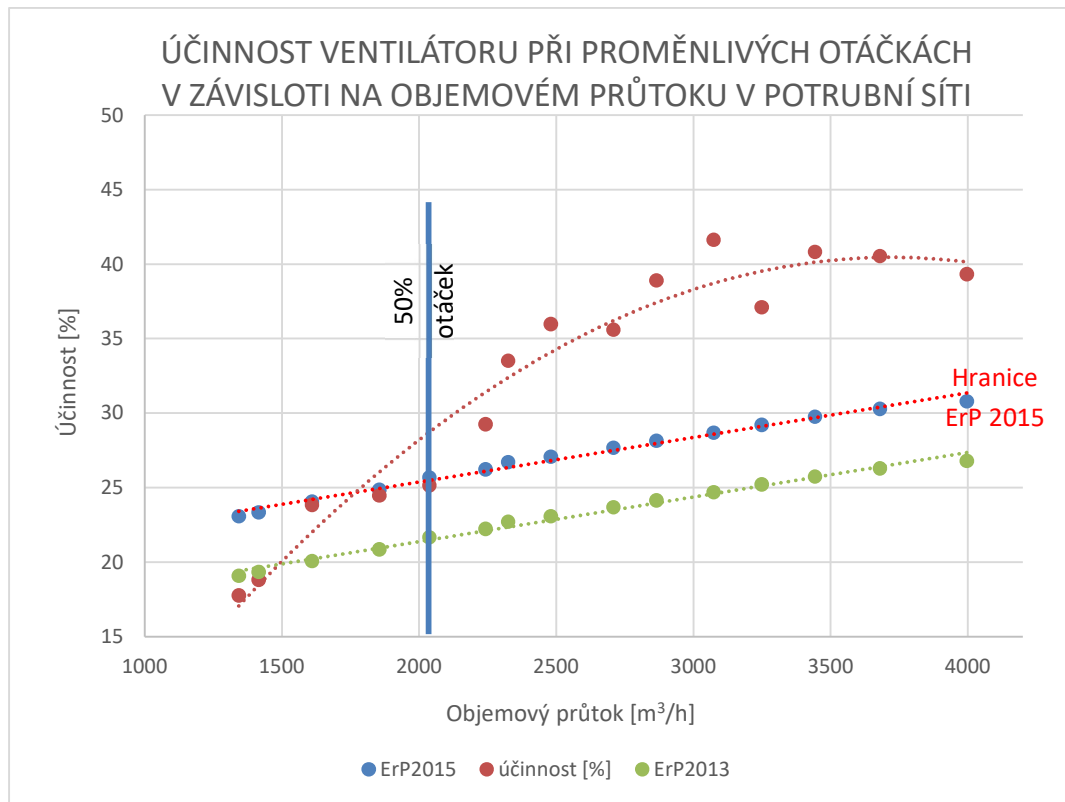
Tabulka C.5 Účinnost ventilátoru v potrubní síti při změnách otáček

PRŮTOK [m ³ /h]	PRŮTOK [m ³ /s]	TLAK p [Pa]	PŘÍKON P [W]	OTÁČKY n [-]	VÝKON [W]	ÚČINNOST [%]	ErP2013	ErP2015	
1343	0,37	10	21	580	3,7	17,8	19,1	23,1	xxx
1416	0,39	11	23	610	4,3	18,8	19,3	23,3	xxx
1610	0,45	16	30	692	7,2	23,9	20,1	24,1	xxx
1855	0,52	19	40	790	9,8	24,5	20,9	24,9	xxx
2037	0,57	24	54	900	13,6	25,1	21,7	25,7	xxx
2242	0,62	31	66	975	19,3	29,3	22,2	26,2	ok
2325	0,65	41	79	1050	26,5	33,5	22,7	26,7	ok
2480	0,69	47	90	1100	32,4	36,0	23,1	27,1	ok
2708	0,75	53	112	1200	39,9	35,6	23,7	27,7	ok
2865	0,80	65	133	1280	51,7	38,9	24,1	28,1	ok
3073	0,85	79	162	1370	67,4	41,6	24,7	28,7	ok
3249	0,90	81	197	1470	73,1	37,1	25,2	29,2	ok
3443	0,96	102	239	1575	97,6	40,8	25,7	29,7	ok
3680	1,02	115	290	1680	117,6	40,5	26,3	30,3	ok
3997	1,11	124	350	1800	137,7	39,3	26,8	30,8	ok

Graf účinnosti ventilátoru v závislosti na otáčkách. Účinnost velice klesá při otáčkách pod hranicí 50 %.



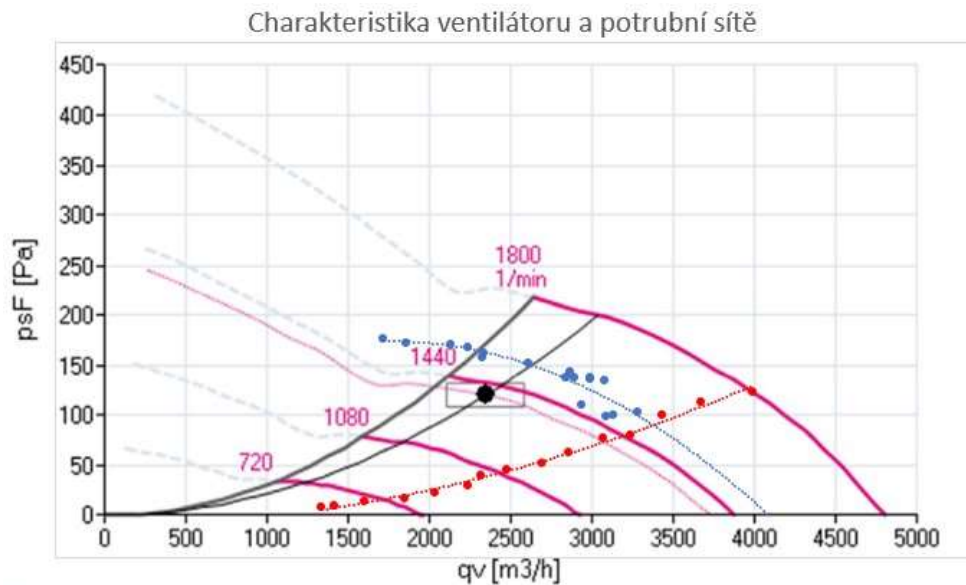
Obrázek C.7 Účinnost ventilátoru v potrubní síti při změnách otáček



Obrázek C.8 Účinnost ventilátoru při proměnlivých otáčkách v závislosti na objemové průtoku vzduchu potrubí

C.1.7 Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě

Na závěr experimentu je vytvořena charakteristika ventilátoru i charakteristika měřené potrubní sítě proložena do jednoho grafu charakteristiky od výrobce. Červená křivka znázorňuje charakteristiku potrubní a modrá charakteristiku ventilátoru při konstantních otáčkách.



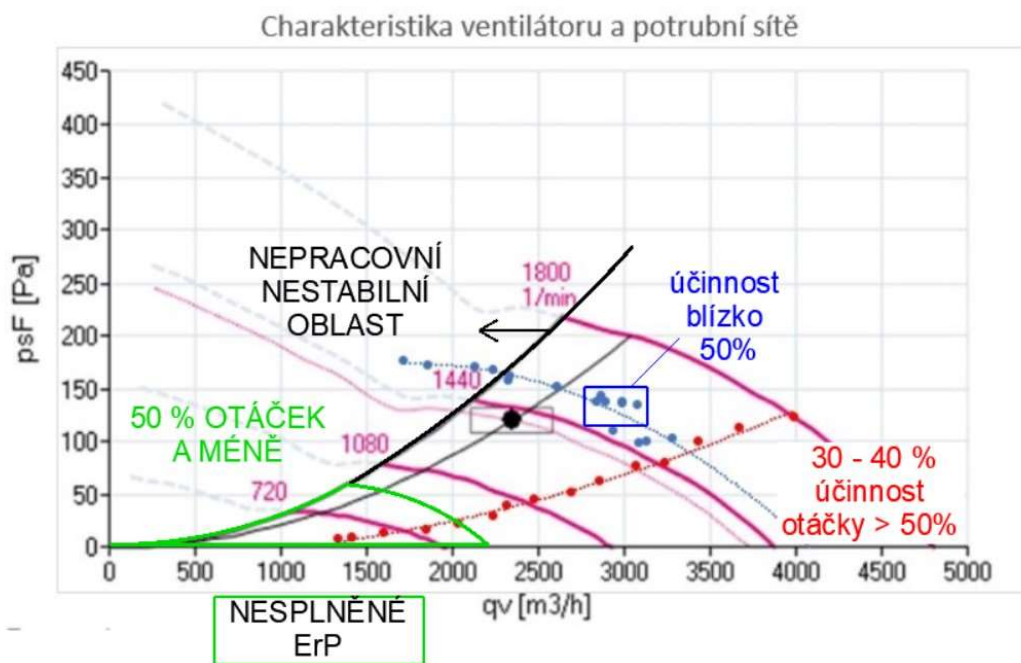
Obrázek C.9 Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě

C.1.8 Shrnutí charakteristické vlastnosti konkrétního ventilátoru

Při porovnání naměřených hodnot pro pracovní charakteristiku ventilátoru při konstantních otáčkách došlo k uspokojivé tvarové shodě, po zkonstruování křivky tlakové charakteristiky ventilátoru a proložení s pracovní charakteristikou danou výrobcem. Všechny naměřené pracovní body vyhověly na požadavky ErP, avšak část pracovních bodů byla naměřena mimo oblast pracovní stability výrobku. Těmto pracovním bodům se musíme při návrhu vyhnout.

Výrobce pro svůj axiální ventilátor udává hodnotu účinnosti ventilátoru 49,5 %. Této hodnotě účinnosti jsme se dokázali přiblížit v některých případech i překonat. Průměrná hodnota účinnosti naměřených pracovních bodů pro ventilátor s konstantními otáčkami, s výjimkou bodů v oblasti nestability, dosahuje průměrné účinnosti 46 %. Při porovnání většího množství pracovních bodů, by se pravděpodobně mohlo dojít k přibližně stejné průměrné účinnosti dané výrobcem.

V případě výpočtu účinnosti ventilátoru v neměnné potrubní síti při změnách otáček nedochází k tak vysokým účinnostem jako v předešlé části. Při vysokých nebo maximálních otáčkách se účinnost blíží ke 40 %. V případě nižších otáček, ale stále nad 50 % z maximálních otáček, se pohybujeme nad hodnotami účinnosti 30 %. Při provozu ventilátoru s otáčkami nad 50 % jsou splněny i požadavky ErP. Avšak při poklesu otáček pod 50% maxima dochází ke snížení účinnosti a nedosahování limitů ErP.



Obrázek C.10 Graf konkrétní axiální ventilátor celkový

C.1.9 Závěr charakteristické vlastnosti konkrétního ventilátoru

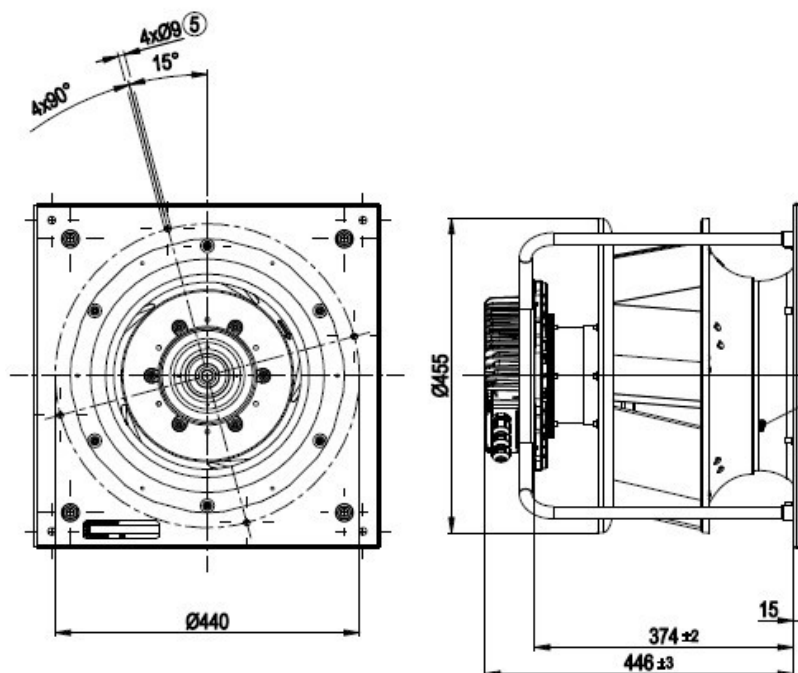
Účinnost tohoto konkrétního axiálního ventilátoru může za určitých podmínek dosahovat i 50 %. Ale při poklesu otáček pod polovinu maximálních otáček, se i dramaticky sníží celá účinnost až o polovinu a nevyhoví tak požadavkům na ErP.

C.2 Účinnost ventilátorů ZŠ u Prahy

V novostavbě budovy základní školy u Prahy, byla zrealizována pro klimatizování školy vzduchotechnická zařízení. Průtoky vzduchu v učebnách měly být řízeny regulátory variabilního průtoku vzduchu na základě měření CO₂, teploty anebo časového spínače. Důvodem návštěvy školy byla nefunkčnost systému. Při prvním měření, které proběhlo za provozu s přítomností žáků, se pomocí balometru měřily průtoky vzduchu z jednotlivých koncových elementů ve třídách. Druhé měření v jiný den proběhlo při nepřítomnosti žáků ve školní budově a znovu proběhlo měření průtoků vzduchu balometrem na jednotlivých koncových elementech. Měření ukázala, že v některých učebnách vzduch téměř neproudil ani při jedné návštěvě a v učebnách, ve kterých nějaký vzduch proudil, nebyl rozdíl v objemovém průtoku vzduchu mezi přítomností a nepřítomností žáků. To se dělo i přestože ventilátory ve vzduchotechnických zařízeních fungovaly na maximální navrhovaný výkon. Vzduch, který nedoputoval do učeben, přes uzavřené regulátory, se ztrácel v prostorách chodeb, které byly obsluhované stejným zařízením. Z těchto dvou měření vyplynulo, že regulace vzduchu v učebnách nebyla ve funkčním provozu. U třetího měření byl přítomen technik od firmy obsluhující software MaR objektu školy. Po koordinaci měření průtoků vzduchu a vyšších pravomocí v přístupu do softwarového programu technikem firmy, se podařilo systém zprovoznit. Po zprovoznění systému a zkušebním provozu, byly obdrženy měřené hodnoty od systému MaR. Pro naše účely ohledně účinnosti a práce ventilátorů byly využity naměřené hodnoty za provozu pro otáčky přírodního ventilátoru zařízení pro obsluhu učeben.

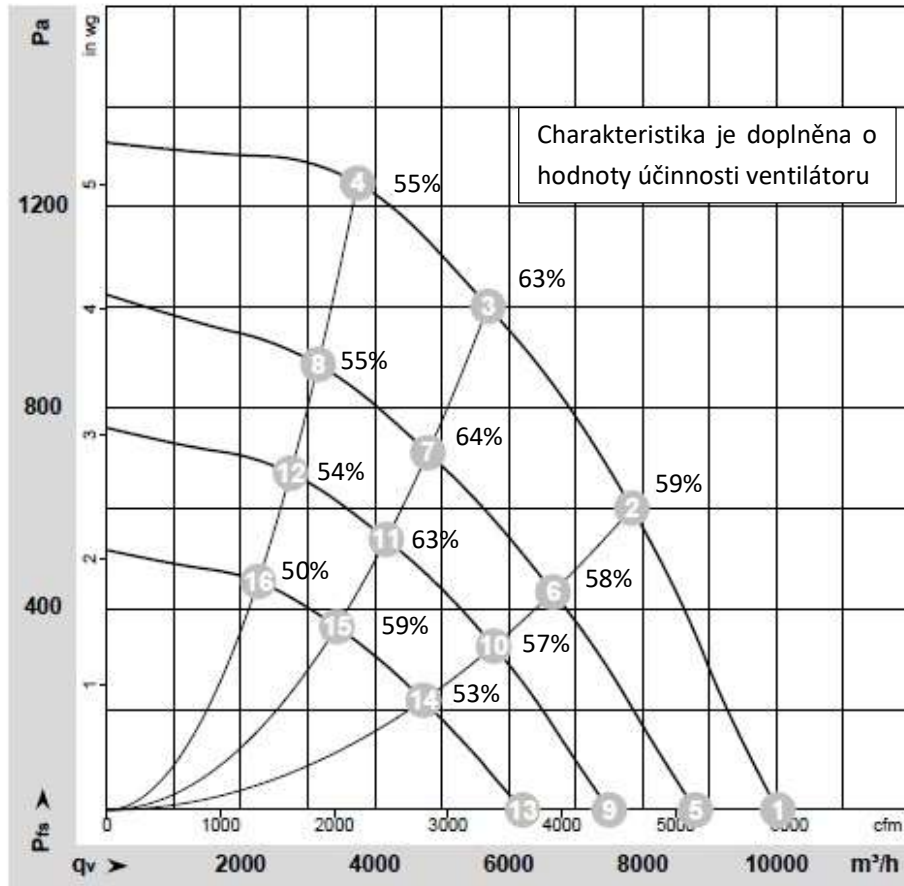
C.2.1 Vzduchotechnická zařízení 1 a 2

Obě rovnotlaká vzduchotechnická zařízení obsluhují diagonální ventilátory od firmy ebmpapst označované výrobcem jako EC odstředivé moduly RadiPac s dozadu zahnutými lopatkami s průměrem oběžného kola 400 mm.



Obrázek C.11 Diagonální ventilátor zařízení 1 a 2 [30]

Maximální otáčky ventilátoru jsou 2 450 min⁻¹.



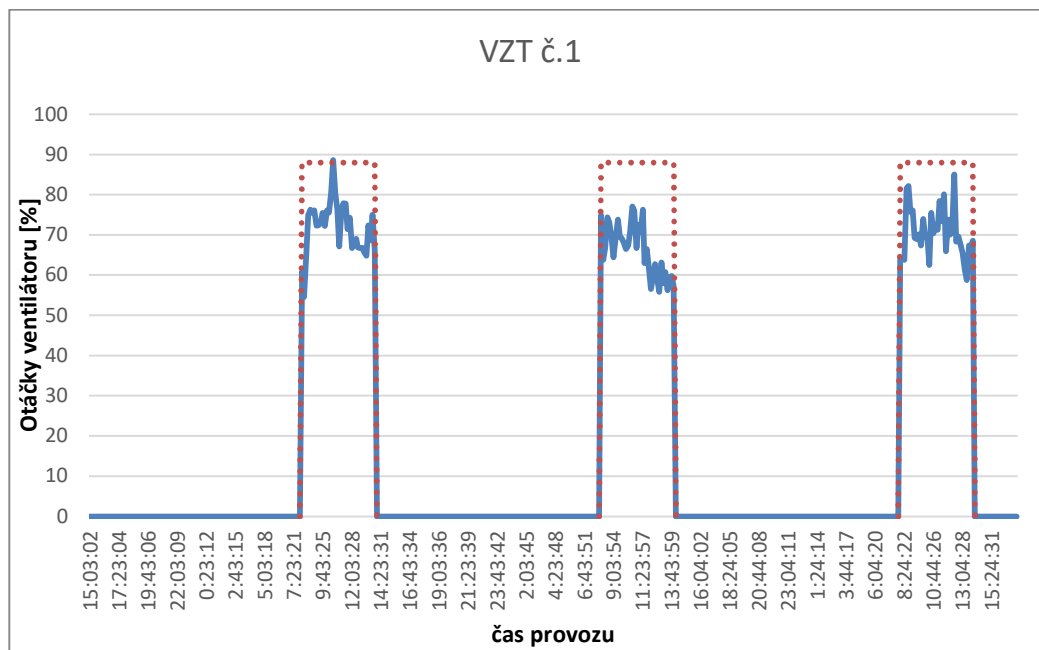
	Wired	U	f	n	P _{ed}	I	LpA _{in}	LwA _{in}	LwA _{out}	qv	Pf _s
	V	Hz	min ⁻¹	W	A	dB(A)	dB(A)	dB(A)	m ³ /h	Pa	
1	Y	400	50	2450	1323	2.07	89	96	96	10020	0
2	Y	400	50	2450	2210	3.38	77	85	88	7840	600
3	Y	400	50	2450	2500	3.80	74	82	86	5690	1000
4	Y	400	50	2450	2336	3.57	78	86	90	3745	1250
5	Y	400	50	2180	921	1.50	84	91	92	8790	0
6	Y	400	50	2100	1376	2.15	72	80	84	6665	434
7	Y	400	50	2080	1479	2.30	70	77	83	4795	712
8	Y	400	50	2090	1420	2.22	74	81	85	3155	887
9	Y	400	50	1875	626	1.10	80	87	88	7505	0
10	Y	400	50	1825	923	1.50	69	77	81	5775	326
11	Y	400	50	1810	994	1.60	66	74	80	4175	539
12	Y	400	50	1815	955	1.55	69	77	82	2745	671
13	Y	400	50	1545	377	0.73	74	83	85	6210	0
14	Y	400	50	1500	545	1.00	64	72	77	4725	220
15	Y	400	50	1490	585	1.05	62	69	76	3435	365
16	Y	400	50	1495	566	1.03	64	72	78	2260	455

Wired = Wiring · U = Power supply · f = Frequency · n = Speed · P_{ed} = Power consumption · I = Current draw · LpA_{in} = Sound pressure level intake side · LwA_{in} = Sound power level intake side
LwA_{out} = Sound power level outlet side · qv = Air flow · Pf_s = Pressure increase

Obrázek C.12 Charakteristika s tabulkou hodnot od výrobce diagonálního ventilátoru [30]

C.2.1.1 Zařízení číslo 1

Rovnotlaké vzduchotechnické zařízení obsluhující učebny části objektu. Z hodnot o otáčkách ventilátoru za provozu objektu získaných z MaR byl zkonstruován průběh funkce ventilátoru v závislosti na čase. Hodnoty jsou zaznamenávané každých 10 minut po dobu třech dní. Modrá spojitá čára znázorňuje dosahované otáčky ventilátoru během fungujícího provozu, oranžová barva znázorňuje, jak přibližně vypadala funkce ventilátoru při maximálním návrhovém zatížení při nefunkčním stavu. Pracovní čas ventilátoru byl v dotčené dny vždy od 8:00 do 14:00.



Obrázek C.13 Provoz ventilátoru zařízení 1

Zařízení bylo navrženo pro návrhový stav $7310 \text{ m}^3/\text{h}$ a externí tlakovou ztrátou 420 Pa dle projektu. Z hodnot o provozu ventilátoru je spočítáno, že průměrně běží na 70 % otáček a maximálně dosahuje 88 % otáček. Výpočet charakteristik je udělán pomocí podobnostních vzorců. Za předpokladu, že ventilátor bez regulace průtoku fungoval celou dobu provozu na 88 %.

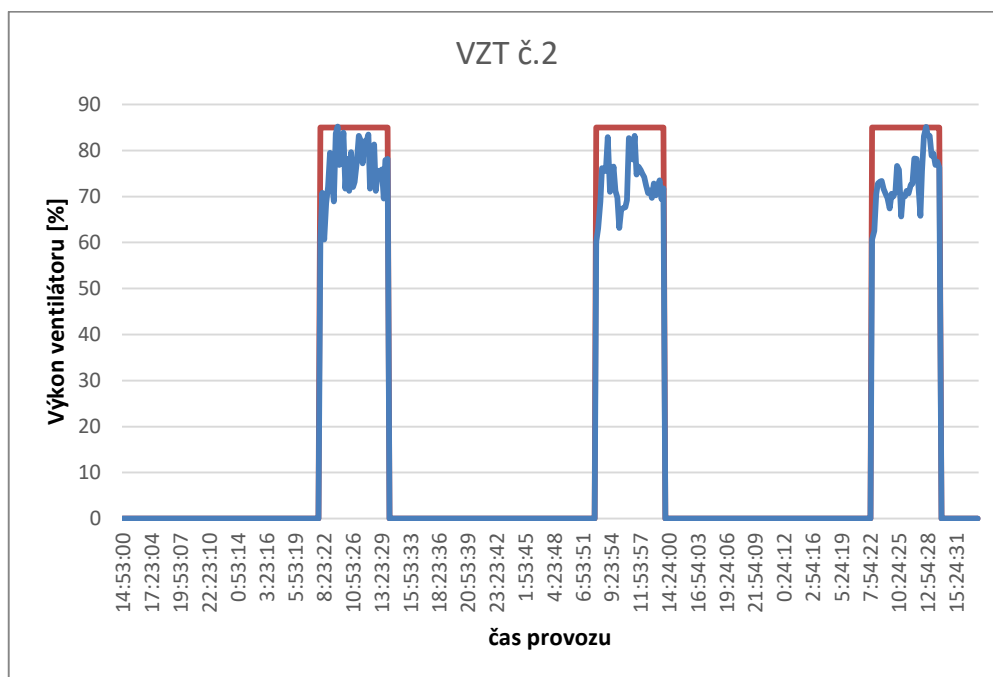
otáčky [%]	n [min^{-1}]	V [m^3/h]	Δp [Pa]	P [W]
100	2450	8307	542,4	2050
88	2156	7310	420	1397,0
70	1715	5815	266	703,2

Tabulka C.6 Výpočet charakteristik podobnostní vzorce zařízení 1

Otáčky ventilátoru a objemový průtok regulací průtoku klesnul o 18 %, tlaková ztráta o 37 % a příkon klesnul o 50 % což je téměř o 694 W. Účinnost ventilátoru při takto vysokých otáčkách je na stále vysoké úrovni.

C.2.1.2 Zařízení číslo 2

Rovnotlaké vzduchotechnické zařízení obsluhující učebny. Z hodnot o otáčkách ventilátoru za provozu objektu získaných z MaR byl zkonstruován průběh funkce ventilátoru v závislosti na čase. Hodnoty jsou zaznamenávané každých 10 minut po dobu třech dní. Modrá spojitá čára znázorňuje dosahované otáčky ventilátoru během fungujícího provozu, oranžová barva znázorňuje, jak přibližně vypadala funkce ventilátoru při maximálním návrhovém zatížení při nefunkčním stavu. Pracovní čas ventilátoru byl v dotčené dny vždy od 8:00 do 14:00.



Obrázek C.14 Provoz ventilátoru zařízení 1

Zařízení bylo navrženo pro návrhový stav $6\,820\text{ m}^3/\text{h}$ a externí tlakovou ztrátou 420 Pa dle projektu. Z hodnot o provozu ventilátoru je spočítáno, že průměrně pracuje na 74% otáček a maximálně dosahuje 85% otáček. Výpočet charakteristik je udělán pomocí podobnostních vzorců. Za předpokladu, že ventilátor bez regulace průtoku fungoval celou dobu provozu na 85% .

otáčky [%]	n [min^{-1}]	V [m^3/h]	Δp [Pa]	P [W]
100	2450	8024	581,3	2100
85	2082,5	6820	420	1290
73	1788,5	5857	310	817

Tabulka C.7 Výpočet charakteristik podobnostní vzorce zařízení 1

Otáčky ventilátoru a objemový průtok regulací klesnul o 12% , tlaková ztráta o 27% a příkon klesnul o 37% což je o 481 W .

C.2.1.3 Shrnutí

V každém ze zařízení je osazen přívodní a odvodní ventilátor. Za předpokladu, že by se měnily otáčky stejně u přívodního i odvodního ventilátoru (rovnotlaké VZT zařízení) došlo by ke snížení příkonu u zařízení č. 1 o dvakrát 694 W a v případě zařízení č. 2 o dvakrát 481 W. To je v součtu 2 350 W.

Obě zařízení fungují 6 hodin denně vždy od 8:00 do 14:00 ve školní dny. Školních dnů je okolo 200, a z této úvahy vyplývá, že fungují obě jednotky 1200 hodin ročně.

Spotřeba kWh/rok:

$$2,35 \text{ kW} \cdot 1\,200 \text{ h} = 2\,820 \text{ kWh/rok}$$

Roční úspora na provozu ventilátorů dvou vzduchotechnických zařízení při úvaze 6 Kč/kWh.

$$2\,820 \text{ kWh/rok} \cdot 6 \text{ Kč} = 16\,920 \text{ Kč}$$

C.2.1.4 Závěr

Z výsledku měření lze usoudit, že regulace průtoku vzduchu se v tomto případě vyplatí. Spotřeba elektrické energie na chod ventilátorů se regulací průtoku snížila o 2 820 kWh/rok a ušetří se tím 16 920 Kč, v dnešní době rostoucích cen se bude každoroční úspora zvyšovat. Další nespornou výhodou je, že se snížením průtoku vzduchu se prodlouží životnost filtrů osazených v zařízení pro filtraci vzduchu.

C.3 Závěr experimentální části

Experimentální část ukázala, že účinnost práce ventilátoru je závislá na více proměnných faktorech a dá se prezentovat různě. V obou případech je velikost oběžného kola 400 mm. Avšak rozdílná konstrukce oběžného kola zapříčiňuje různou pracovní charakteristiku a s tím související účinnost. V případě axiálního ventilátoru dosahujeme nižších účinností než u diagonálního ventilátoru při stejném průměru oběžného kola. U obou druhů ventilátorů však sledujeme snižování účinnosti při snižování otáček ventilátoru. V případě axiálního ventilátoru za provozu při nízkých otáčkách přicházíme až o polovinu účinnosti. U diagonálního ventilátoru nedochází k tak drastickému poklesu účinnosti, ale také k němu dochází a přicházíme o 20 % účinnosti při nízkých otáčkách. Při vysokém poklesu otáček se stává provoz ventilátoru méně ekonomickým a v případě axiálního ventilátoru se dostaneme i pod úroveň požadavku ErP.

ZÁVĚR

Z měření, návrhu a porovnávání variant v diplomové práci vyplývá, že řízení regulací průtoku vzduchu má smysl a kladný dopad na ekonomiku celého provozu. Je to ale za předpokladu správného návrhu ventilátoru a musí docházet ke spolupráci mezi profesemi MaR a vzduchotechniky. Zjištění z experimentální části se uplatní právě při návrhu větracího systému s variabilní regulací průtoku vzduchu, kde regulací dochází právě k poklesu otáček ventilátoru. V případě, kdy se uvažuje o regulaci variabilního průtoku vzduchu je podle zjištění vhodné vybírat ventilátory s pracovním bodem s otáčkami nad 80 % hranicí, aby ani při snížení průtoku nedošlo k poklesu otáček ventilátoru pod 50 %, při kterých hrozí vysoké snížení účinnosti, které se může projevat vedlejšími jevy jako jsou hluk, vibrace a zahřívání (nežádoucí jev při chlazení).

Pro zvýšení účinnosti práce ventilátoru během celého provozu teplovzdušného větrání s regulací průtoku, je vhodnější při návrhu uvažovat spodní hranici hygienických průtoků vzduchu, které dovoluje příslušná vyhláška k danému objektu. Zvolením spodní hranice limitu pro hygienický průtok vzduchu se rozdíl mezi polohou pracovního bodu pro plný provoz a regulovaný provoz za plné obsazenosti tříd sice odlišuje, takže dojde k finanční úspoře, ale neliší se na tolik, aby docházelo ke ztrátě účinnosti. Provoz bude ekonomicky výhodnější a bez ztrát na účinnosti i při snížené obsazenosti tříd oproti návrhovému stavu. O úspoře velmi rozhoduje i nastavená dovolené hranice koncentrace CO₂.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] ČERMÁK, Jan et al. Ventilátory. 1.vyd. Praha: SNTL, 1974.
- [2] ZMRHAL, Vladimír. Prvky větracích a klimatizačních zařízení (I) - 1. část. *tzbinfo*. [Online]. 4. 12. 2006 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/3733-prvky-vetracich-a-klimatizacnich-zarizeni-i-1-cast>.
- [3] DOČKAL, Jan. Axiální, nebo radiální potrubní ventilátor? [Online]. 2. 7. 2018 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/axialni-nebo-radialni-potrubni-ventilator-x31238>.
- [4] HW server s.r.o. Diagonální ventilátor EBM-Papst bohatší o 2 užitečné funkce. [Online]. 9. 9. 2020 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/diagonalni-ventilator-ebm-papst-bohatsi-o-2-uzitecne-funkce.html>.
- [5] Stolní ventilátor KLIM Zephyr M01. *OdKarla*. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.odkarla.cz/stolni-ventilator-klim-zephyr-m01?gclid=CjwKCAiAqt-dBhBcEiwATw-ggMGg9TMH68340rz_tN-aVWEiR55UUCmiTale02Kxw1fhwaeONIQ0RoCjz4QAvD_BwE.
- [6] AC nebo EC motor? *hobbygrow*. [Online]. 22. 11. 2021 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.hobbygrow.cz/blog-2/ac-nebo-ec-motor/>.
- [7] KEKULE, Jaromír. Střídavý elektromotor. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://elektross.gjn.cz/elmotor_magnet/stridavy_mot/str_mot.html.
- [8] E-konstruktor. Jaký je rozdíl mezi AC, DC a EC motory? [Online]. 14. 12. 2017 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-ac-dc-a-ec-motory>.
- [9] BOTLAND. VÝBĚR SPRÁVNÉHO MOTORU - DC VS STEPPER VS SERVO. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://botland.cz/content/230-vyber-spravneho-motoru-dc-vs-stepper-vs-servo>.
- [10] VENTILATORY.cz. EC motor. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://www.ventilatory.cz/slovník-ec-motor>.
- [11] ebm-papst CZ, s.r.o. ErP nařízení žádá vysokou účinnost, EU se zaměřila na „zelené“ ventilátory. [Online]. 4. 1. 2012 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.ebmpapst.cz/media/content/info-center/press_releases/erp/ErP.pdf.
- [12] SCHILD, P.G. a M. MYSEN. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických systémů – III. *tzbinfo*. [Online]. 28. 4. 2014 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/11135-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnicky-systemu-iii>.
- [13] —. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických systémů – I. *tzbinfo*. [Online]. 14. 4. 2014 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb>

info.cz/uspory-energie-ventrání-klimatizace/11079-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnicky-systemu-i.

[14] —. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických systémů – II. *tzbinfo*. [Online]. 21. 4. 2014 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/11102-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnicky-systemu-ii>.

[15] Ziehl-Abegg s.r.o. Směrnice ErP. [Online]. 3. 2012 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.ziehl-abegg.com/fileadmin/Downloadcenter_NEW/13_tschechisch/X01_Brochures_Flyers/Flyer-ErP-directive-What-you-should-know.pdf.

[16] CIUCCI, Metteo. Energetická účinnost. [Online]. 10. 2021 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/cs/FTU_2.4.8.pdf.

[17] ŠOUREK, Radim, GEA Heat Exchangers a.s. Požadavky na ekodesign větracích jednotek ve smyslu nařízení Komise (EU) č. 1253/2014. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/210929486-Pozadavky-na-ekodesign-vetracich-jednotek-ve-smyslu-narizeni-komise-eu-c-1253-2014.html>.

[18] Vyhláška č. 410/2005 Sb. *Vyhláška o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*. Praha : 2005.

[19] Ministerstvo životního prostředí. Metodický pokyn pro návrh větrání škol pro SC 5.1 a SC 5.3, PO5, OPŽP, Výzva č. 121 a 135. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://opzp.cz/files/documents/storage/2019/05/02/1556778066_Metodick%C3%BD%20pokyn%20pro%20n%C3%A1vrh%20v%C4%9Btr%C3%A1n%C3%AD%20%C5%A1kol_SC%205.1_121.v%C3%BDzva.pdf.

[20] NORMA ČSN 12 7010 Z1. *Vzduchotechnická zařízení - Navrhování větracích a klimatizačních zařízení - Obecná ustanovení*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Třídící znak: 107010.

[21] Lindab s.r.o. LindQST [software]. 2021 [Citace: 26. 5. 2021]. Dostupné z: <https://www.lindqst.com/>

[22] REMAK, a.s. AeroCAD. *AeroCAD 6.8.75* [software]. Rožnov pod Radhoštěm: 2020 [Citace: 26. 5. 2021]. Požadavky na systém: Win 7, Win 8, Win 10.

[23] ZMRHAL, Vladimír. Produkce tepla osob jako podklad pro energetické simulační výpočty. *tzbinfo*. [Online]. 11. 2. 2019 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-ventrání-klimatizace/18622-produkce-tepla-osob-jako-podklad-pro-energeticke-simulacni-vypocty>.

[24] Norma ČSN EN 16798-1. *Energetická náročnost budov - Větrání budov - Část 1: Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na*

kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky - Modul M1-6. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. 127027.

[25] MANDÍK, a.s. REGULÁTOR VARIABILNÍHO PRŮTOKU VZDUCHU ČTYŘHRANNÉHO RPMC-V. [Online]. 26. 11. 2021 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.mandik.cz/getattachment/de7b971f-27e3-4c1c-aeffb-cf2164ca4cd7/106_14_cz_RPMC-V.aspx.

[26] MANDÍK, a.s. REGULÁTOR KONSTANTNÍHO PRŮTOKU VZDUCHU ČTYŘHRANNÝ RPMC-K. [Online]. 8. 3. 2020 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.mandik.cz/getattachment/f8c1daba-185d-472e-98b9-15eb1ec05ade/105_14_cz_RPMC-K.aspx

[27] Greif-akustika, s.r.o. . Buňkové tlumiče hluku GE. [Online]. [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://greif.cz/wp-content/uploads/2020/07/ITS101-01_Bunkove_tlumice_hluku_GE.pdf.

[28] RUBINA, Aleš a Olga NAVRÁTILOVÁ a Zdeněk TESAŘ. Teruna. *TeRuNa v1.0 Beta* [software]. 2002 [Citace: 25. 5. 2021]. Požadavky na systém: Win 98, Win 2000, Win XP; Intel Premium; 32 MB RAM; 200 MB HDD; rozlišení obrazovky 800x600x8.

[29] Ziehl-Abegg S.E. Product specification. 8. 2. 2013.

[30] ebm-papst CZ, s.r.o. EC centrifugal module - RadiPac. [Online]. 18. 12. 2015 [Citace: 11. 1. 2023]. Dostupné z: https://ebmpapst.dk/wp-content/uploads/2017/02/Data_sheet_US_-_K3G400PI9202_KM82871.pdf.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

- ZZT – zpětné získávání tepla
- VZT – vzduchotechnická/vzduchotechnika
- MaR – měření a regulace
- ErP – Energy-related Product directive
- EU – Evropská unie
- AC – alternating current
- DC – direct current
- EC – electronically commutated
- BLDC – brushless direct current
- SEC – specific energy consumption
- CO₂ – oxid uhličitý

Fyzikální veličiny

- V – objemový průtok vzduchu [m³/s]
- Δp – celkový dopravní tlak [Pa]
- ρ – hustota [kg/m³]
- P – výkon [W]
- P_p – příkon [W]
- η – účinnost [%]
- SPF – specific fan power/měrný příkon ventilátoru [W/(m³/s)]

Indexy

- v – vzduch
- tot – celkový

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázky

Obrázek A.1 Axiální ventilátor [3].....	11
Obrázek A.2 Radiální ventilátor [3].....	12
Obrázek A.3 Diagonální ventilátor [4]	13
Obrázek A.4 Tangenciální ventilátor [5]	13
Obrázek A.5 AC motor [7].....	14
Obrázek A.6 Schéma DC motoru [9].....	15
Obrázek A.7 EC motor [10]	16
Obrázek A.8 Ukázka obecných charakteristik ventilátoru [2]	17
Obrázek A.9 Celková účinnost ventilátoru [11]	18
Obrázek A.10 Účinnost ventilátoru v závislosti na jeho velikosti [12].....	19
Obrázek A.11 Grafické znázornění rovnice vypočítané pomocí redukční funkce [13].....	21
Obrázek A.12 Cíle EU do roku 2020 v rámci ErP [15]	23
Obrázek A.13 Energetický štítek dle Komise EU č. 1254/2014 [17]	25
Obrázek A.14 Ukázka ZZT pro splnění účinnosti ErP 2016 a 2018 [17]	26
Obrázek A.15 Minimální účinnost ventilátorů jednosměrných VZT jednotek ErP 2016 a 2018 [17].....	27
Obrázek A.16 Dovolené limity SFP pro obousměrné jednotky podle ErP 2016 a 2018 [17].....	28
Obrázek A.17 Doporučené možnosti lokálního nuceného větrání podle metodiky [19]	31
Obrázek A.18 Doporučená možnost centrálního nuceného větrání podle metodiky [19]	32
Obrázek B.1 Obsluhovaný prostor 1NP varianta A.....	35
Obrázek B.2 Obsluhovaný 2NP varianta A.....	35
Obrázek B.3 Obsluhovaný prostor 1NP varianta B.....	35
Obrázek B.4 Obsluhovaný prostor 2NP varianta B.....	36
Obrázek B.5 Tlakové poměry 1NP varianta A.....	36
Obrázek B.6 Tlakové poměry 2NP varianta A.....	37
Obrázek B.7 Tlakové poměry 1NP varianta B.....	37
Obrázek B.8 Tlakové poměry 2NP varianta B.....	37
Obrázek B.9 Přívodní distribuční prvek učebny [21]	40
Obrázek B.10 Odvodní distribuční prvek učebny [21].....	41
Obrázek B.11 Přívodní distribuční prvek chodba a [21]	41
Obrázek B.12 Přívodní distribuční prvek chodba b [21]	42
Obrázek B.13 Odvodní distribuční prvek toalety [21]	42
Obrázek B.14 Dimenzační schéma varianta A	43
Obrázek B.15 Axonometrický pohled vzt jednotka var. A [22].....	44
Obrázek B.16 Specifikace zařízení var. A [22].....	45
Obrázek B.17 Přívodní ventilátor var. A [22]	46
Obrázek B.18 Odvodní ventilátor var. A [22].....	46
Obrázek B.19 Produkce vodní páry od dětí a mladistvých v závislosti na věku a teplotě [22]...	47
Obrázek B.20 h-x diagram úprava vzduchu v učebně 108 var A	48
Obrázek B.21 koncentrace CO ₂ učebna 108 [19].....	49

Obrázek B.22 Izolace přívodního potrubí zimní období var. A [28].....	54
Obrázek B.23 Izolace odvodního potrubí letní období var. A [28]	54
Obrázek B.24 Schéma zařízení A.....	60
Obrázek B.25 Dimenzační schéma zařízení 1 varianta B	61
Obrázek B.26 Dimenzační schéma zařízení 2 varianta B	61
Obrázek B.27 Axonometrický pohled VZT zařízení č.1 var. B [22].....	64
Obrázek B.28 Specifikace zařízení č.1 var. B [22]	65
Obrázek B.29 Přívodní ventilátor zařízení č.1 var. B [22]	66
Obrázek B.30 Odvodní ventilátor zařízení č.1 var. B [22]	66
Obrázek B.31 Produkce vodní páry od dětí a mladistvých v závislosti na věku a teplotě [23]...	67
Obrázek B.32 h-x diagram úprava vzduchu v učebně 108 var B	68
Obrázek B.33 Axonometrický pohled vzt zařízení č.2 var. B [22]	69
Obrázek B.34 Specifikace zařízení č.2 var. B [22]	70
Obrázek B.35 Přívodní ventilátor zařízení č. 2 var. B [22]	71
Obrázek B.36 Odvodní ventilátor zařízení č.2 var. B [22]	71
Obrázek B.37 Izolace přívodního potrubí zař.1 zimní období [28]	76
Obrázek B.38 Izolace odvodního potrubí zař.1 letní období [28].....	76
Obrázek B.39 Izolace přívodního potrubí zař.2 zimní období [28]	77
Obrázek B.40 Izolace odvodního potrubí zař.2 letní období [28].....	77
Obrázek B.41 Schéma zařízení 1 var. B.....	82
Obrázek B.42 Schéma zařízení 2 var. B.....	83
Obrázek B.43 Konstrukční zásady pro regulátor průtoku.....	84
Obrázek C.1 Axiální ventilátor průměr 400 mm [29].....	87
Obrázek C.2 Schéma měření ventilátoru	88
Obrázek C.3 Tlaková charakteristika od výrobce proložena naměřenými hodnotami.....	89
Obrázek C.4 Účinnost ventilátoru při konstantních otáčkách	90
Obrázek C.5 Křivka měrné spotřeby energie v závislosti na otáčkách	91
Obrázek C.6 Křivky závislosti tlaku, příkonu a objemového průtoku na otáčkách.....	92
Obrázek C.7 Účinnost ventilátoru v potrubní síti při změnách otáček	94
Obrázek C.8 Účinnost ventilátoru při proměnlivých otáčkách v závislosti na objemové průtoku vzduchu potrubí.....	95
Obrázek C.9 Charakteristika ventilátoru a potrubní sítě	95
Obrázek C.10 Graf konkrétní axiální ventilátor celkový	96
Obrázek C.11 Diagonální ventilátor zařízení 1 a 2 [30].....	97
Obrázek C.12 Charakteristika s tabulkou hodnot od výrobce diagonálního ventilátoru [30]	98
Obrázek C.13 Provoz ventilátoru zařízení 1.....	99
Obrázek C.14 Provoz ventilátoru zařízení 1	100

Tabulky

Tabulka A.1 Koeficienty pro rovnici redukčního faktoru SFP [13].....	21
Tabulka A.2 Vzorce pro výpočet účinnosti podle druhu ventilátoru (EU) č. 327/2011 [11]	24
Tabulka A.3 Klasifikace větracích jednotek obytných budov SEC [17]	26

Tabulka A.4 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]	29
Tabulka A.5 Tabulka č.2 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]	29
Tabulka A.6 Koncentrace CO ₂ a jeho vliv na člověka [19]	30
Tabulka A.7 Minimální množství venkovního vzduchu dle Metodiky [19].....	30
Tabulka B.1 Klimatické podmínky Brno [20].....	34
Tabulka B.2 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č.410/2005 Sb. [18]	36
Tabulka B.3 Varianta A průtoky vzduchu v 1NP	38
Tabulka B.4 Varianta A průtoky vzduchu ve 2NP	38
Tabulka B.5 Varianta B průtoky vzduchu v 1NP	39
Tabulka B.6 Varianta B průtoky vzduchu ve 2NP	39
Tabulka B.7 Dimenzování odvodního potrubí varianta A.....	43
Tabulka B.8 Dimenzování přívodního potrubí varianta A.....	44
Tabulka B.9 Druhy činností ve školách a energetický výdej organismu [23].....	47
Tabulka B.10 Přibližné normové hodnoty ČSN EN 16798-1 [24].....	50
Tabulka B.11 Vlastní hluk regulační klapky variabilního průtoku [25]	50
Tabulka B.12 Vlastní hluk regulační klapky konstantního průtoku [26]	50
Tabulka B.13 Útlum buňkového tlumiče hluku [27].....	50
Tabulka B.14 Výpočet akustické hladiny hluku pro odvodní potrubí var. A.....	51
Tabulka B.15 Výpočet akustické hladiny hluku pro přívodní potrubí var. A, součet obou potrubí	52
Tabulka B.16 Výpočet akustické hladiny hluku pro venkovní prostředí.....	53
Tabulka B.17 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]	56
Tabulka B.18 Dimenzování přívodního potrubí varianta B zařízení 1	62
Tabulka B.19 Dimenzování přívodního potrubí varianta B zařízení 2	62
Tabulka B.20 Dimenzování odvodního potrubí varianta B zařízení 1.....	63
Tabulka B.21 Dimenzování odvodního potrubí varianta B zařízení 2.....	63
Tabulka B.22 Druhy činností ve školách a energetický výdej organismu [23].....	67
Tabulka B.23 Výpočet akustické hladiny hluku pro odvodní potrubí zařízení č.1 var. B.....	72
Tabulka B.24 Výpočet akustické hladiny hluku pro přívodní potrubí zařízení č.1 var. B, součet obou potrubí.....	73
Tabulka B.25 Výpočet akustické hladiny hluku pro venkovní prostředí zařízení č.1 var. B.....	74
Tabulka B.26 Výpočet akustické hladiny hluku pro venkovní prostředí zařízení č.2 var. B.....	75
Tabulka B.27 Tabulka č.1 z přílohy č. 3 k vyhlášce č. 410/2005 Sb. [18]	79
Tabulka B.28 Souhrn spotřeby příkonu na ventilátorech za školní rok.....	84
Tabulka C.1 Vzorce pro výpočet účinnosti axiálního ventilátoru podle (EU) č. 327/2011 [11]..	88
Tabulka C.2 Naměřené hodnoty pro konstrukci charakteristik ventilátoru	89
Tabulka C.3 Účinnost ventilátoru a jeho porovnání s limity ErP 2013 i 2015.....	90
Tabulka C.4 Naměřené vlastnosti ventilátoru v závislosti na otáčkách a dopočítané SFP	91
Tabulka C.5 Účinnost ventilátoru v potrubní síti při změnách otáček.....	94
Tabulka C.6 Výpočet charakteristik podobnostní vzorce zařízení 1	99
Tabulka C.7 Výpočet charakteristik podobnostní vzorce zařízení 1	100

PŘÍLOHY

01 PŮDORYS 1NP VAR. A

02 PŮDORYS 2NP VAR. A

03 PŮDORYS STŘECHY VAR. A

04 ŘEZ VAR. A

05 PŮDORYS 1NP VAR. B

06 PŮDORYS 2NP VAR. B

07 PŮDORYS STŘECHY VAR. B

08 ŘEZ VAR. B

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Ventilátory v technice prostředí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Zdeněk Lechnýř
podpis autora